

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Реконструкция электрической части подстанции 110/10 кВ «Песьяново»

Студент

А.Е.Бадрызов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент С.В. Шаповалов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Аннотация

Выполненная работа на тему «Реконструкция электрической части подстанции 110/10 кВ «Песьяново» содержит пояснительную записку и графическую часть.

Пояснительная записка состоит из 65 стр., содержит таблиц – 6, иллюстраций – 6, источников информации – 20.

В графической части работы представлено 6 листов (чертежей) формата А1.

Целью работы является разработка проекта реконструкции электрической части подстанции 110/10 кВ «Песьяново» при соблюдении требований надёжности и экономичности принятых основных решений.

Для решения поставленной цели в работе произведены необходимые расчёты, в результате которых выбраны и обоснованы: схема электрических соединений электрической части подстанции 110/10 кВ «Песьяново», количество и мощность силовых трансформаторов электрической части подстанции 110/10 кВ «Песьяново», электрические аппараты и проводники электрической части подстанции 110/10 кВ «Песьяново», мероприятия по минимизации потерь электроэнергии на рассматриваемой подстанции.

Разработаны мероприятия по безопасности жизнедеятельности и экологической безопасности на подстанции 110/10 кВ «Песьяново».

Содержание

Введение	4
1 Анализ исходных данных.....	6
1.1 Техническая характеристика подстанции 110/10 кВ «Песьяново» до проведения реконструкции.....	6
1.2 Обоснование необходимости проведения реконструкции	11
2 Разработка проекта реконструкции электрической части подстанции 110/10 кВ «Песьяново»	14
2.1 Выбор схемы электрических соединений подстанции 110/10 кВ «Песьяново»	14
2.2 Расчёт электрических нагрузок подстанции 110/10 кВ «Песьяново»	18
2.3 Выбор и проверка силовых трансформаторов на подстанции 110/10 кВ «Песьяново»	22
2.4 Выбор и проверка проводников подстанции 110/10 кВ «Песьяново»	24
2.5 Расчёт токов короткого замыкания на ПС-110/10 кВ «Песьяново»	31
2.6 Выбор и проверка электрических аппаратов и оборудования на подстанции 110/10 кВ «Песьяново»	39
2.7 Разработка мероприятий по повышению энергоэффективности на понизительной подстанции 110/10 кВ «Песьяново»	43
3. Разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда	50
3.1 Обеспечение безопасности жизнедеятельности проекта	50
3.2 Обеспечение экологической безопасности проекта	58
Заключение	61
Список используемой литературы и используемых источников	64

Введение

В современной электроэнергетике на первое место выходят технико-экономические показатели, тесно связанные с надёжностью и экономичностью электрических сетей и подстанций.

Известно, что понизительные подстанции систем электроснабжения городов и населённых пунктов являются важнейшим звеном питания и распределения электроэнергии.

В случае сбоев и аварий на понизительных подстанциях, а также несоответствия поставляемой электроэнергии установленным нормам качества, потребители будут нести большие экономические убытки на всех уровнях энергосистемы и секторах промышленности.

По этой причине к системам электроснабжения понизительных трансформаторных подстанций предъявляются повышенные требования, которые состоят в применении современных надёжных и экономичных схемных решений с целью обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей городов и населённых пунктов, а также использование новейших разработок оборудования подстанций.

В последние десятилетия в электроэнергетике появились инновационные решения в области электрических аппаратов, сетей и схем трансформаторных подстанций.

Их применение позитивно сказывается на надёжности и эксплуатации оборудования подстанций, значительно повышаются технико-экономические показатели и характеристики не только самой понизительной распределительной подстанции, но и энергосистемы в целом.

Целью работы является разработка проекта реконструкции электрической части подстанции 110/10 кВ «Песьяново» при соблюдении требований надёжности и экономичности принятых основных решений.

Объектом исследования в работе является система электроснабжения трансформаторной подстанции 110/10 кВ «Песьяново» для питания потребителей различного типа (промышленных, бытовых и коммунальных).

Предметом исследования в работе являются схема электрических соединений системы электроснабжения трансформаторной подстанции 110/10 кВ для питания потребителей, а также элементы рассматриваемой системы электроснабжения указанной понизительной подстанции, а именно: схема электрических соединений, электрические сети и электрические аппараты.

Основными задачами работы является:

– проведение анализа исходных данных, в результате чего рассматривается техническая характеристика подстанции 110/10 кВ «Песьяново» до проведения реконструкции. На основании анализа исходных данных проводится обоснование проведения реконструкции подстанции;

– разработка проекта реконструкции электрической части подстанции 110/10 кВ «Песьяново», первоначально включающая выбор схемы электрических соединений подстанции 110/10 кВ «Песьяново». Далее, на основании результатов расчёта электрических нагрузок и токов короткого замыкания, осуществляется выбор и проверка силовых трансформаторов, проводников, электрических аппаратов и оборудования на понизительной подстанции 110/10 кВ «Песьяново». Отдельно также разрабатывается комплекс мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения понизительной подстанции 110/10 кВ «Песьяново»;

– разработка мероприятий по безопасности жизнедеятельности и экологической безопасности при выполнении работ на подстанции 110/10 кВ «Песьяново».

Решения основных поставленных основных задач в работе проводятся, исходя из нормативно – технических источников, учебной литературы и типовых проектов.

1 Анализ исходных данных

1.1 Техническая характеристика подстанции 110/10 кВ «Песьяново» до проведения реконструкции

Известно, что обеспечение потребителей электроэнергией установленного качества является важной задачей и требует применения значительных мощностей.

Преобразование и распределение электроэнергии в системах электроснабжения осуществляется на понизительных подстанциях.

Рассматриваемая в работе трансформаторная подстанция (далее – ПС-110/10 кВ) по месту расположения в энергосистеме является узловой понизительной подстанцией и территориально располагается вблизи деревни Малое Песьяново Курганской области РФ.

Данная ПС-110/10 кВ обеспечивает питание своих потребителей на номинальном напряжении 10 кВ (преимущественно – промышленные, бытовые и коммунальные потребительские подстанции ПС-10/0,4 кВ, а также распределительные пункты 10 кВ).

Согласно диспетчерского наименования, данной ПС-110/10 кВ присвоено абонентское наименование «ПС-110/10 кВ «Песьяново».

Исходя из требуемых дополнительных мощностей в связи с развитием промышленности, а также застройки территории города и района, а также вводом новых жилых и промышленных объектов в эксплуатацию, к рассматриваемой в работе ПС-110/10 кВ «Песьяново» планируется подключение дополнительной нагрузки.

Основными потребителями рассматриваемой в работе подстанции ПС-110/10 кВ «Песьяново» являются (с учётом ввода в эксплуатацию новых

потребителей) бытовые, коммунальные и промышленные потребители, которые рассматриваются в работе далее.

Питание ПС-110/10 кВ «Песьяново» осуществляется воздушными линиями электропередачи напряжением 110 кВ двумя независимыми вводами:

- ввод 1: от ПС-500/220/35 кВ «Курганская»;
- ввод 2: от ПС-500/220/10 кВ «Городская».

По заданию объектом исследования в работе является понизительная трансформаторная подстанция ПС-110/10 кВ, особенностью которой является [1,4]:

1) наличие больших нагрузок, т.к. трансформаторы 110/10 кВ не выпускаются на малые мощности, а в случае их подключения на указанные нагрузки данные трансформаторы будут недогружены, что приведёт к значительным потерям электроэнергии в трансформаторах и сети;

2) наличие на понизительных ПС-110/10 кВ двух силовых трансформаторов (согласно требований [4] к категории надёжности);

3) наличие значительного количества отходящих линий 10 кВ (как правило, не менее шести-восьми отходящих линий).

Прежде, чем проводить анализ схемы электрических соединений понизительной подстанции 110/10 кВ «Песьяново» для питания потребителей восточной части города Кургана, необходимо рассмотреть схему указанной подстанции и её элементы.

Согласно исходных данных, рассматриваемая в работе подстанция 110/10 кВ «Песьяново», предусмотренная для питания потребителей восточной части города Кургана, является понизительной и распределительной.

В структурной и принципиальной схемах понизительной подстанции 110/10 кВ «Песьяново» выделяются следующие основные блоки:

– распределительное устройство высшего напряжения (открытого типа) напряжением 110 кВ (далее – ОРУ-110 кВ) – используется для приёма

электроэнергии напряжением 110 кВ от питающей подстанции энергосистемы и последующего её распределения на силовые понизительные трансформаторы подстанции 110/10 кВ для питания потребителей восточной части города Кургана. Питание рассматриваемой в работе подстанции ПС-110/10 кВ «Песьяново» осуществляется воздушной линией напряжением 110 кВ через ОРУ-110 кВ, которое принимает и распределяет напряжение от энергосистемы (два ввода). В схеме ОРУ-110 кВ применяется радиальная схема соединений с без резервирования на стороне 110 кВ на самой подстанции (резервирование осуществляется на питающих ПС энергосистемы). В схеме ОРУ-110 кВ применяется раздельный режим работы. В ОРУ применяются устаревшие электрические аппараты: разъединители РНДЗ-110/1000У1, разрядники РВС-110, короткозамыкатели КЗ-110/УХЛ, отделители ОД-110/УХЛ, трансформаторы напряжения НДКМ-110, трансформаторы тока ТВТ-110. В схеме используется параллельная работа фидеров 110 кВ;

– трёхфазные силовые понизительные двухобмоточные трансформаторы с масляным охлаждением типа ТДН-25000/110, понижающим напряжение 110 кВ до 10 кВ. Так как потребители подстанции ПС-110/10 кВ «Песьяново» преимущественно относятся к 1 и 2 категориям надёжности, согласно требований и основных норм [4], на данной подстанции предусматривается установка двух силовых трансформаторов с двумя независимыми источниками питания;

– распределительное устройство напряжением 10 кВ (далее – РУ-10 кВ), которое необходимо для распределения получаемой от силовых трансформаторов ПС-110/10 кВ «Песьяново» электроэнергии потребителям на напряжении 10 кВ. В РУ-10 кВ применяется радиальная схема для питания потребителей с использованием одиночной системы сборных шин, секционированной выключателем [4]. Такая схема применяется для питания потребителей 1 и 2 категории надёжности при наличии в схеме с применением

двухобмоточных трансформаторов с нерасщеплёнными обмотками низшего напряжения. Для защиты и коммутации в РУ-10 кВ применяются устаревшие типы высоковольтных выключателей масляного типа ВМГ-133. Для питания вторичных цепей используются измерительные трансформаторы напряжения НАМИ-10 и трансформаторы тока ТЛО-10. Защита от внутренних перенапряжений не предусмотрена;

– потребители реконструируемой подстанции, получающие питание от шин РУ-10 кВ линиями напряжением 10 кВ. Согласно исходным проектным данным, питание потребителей (фидеров) осуществляется по радиальной схеме без ответвлений согласно требований [4] от шин напряжением 10 кВ РУ-10 кВ ПС-110/10 кВ «Песьяново», что соответствует категории надёжности потребителей [4]. Исходные данные потребителей ПС-110/10 кВ «Песьяново» представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные потребителей ПС-110/10 кВ «Песьяново»

Номер ячейки ПС-110/10 кВ «Песьяново»	Проектная нагрузка линии ПС-110/10 кВ «Песьяново», $P_{уст}$, кВт
1 секция сборных шин 10 кВ ПС-110/10 кВ «Песьяново»	
1	574,0
2	540,0
3	166,0
4	490,0
5	325,0
6	0 (резерв)
7	374,0
8	824,0
9	1200,0

Продолжение таблицы 1

Номер ячейки ПС-110/10 кВ «Песьяново»	Проектная нагрузка линии ПС-110/10 кВ «Песьяново», $P_{уст}$, кВт
10	166,0
11	166,0
12	0 (резерв)
2 секция сборных шин 10 кВ ПС-110/10 кВ «Песьяново»	
1	300,0
2	258,0
3	116,0
4	850,0
5	166,0
6	216,0
7	0 (резерв)
8	408,0
9	550,0
10	424,0
11	424,0
12	100,0
13	565,0
14	0 (резерв)
Всего нагрузки потребителей	9202,0
Собственные нужды	500,0
Всего по ПС-110/10 кВ «Песьяново»	9702,0

Рассмотренные элементы и основные блоки входят в исходную схему электрических соединений ПС-110/10 кВ «Песьяново» до проведения реконструкции, приведённой на графическом листе 1.

1.2 Обоснование необходимости проведения реконструкции

Далее проводится более детальный анализ с соответствующими выводами и решениями.

В результате проведённого анализа установлено, что ПС-110/10 кВ «Песьяново» нуждается в реконструкции.

В работе предлагается провести следующие мероприятия по реконструкции ПС-110/10 кВ «Песьяново»:

– установлено, что в последние годы в связи с расширением производства и подключением новых потребителей, в энергосистеме «Песьяново» наблюдается тенденция к подключению новых потребителей в связи с развитием экономики и расширением производства, а также введения в эксплуатацию новых производственных потенциалов, а также бытовой и коммунальной нагрузки. В частности, в связи с вводом в эксплуатацию новых потребителей, к ПС-110/10 кВ «Песьяново» необходимо подключить дополнительную нагрузку, изначально не предусмотренную проектными условиями. В виду этого факта, необходимо проверить мощность силовых трансформаторов на данной понизительной подстанции, а также марки и сечения проводников и типономиналы электрических аппаратов;

– так как ПС-110/10 кВ «Песьяново» относится к узловой подстанции, в схеме ОРУ-110 кВ необходимо применение радиальной схема соединений с резервированием неавтоматической ремонтной перемычкой (схема «4Н»), состоящей из жёсткого токопровода с двумя разъединителями, которые в нормальном режиме отключены, благодаря чему в схеме ОРУ-110 кВ будет

значительно повышена надёжность, необходимая для своевременного и качественного обеспечения питанием потребителей 1 и 2 категории надёжности при выводе в ремонт элементов ОРУ-110 кВ. Кроме того, неавтоматическая ремонтная перемычка используется также для транзитных перетоков мощности между другими подстанциями энергосистемы, что делает схему ПС-110/10 кВ «Песьяново» более гибкой;

– в виду того, что рассматриваемая в работе ПС-110/10 кВ «Песьяново» обеспечивает питание потребителей 1 и 2 категории, следовательно, согласно требованиям [4], в её схеме ВН на ОРУ-110 кВ крайне важно применить не один, а два источника питания, которые по отношению друг к другу будут независимы. Таким образом будут выполнены требования и условия [4];

– дополнительно в ОРУ-110 кВ требуется замена устаревшего и неэффективного блока «отделитель – короткозамыкатель» на высоковольтный выключатель высокого напряжения в виду участвовавших аварий и невозможностью оперативного отключения цепи данными аппаратами, которые выработали свой коммутационный ресурс, а также не обеспечивают достаточную надёжность схемы ОРУ-110 кВ и всей рассматриваемой понизительной подстанции в целом [4]. Применение таких современных решений на ОРУ-110 кВ значительно повысит надёжность, гибкость и экономичность схемы РУ-10 кВ ПС-110/10 кВ «Песьяново»;

– установлено, что на понизительной трансформаторной подстанции ПС-110/10 кВ «Песьяново» в распределительных устройствах высшего (110 кВ) и низшего (10 кВ) номинальных напряжений есть устаревшие типы и марки электрических аппаратов и оборудования, в частности, выключатели, разъединители, трансформаторы тока, трансформаторы напряжения и др. Следовательно, при выборе указанного оборудования в работе необходимо выбрать новые современные типы для установки их в соответствующих распределительных устройствах ПС-110/10 кВ «Песьяново». Замена их на

инновационные современные марки оборудования значительно повысит надёжность схемы, уменьшит затраты на обслуживание и ремонт, сократит межремонтный период до минимума, позволит повысить показатели энергоэффективности как самой понизительной подстанции, так и потребителей, которые получают от неё питание.

Схема электрических соединений понизительной трансформаторной подстанции ПС-110/10 кВ «Песьяново», полученная в результате проведения реконструкции при устранении указанных выше недостатков, будет соответствовать всем требованиям и нормам [1-4].

Указанные в работе мероприятия по реконструкции и модернизации повысят надёжность системы электроснабжения понизительной подстанции ПС-110/10 кВ «Песьяново», оптимизируют показатели энергосистемы, режим её работы, а также потребительских подстанций и приёмников, получающих питание от ПС-110/10 кВ «Песьяново».

Вывод по разделу 1

Указанные в работе мероприятия по реконструкции и модернизации повысят надёжность системы электроснабжения понизительной подстанции ПС-110/10 кВ «Песьяново», оптимизируют показатели энергосистемы, режим её работы, а также потребительских подстанций и приёмников, получающих питание от ПС-110/10 кВ «Песьяново».

2 Разработка проекта реконструкции электрической части подстанции 110/10 кВ «Песьяново»

2.1 Выбор схемы электрических соединений подстанции 110/10 кВ «Песьяново»

На основании исходной однолинейной электрической схемы, а также исходных технических данных потребителей понизительной подстанции ПС-110/10 кВ «Песьяново», далее в работе осуществляется необходимые разработки и проектирование реконструированной системы электроснабжения указанной понизительной подстанции в связи с её реконструкцией.

Так как на понизительной подстанции ПС-110/10 кВ «Песьяново» находится большое число потребителей 1 и 2 категории, следовательно, перерыв в электроснабжении этих потребителей при нарушении электроснабжения от одного из источников питания может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания [4].

Также известно, что выбранные схемы понизительной подстанции ПС-110/10 кВ «Песьяново» должны обеспечивать установленное нормируемое качество электрической энергии в пределах нормальных допустимых значений согласно [2,3].

Учитывая приведённые требования нормативных документов к схемам трансформаторных подстанций, а также результаты проведённого анализа по обоснованию реконструкции подстанции ПС-110/10 кВ «Песьяново», в работе предусматриваются применение следующих мероприятий в реконструированной схеме электрических соединений ПС-110/10 кВ «Песьяново»:

– подключение новых потребителей ПС-110/10 кВ «Песьяново» на ячейки РУ-10 кВ с последующей проверкой мощности силовых

трансформаторов на данной понизительной подстанции, а также сечений проводников и типономиналов электрических аппаратов;

– применение в схеме ОРУ-110 кВ радиальной схемы соединений с резервированием неавтоматической ремонтной перемычкой (схема «4Н»), состоящей из жёсткого токопровода с двумя разъединителями, которые в нормальном режиме отключены. В реконструированной схеме ОРУ 110 кВ предусмотрено применение современных разработок элегазовых выключателей, разъединителей, трансформаторов напряжения и тока (выбираются отдельно в том случае, если они не являются конструктивно встроенными в высоковольтные выключатели ОРУ-110 кВ), а также ограничители напряжения. Всё указанное оборудование, устанавливаемое в ремонтной перемычке, проверяется расчётами в работе далее. Выбранная для ОРУ-110 кВ схема «4Н» приведена на рисунке 1;

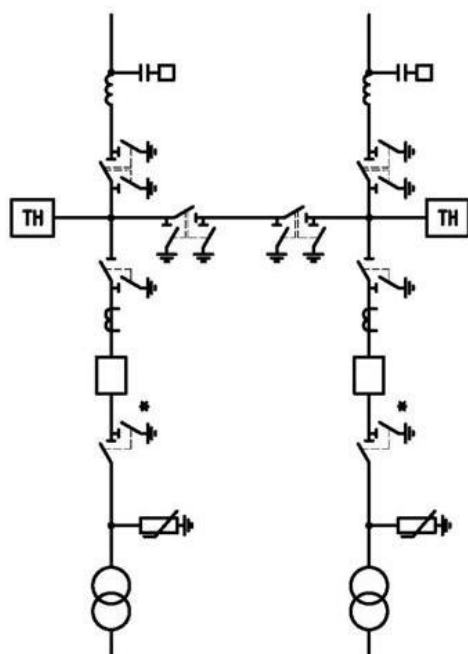


Рисунок 1 – Выбранная для ОРУ-110 кВ схема «4Н»

– согласно требованиям [4], в схеме ВН на ОРУ-110 кВ ПС-110/10 кВ «Песьяново» предусматриваются два источника питания, которые по отношению друг к другу будут независимы. Источники питания выполняются в виде воздушной линии электропередачи ВЛ-110 кВ с отдельным питанием потребителей схемы. Таким образом будут выполнены требования и условия [4];

– в ОРУ-110 кВ проводится замена устаревшего и неэффективного блока «отделитель – короткозамыкатель» на высоковольтный выключатель высокого напряжения, актуальность данной замены описана в работе ранее и соответствует требованиям и нормам [4]. Применение такого современного решения на ОРУ-110 кВ ПС-110/10 кВ «Песьяново» значительно повысит надёжность, гибкость и экономичность схемы электрических соединений ПС-110/10 кВ «Песьяново»;

– при выборе указанного оборудования и проводников напряжением 110 кВ и 10 кВ в работе вместо старого оборудования выбираются новые современные их типы для установки их в соответствующих распределительных устройствах ПС-110/10 кВ «Песьяново». Замена их на инновационные современные марки оборудования значительно повысит надёжность схемы, уменьшит затраты на обслуживание и ремонт, сократит межремонтный период до минимума, позволит повысить показатели энергоэффективности как самой понизительной подстанции, так и потребителей, которые получают от неё питание.

– в РУ-10 кВ ПС-110/10 кВ «Песьяново» применяется схема с «одиночной системой сборных шин, секционированной выключателем» [4]. Применение такой схемы повысит надёжность всей системы электроснабжения потребителей ПС-110/10 кВ «Песьяново», поможет локализовать аварии в сети, а также обеспечит резервирование потребителей ПС-110/10 кВ «Песьяново» при выводе оборудования в ремонт. Следует отметить, что на выключателе,

устанавливаемом между секциями сборных шин 10 кВ, устанавливается устройство АВР, автоматически обеспечивая питание секции сборных шин, оставшейся без напряжения (и её потребителей также). Принятая схема для РУ-10 кВ ПС-110/10 кВ «Песьяново» приведена на рисунке 2.

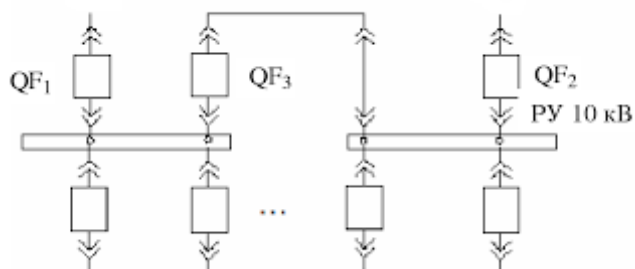


Рисунок 2 – Выбранная для РУ-10 кВ схема с «одиной системой сборных шин, секционированной выключателем»

Указанные мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений, а также оборудования распределительных устройств ВН и НН понизительной трансформаторной подстанции ПС-110/10 кВ «Песьяново», повысят надёжность системы электроснабжения понизительной подстанции ПС-110/10 кВ «Песьяново», оптимизируют показатели энергосистемы и потребителей, снизят потери электроэнергии и напряжения в системе электроснабжения потребителей и понизительной подстанции в целом, уменьшат затраты на ремонт и обслуживание, что позволит повысить энергоэффективность на данной подстанции. Все данные аспекты в конечном итоге приведут к значительной экономии финансовых вложений, что достаточно актуально в современном мире. При этом целесообразность приведённых мероприятий по реконструкции понизительной подстанции ПС-110/10 кВ «Песьяново» подтверждается соответствующими расчётами и проверками, проведёнными в работе далее.

Однолинейная схема понизительной подстанции ПС-110/10 кВ «Песьяново», полученная в результате внедрения указанных выше основных мероприятий по реконструкции, показана на графическом листе 2 работы.

План расположения оборудования на реконструируемой ПС-110/10 кВ «Песьяново» представлен в графической части данной работы на листе 3.

2.2 Расчёт электрических нагрузок подстанции 110/10 кВ «Песьяново»

Расчёт нагрузок подстанции ПС-110/10 кВ «Песьяново» проводится по следующим формулам:

$$P_{np} = P_{уст.}, \quad (1)$$

$$Q_{np} = P_{np} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{номр}, \quad (2)$$

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

$$I_{np} = \frac{S_{np}}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (4)$$

где P_{np} , Q_{np} , S_{np} – значения расчётных активной, реактивной и полной нагрузки присоединений потребителей, соответственно, кВт, квар, кВА;

U_n – номинальное напряжение сети, кВ.

Расчёт электрических нагрузок присоединений потребителей на реконструируемой ПС-110/10 кВ «Песьяново» проводится на примере первого присоединения секции сборных шин напряжением 10 кВ данной подстанции по условиям (1) – (4)

$$P_{np} = 574 \text{ кВт.}$$

$$Q_{np} = 574 \cdot 0,54 = 310 \text{ (квар).}$$

$$S_{np} = \sqrt{574^2 + 310^2} = 652,3 \text{ (кВА).}$$

Аналогично проведён расчёт электрических нагрузок остальных присоединений потребителей реконструируемой ПС-110/10 кВ «Песьяново» с учётом подключения нагрузки новых потребителей на ячейки «резерв» первой и второй секций сборных шин (таблица 2). Значение расчётного тока по (4) присоединений рассчитывается в работе далее при выборе проводников отходящих линий.

Таблица 2 – Результаты расчёта электрических нагрузок присоединений потребителей реконструируемой ПС-110/10 кВ «Песьяново»

Номер ячейки ПС-110/10 кВ «Песьяново»	P_{np} , кВт	Q_{np} , квар	S_{np} , кВА
1 секция сборных шин 10 кВ ПС-110/10 кВ «Песьяново»			
1	574	310	652,3
2	540	291,6	613,7
3	166	89,6	188,7
4	490	264,6	556,9
5	325	175,5	369,4
6	1600	864	1818,4
7	374	202	425
8	824	445	936,5
9	1200	648	1363,8
10	166	89,6	188,7

Продолжение таблицы 2

Номер ячейки ПС-110/10 кВ «Песьяново»	P_{np} , кВт	Q_{np} , квар	S_{np} , кВА
11	166	89,6	188,7
12	1600	864	1818,4
2 секция сборных шин 10 кВ ПС-110/10 кВ «Песьяново»			
1	300	162	341
2	258	139,3	293,2
3	116	62,6	131,8
4	850	459	966
5	166	89,6	188,7
6	216	116,6	245,5
7	1600	864	1818,4
8	408	220,3	463,7
9	550	297	625,1
10	424	229	481,7
11	424	229	481,7
12	100	54	113,6
13	565	305,1	642,1
14	1600	864	1818,4
Собственные нужды	500	270	568,2
Всего по ПС-110/10 кВ «Песьяново»	16105	8695	18302,3

Учитывая полученные результаты расчёта электрических нагрузок присоединений потребителей рассматриваемой понизительной подстанции ПС-

110/10 кВ «Песьяново», в работе также проведён расчёт суммарной нагрузки всей реконструируемой ПС-110/10 кВ «Песьяново».

Значение расчётной активной нагрузки всей реконструируемой ПС-110/10 кВ «Песьяново» определяется так:

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

По условию (5)

$$P_{ПС} = 0,9 \cdot 16105 = 14494,5 \text{ (кВт)}$$

Значение расчётной реактивной нагрузки всей реконструируемой ПС-110/10 кВ «Песьяново»

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

По условию (6)

$$Q_{ПС} = 0,9 \cdot 8695 = 7825,5 \text{ (квар)}$$

Значение расчётной полной нагрузки всей реконструируемой ПС-110/10 кВ «Песьяново»

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

По условию (7)

$$S_{ПС} = \sqrt{14494,5^2 + 7825,5^2} = 16472,1(\text{кВА})$$

Результаты, полученные при расчёте электрических нагрузок как присоединений, так и всей реконструируемой понизительной ПС-110/10 кВ «Песьяново», используются в работе далее при выборе и проверке силовых трансформаторов подстанции, а также проводников и электрических аппаратов распределительных устройств подстанции, а также потребителей.

2.3 Выбор и проверка силовых трансформаторов на подстанции 110/10 кВ «Песьяново»

Так как реконструируемая понизительная ПС-110/10 кВ «Песьяново» питает потребители, большинство из которых относится к I и II категориям надёжности, следовательно, на данной понизительной подстанции остаётся два силовых трансформатора.

В связи с подключением новых потребителей к системе электроснабжения реконструируемой понизительной ПС-110/10 кВ «Песьяново», проводится проверка силовых трансформаторов на перегрузочную способность как в нормальном, так и в максимальном (послеаварийном) режиме работы.

Выбор и проверка силовых трансформаторов на реконструируемой понизительной ПС-110/10 кВ «Песьяново» в работе проводится по условию

$$S_{ном.т} \geq \frac{S_{ПС}}{1,4}, \quad (8)$$

По условию (8)

$$S_{ном.т} \geq \frac{16472,1}{1,4} = 11765,8(\text{кВА})$$

Согласно полученным данным расчёта, для установки на реконструируемой понизительной ПС-110/10 кВ «Песьяново», выбирается силовой трансформатор марки ТДН-25000/110 [12], который совпадает с ранее установленным трансформатором до проведения реконструкции.

В нормальном режиме работы системы, коэффициент загрузки силового трансформатора, установленного на понизительной реконструируемой понизительной ПС-110/10 кВ «Песьяново», должен удовлетворять:

$$K_3 \leq 0,7 \leq \frac{0,5 \cdot S_{ТП}}{S_{ном.т}}, \quad (9)$$

Согласно условию (9)

$$K_3 = \frac{0,5 \cdot 16472,1}{25000} = 0,33 < 0,7.$$

Условие проверки трансформатора в нормальном режиме выполняется.

В максимальном (послеаварийном) режиме работы системы, коэффициент загрузки силового трансформатора, установленного на реконструируемой понизительной ПС-110/10 кВ «Песьяново», должен удовлетворять:

$$K_3 \leq 1,4 \leq \frac{S_{ТП}}{S_{ном.т}}, \quad (10)$$

Согласно условию (10)

$$K_3 = \frac{16472,1}{25000} = 0,66 < 1,4.$$

Расчётом установлено, что ранее установленные до проведения реконструкции на понизительной ПС-110/10 кВ «Песьяново» силовые трансформаторы ТДН-25000/110 не нуждаются в замене в связи с подключением к ПС-110/10 кВ новых потребителей.

Выбранные силовые трансформаторы удовлетворяет условиям проверок как в нормальном, так и в послеаварийном режимах работы, следовательно, обеспечат питание потребителей установленной 1 и 2 категории надёжности без сбоев и аварий за счёт применения резервирования, а также необходимой мощности.

Замена трансформаторов в перспективе на более мощные не предвидится.

2.4 Выбор и проверка проводников подстанции 110/10 кВ «Песьяново»

Для выбора сечения проводников реконструируемой понизительной подстанции ПС-110/10 кВ «Песьяново», необходимо рассчитать их рабочий ток нормального режима работы по следующему условию

$$I_{p.} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}} \quad (11)$$

Значение максимального расчётного тока линии с учётом подключения дополнительной нагрузки (резервирования) в схеме ПС-110/10 кВ «Песьяново», где есть потребители 1 категории надёжности (с учётом двух источников питания)

$$I_{p.max} = 1,4I_{p.} \quad (12)$$

Проверка выбранного сечения линии в послеаварийном режиме работы системы [1]:

$$I_{доп} \geq I_{p.max}, \quad (13)$$

где $I_{доп}$ – предельно – допустимое справочное значение тока выбранного проводника линии [4];

$I_{p.max}$ – максимальный расчётный ток линии.

Выбор сечений проводников напряжением выше 1 кВ (питающей воздушной линии напряжением 110 кВ и отходящих к потребителям распределительных кабельных линий напряжением 10 кВ) ПС-110/10 кВ «Песьяново» в работе осуществляется непосредственно по экономической плотности тока таким образом:

$$F_{\circ} = \frac{I_{p.}}{j_{\circ}}, \quad (14)$$

где $j_э$ – нормированное значение экономической плотности тока, для заданных условий работы, а также в зависимости от типа и марки проводника (кабель или воздушная линия), А/мм².

Число часов использования максимальной перетекания мощности по ВЛ110 кВ ПС-110/10 кВ «Песьяново» составит 5500 ч, тогда экономическая плотность тока согласно [4] равна $j_э = 1,1$ А/ мм².

В работе проводится выбор сечения провода питающей воздушной линии ВЛ-110 кВ ПС-110/10 кВ «Песьяново» по приведенным выше условиям выбора и проверки (11) – (14)

$$I_n = \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 110} \approx 131,2 \text{ (А)}.$$

$$F_э = \frac{131,2}{1,1} = 119,3 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Так как подключённая нагрузка относится к 1 и 2 категории надёжности, максимальный расчётный ток воздушной линии ВЛ-110 кВ ПС-110/10 кВ «Песьяново» с учётом подключения дополнительной нагрузки (резервирования) будет равен

$$I_a = 1,4 \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 183,7 \text{ (А)}.$$

Принимается для питающей воздушной линии ВЛ-110 кВ ПС-110/10 кВ «Песьяново» ближайшее стандартное сечение провода линии, равное $F_{cm} = 120$ мм².

Учитывая прохождения питающей ВЛ-110 кВ по территории городской застройки, учитывая возможность в дальнейшем присоединения новых потребителей, в соответствии с рекомендациями по проектированию городских электрических сетей, а также основываясь на полученных результатах расчёта и методике выбора, для питающей воздушной линии ВЛ-110 кВ ПС-110/10 кВ «Песьяново» выбирается из [4] сталеалюминиевый провод ВЛ марки АС-120/19 с предельным значением допустимого тока $I_{дон} = 390$ А.

Проверка выбранного сечения питающей воздушной линии ВЛ-110 кВ ПС-110/10 кВ «Песьяново» в послеаварийном режиме работы системы электроснабжения выполняется [1]:

$$390 > 183,7 (\text{А}).$$

Проверка выбранного сечения питающей воздушной линии ВЛ-110 кВ понизительной подстанции ПС-110/10 кВ «Песьяново» по условию коронирующего разряда и механической прочности для климатической зоны по гололёду для г. Кургана и Курганской области также выполняется [4]:

$$120 > 70 (\text{мм}^2).$$

Далее выбранное сечение ВЛ-110 кВ ПС-110/10 кВ «Песьяново» необходимо дополнительно проверить по условию допустимой потери напряжения.

Известно, что потери напряжения в линиях питающей сети определяется так:

$$\Delta U = \frac{PR_{л} + QX_{л}}{U_{н}^2} \cdot 100, \% \quad (15)$$

Проверка по потере напряжения проводится для питающей воздушной линии напряжением 110 кВ ПС-110/10 кВ «Песьяново» с проводом марки АС-120/19

$$\Delta U_{110} = \frac{6613,1 \cdot (0,447 \cdot 6) + 2706,18 \cdot (0,4 \cdot 6)}{110^2} \cdot 100 = 2,18 \%$$

Потери напряжения в питающей ВЛ-110 кВ нормальном режиме меньше, чем 5 %, значит, допустимы.

Исходя из полученных результатов расчёта, в работе для питающей воздушной линии ВЛ-110 кВ понизительной подстанции ПС-110/10 кВ «Песьяново» окончательно принимается сталеалюминиевый провод стандартной марки АС-120/19 с предельным допустимым током $I_{дон} = 390$ А.

В работе для питающей воздушной линии ВЛ-110 кВ понизительной подстанции ПС-110/10 кВ «Песьяново» используются следующие типы металлических опор, устанавливаемых непосредственно на трассе линии с учётом климатической зоны по гололёду:

– промежуточные опоры П110-1: высота опор – 25 м, ширина основания опоры – 2,5 м. Данный тип опор служит для непосредственной поддержки проводов воздушной линии электропередачи 110 кВ, механическую нагрузку всей линии они не несут. Данные опоры имеют как штыревые, так и подвесные изоляторы (гирлянды). В работе применяются одноцепные промежуточные опоры. Опоры изготавливают из углового и листового металлопроката с нанесением антикоррозийного покрытия (оцинковка или красочный слой);

– анкерные угловые опоры У110-1: высота опор – 20,7 м, ширина основания опоры – 4,7 м. Данный тип опор рассчитан для поддержания механической нагрузки всей линии электропередачи 110 кВ и являются основными опорными конструкциями на линии. Данные опоры имеют только подвесные изоляторы (гирлянды). В работе применяются одноцепные анкерные угловые опоры. Этот тип опор изготавливают из углового и листового металлопроката с нанесением антикоррозийного покрытия (оцинковка или красочный слой).

Узлы монтажа приведённых выше опор питающей ВЛ-110 кВ приведены на графическом листе 6 работы.

Защита питающей воздушной линии ВЛ-110 кВ от прямых ударов молнии осуществляется подвеской одного грозозащитного троса - провода АЖС 70 - 39 по всей длине ВЛ.

Аналогично проведен выбор сечений проводов ВЛ-10 кВ для питания потребителей напряжением 10 кВ реконструируемой ПС-110/10 кВ от шин РУ-10 кВ указанной понизительной подстанции.

Сечения питающих воздушных линий 10 кВ осуществляется по экономической плотности тока по условию, аналогичному выбору сечения питающей ВЛ-110 кВ с приведением конечных полученных результатов в таблице 3. При этом в работе принято с учётом климатической зоны по гололёду и ветру [4] для г. Кургана и области, минимальное сечение проводников для ВЛ-10 кВ, равное 25 мм².

Таблица 3 – Результаты выбора сечений воздушных линий 10 кВ присоединений потребителей реконструируемой ПС-110/10 кВ «Песьяново» с учётом подключения новых потребителей

Номер ячейки ПС-110/10 кВ «Песьяново»	I_a , А	$F_{э}$, мм ²	Марка провода ВЛ-10 кВ	$I_{дон}$, А
1 секция сборных шин 10 кВ ПС-110/10 кВ «Песьяново»				
1	62,8	50	АС-50/8	210
2	59,1	50	АС-50/8	210
3	18,2	25	АС-25/4,2	142
4	53,6	50	АС-50/8	210
5	35,5	35	АС-35/6,2	175
6	175	150	АС-150/19	450
7	40,9	35	АС-35/6,2	175
8	90,1	70	АС-70/11	265
9	131,2	120	АС-120/19	390
10	18,2	25	АС-25/4,2	142
11	18,2	25	АС-25/4,2	142
12	175	150	АС-150/19	450
2 секция сборных шин 10 кВ ПС-110/10 кВ «Песьяново»				
1	32,8	25	АС-25/4,2	142
2	28,2	25	АС-25/4,2	142
3	12,7	25	АС-25/4,2	142
4	93	70	АС-70/11	265
5	18,2	25	АС-25/4,2	142
6	23,6	25	АС-25/4,2	142
7	172	150	АС-150/19	450
8	44,6	35	АС-35/6,2	175

Продолжение таблицы 3

Номер ячейки ПС-110/10 кВ «Песьяново»	I_a , А	$F_э$, мм ²	Марка провода ВЛ-10 кВ	$I_{дон}$, А
9	60,2	50	АС-50/8	210
10	46,4	35	АС-35/6,2	175
11	46,4	35	АС-35/6,2	175
12	10,9	25	АС-25/4,2	142
13	61,8	50	АС-50/8	210
14	175	150	АС-150/19	450
ТСН	27,3	25	АС-25/4,2	142

Исходя из полученных результатов расчёта с последующим выполнением соответствующих проверок, установлено, что выбранные в работе питающие сечения ВЛ-110 кВ и ВЛ-10 кВ обеспечат надёжное, экономичное и бесперебойное питание потребителей реконструируемой ПС-110/10 кВ.

Сечения проводников воздушных линий (питающей ВЛ-110 кВ и отходящих к потребителям ВЛ-10 кВ) показаны в графической части работы.

2.5 Расчёт токов короткого замыкания на ПС-110/10 кВ «Песьяново»

Расчёт токов короткого замыкания (далее – КЗ) на подстанции ПС-110/10 кВ «Песьяново» проводится с целью:

– проверки электрических аппаратов и проводников на термическую и электродинамическую стойкости к токам короткого замыкания. Для этой цели проводятся расчёты максимального трёхфазного тока, а также значения ударного тока КЗ в расчётных точках;

– выбора и проверки на чувствительность уставок релейной защиты и автоматики. Для этой цели проводятся расчёты максимального трёхфазного тока, а также значения двухфазного (минимального) тока КЗ в расчётных точках.

Расчёт искомых трёхфазных токов КЗ в максимальном режиме проводится в расчётной точке К1 – сеть напряжением 110 кВ (на выводах ВН силового трансформатора), а также в расчётной точке К2 – сеть напряжением 10 кВ (на выводах НН трансформатора).

Исходная схема представлена на рисунке 3.

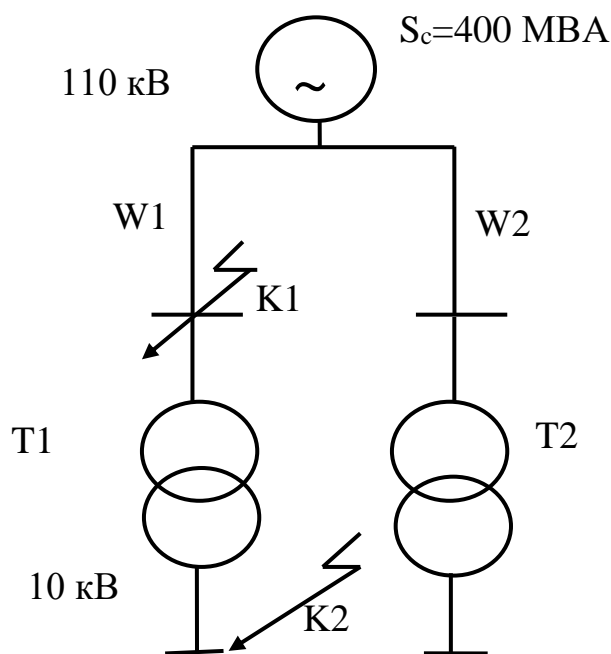


Рисунок 3 – Исходная схема для расчёта токов КЗ

Исходная схема замещения для расчёта токов КЗ в работе представлена на рисунке 4.

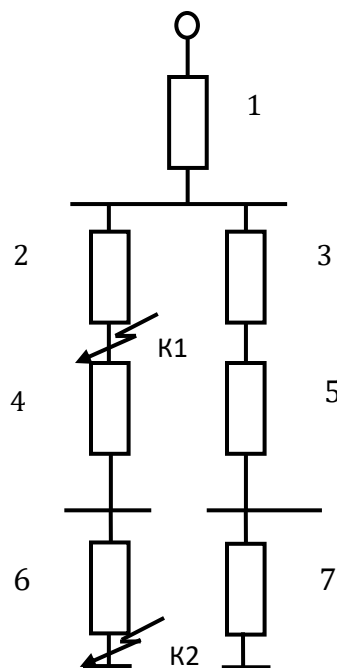


Рисунок 4 – Исходная схема замещения для расчёта токов КЗ

В качестве базисной ступени выбирается ступень высшего напряжения – 110 кВ.

Результаты расчётов токов КЗ, полученные на неосновной ступени (10 кВ) приводятся к основной ступени напряжения путём умножения результата на коэффициент трансформации силового трансформатора подстанции.

Выбираются и рассчитываются базисные условия:

$$S_{\bar{o}} = 400 \text{ (MVA)}.$$

$$U_{\bar{o}} = 1,05 \cdot U_{\text{ном}} = 1,05 \cdot 110 = 115 \text{ кВ}.$$

$$U_{\bar{o}} = 1,05 \cdot U_{\text{ном}} = 1,05 \cdot 10 = 10,5 \text{ кВ}.$$

Базисный ток

$$I_{\bar{o}} = \frac{S_{\bar{o}}}{\sqrt{3}U_{\bar{o}}}. \quad (16)$$

$$I_{\bar{o}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 115} = 2(\text{кА}).$$

$$I_{\bar{o}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 22(\text{кА}).$$

Сопротивление энергосистемы

$$X_1 = X_c \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{S_{\bar{o}c}}. \quad (17)$$

$$X_1 = 1,6 \cdot \frac{400}{400} = 1,6(\text{Ом}).$$

Сопротивление питающей воздушной линии 110 кВ

$$X_{wl} = X_2 = X_3 = X_0 \cdot L \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{U_{cp.cm}^2}, \quad (18)$$

где X_0 - удельное сопротивление ВЛ, Ом/км;

L - суммарная длина ВЛ, км.

$$X_{wl;} = 0,4 \cdot 0,5 \cdot \frac{400}{115^2} = 0,006(\text{Ом}).$$

Сопротивление обмотки ВН (напряжение 110 кВ) силового трансформатора подстанции

$$X_{\bar{e}} = \frac{0,125 \cdot U_{квн\%} \cdot S_{\bar{o}}}{100 \cdot S_{н.т.}}. \quad (19)$$

$$X_4 = X_5 = \frac{0,125 \cdot 10,5 \cdot 400}{100 \cdot 25} = 0,21(\text{Ом}).$$

Сопротивление обмотки НН (напряжение 10 кВ) силового трансформатора подстанции

$$X_{н1} = X_{н2} = \frac{1,75 \cdot U_{квн\%} S_{\sigma}}{100 \cdot S_{н.т.}}. \quad (20)$$

$$X_6 = X_7 = \frac{1,75 \cdot 10,5 \cdot 400}{100 \cdot 25} = 2,94(\text{Ом}).$$

Полученные расчётные параметры схемы замещения наносятся на рисунок 3.

Далее проводится преобразование исходной схемы замещения с целью расчёта токов КЗ в точках К1 и К2.

Схема замещения, преобразованная для расчётной точки К1, представлена на рисунке 5.

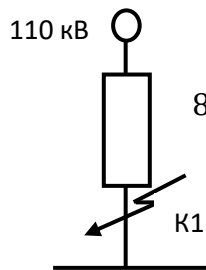


Рисунок 5 – Схема замещения, преобразованная для точки К1

Результирующее сопротивление до расчётной точки К1

$$X_8 = X_1 + X_2. \quad (21)$$

$$X_8 = 1,6 + 0,006 = 1,606 \approx 1,61(\text{Ом}).$$

Начальное действующее значение периодической составляющей тока трёхфазного короткого замыкания (максимальное значение тока трёхфазного КЗ) в расчётной точке К1

$$I_{\text{по1}} = \frac{E}{X_8} \cdot I_{\sigma}, \quad (22)$$

где E_c - сверхпереходная ЭДС энергосистемы, $E_c=1$.

$$I_{\text{по1}} = \frac{1}{1,61} \cdot 2 = 1,24(\text{кА}).$$

Схема замещения для расчета тока трёхфазного короткого замыкания в расчётной точке К2 представлена на рисунке 6.

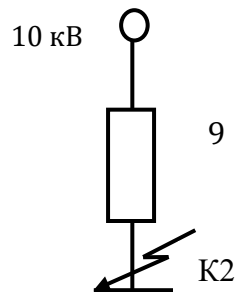


Рисунок 6 – Схема замещения для расчетов в точке К2

Расчёт для точки К2 аналогичен расчёту для точки К1 (с учётом большего числа сопротивлений, входящих в цепь КЗ).

$$X_9 = X_8 + X_4 + X_6. \quad (23)$$

$$X_9 = 1,61 + 0,21 + 2,94 = 4,76(\text{Ом}).$$

Начальное действующее значение периодической составляющей тока трёхфазного короткого замыкания (максимальное значение) в точке К2 с учётом того, что данная точка КЗ находится не на основной (базовой) ступени напряжения, следовательно, результат расчёта необходимо умножить на коэффициент трансформации

$$I_{\text{по2}} = \frac{E}{X_9} \cdot I_{\sigma} \cdot K_m, \quad (24)$$

где K_m – значение коэффициента трансформации силового трансформатора подстанции, о.е.

$$I_{\text{по2}} = \frac{1}{4,76} \cdot 22 = 4,62(\text{кА}).$$

Значение ударного тока в расчётной точке К1

$$i_{\text{уд1}} = \sqrt{2}k_{\text{уд}} \cdot I_{\text{по1}}. \quad (25)$$

По условию (25) для К1

$$i_{\text{уд1}} = \sqrt{2} \cdot 1,7 \cdot 1,24 = 2,98(\text{кА}).$$

Значение ударного тока в расчётной точке К2

$$i_{уд2} = \sqrt{2}k_{уд} \cdot I_{по2}. \quad (26)$$

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 4,62 = 9,15(\text{кА}).$$

Значение двухфазного тока короткого замыкания

$$I_{no(\min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{no}. \quad (27)$$

Значение двухфазного тока короткого замыкания в расчётной точке К1 реконструируемой понизительной подстанции «Песьяново» Курганских электрических сетей

$$I_{no(\min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,24 = 1,07(\text{кА}).$$

Значение двухфазного тока короткого замыкания в расчётной точке К2 реконструируемой понизительной подстанции «Песьяново» Курганских электрических сетей

$$I_{no(\min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4,62 = 4,0(\text{кА}).$$

Все полученные в работе результаты расчёта токов короткого замыкания (трёхфазного, двухфазного), а также ударных токов, выполненных в системе

электроснабжения реконструируемой понизительной подстанции «Песьяново» Курганских электрических сетей, приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчетов токов короткого замыкания на реконструируемой понизительной подстанции «Песьяново» Курганских электрических сетей

Параметр	Точка К1	Точка К2
I_{no} , кА	1,24	4,62
$I_{no (min)}$, кА	1,07	4,00
i_{y0} , кА	2,98	9,15

Полученные результаты расчетов токов короткого замыкания, а также величины ударных токов трёхфазного КЗ в системе электроснабжения реконструируемой понизительной подстанции «Песьяново» Курганских электрических сетей, используются в работе далее при выборе и проверке электрических аппаратов на термическую и электродинамическую стойкость.

2.6 Выбор и проверка электрических аппаратов и оборудования на подстанции 110/10 кВ «Песьяново»

Для защиты и коммутации присоединений напряжением 110 кВ и 10 кВ ПС-110/10 кВ «Песьяново» применяются высоковольтные выключатели, установленные в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ на ПС-110/10 кВ «Песьяново».

Для обеспечения безопасности проводимых работ с целью создания видимого разрыва в ОРУ-110 кВ ПС-110/10 кВ «Песьяново» применяются разъединители, а в РУ-10 кВ – втычные контакты ячеек типа КРУН (комплектные распределительные устройства наружной установки).

Для обеспечения питания вторичных цепей в схеме 110 кВ и 10 кВ используются трансформаторы тока и напряжения.

Для защиты от атмосферных перенапряжений вследствие удара молнии, а также от внутренних перенапряжений, в схеме ПС-110/10 кВ «Песьяново» применяются ограничители перенапряжения.

Выбор аппаратов высокого напряжения в общем виде производится по напряжению и рабочему максимальному току [6-8]:

$$U_{уст} \leq U_n; \quad (28)$$

$$I_{раб.макс.} \leq I_n. \quad (29)$$

Выбранные аппараты высокого напряжения подлежат следующим проверкам по условиям [14]:

$$I_{nt} \leq I_{откл}. \quad (30)$$

$$(\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{отк.н} (1 + \beta_n), \quad (31)$$

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}, \quad (32)$$

$$i_y \leq i_{пр.с}, \quad (33)$$

$$B_k \leq I_T^2 t_T; \quad (34)$$

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a), \quad (35)$$

Выбор электрических аппаратов высокого напряжения в реконструированной схеме рассмотрен на примере вводного выключателя в ОРУ-110 кВ.

Предварительно выбирается выключатель для установки в ОРУ 110 кВ ПС-110/10 кВ «Песьяново» элегазовый выключатель ЛТВ-145D1/В-31,5/2000 [8]

$$U_{ном} = 110 = U_{сети} = 110(\text{кВ}).$$

$$I_{ном} = 1000 > I_{расч} = 183,7(\text{А}).$$

$$I_{откл} = 20 > I_{к1} = 1,24(\text{кА}).$$

$$i_{пр.скв} = 52 > i_{ук1} = 2,98(\text{кА}).$$

$$I_{t}^2 = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{кА}^2 \text{с} > I_{k}^2 (t_{откл} + T_a) = 1,24^2 \cdot (5 + 0,02) = 7,71(\text{кА}^2 \text{с}).$$

$$\sqrt{2} \cdot I_k (1 + \beta_{ном} / 100) = \sqrt{2} \cdot 20(1 + 0,25) = 35 > \sqrt{2} \cdot 2,98 \cdot (1 + e^{\frac{-(0,05+0,1)}{0,007}}) = 14,8(\text{кА}^2 \cdot \text{с}).$$

Окончательно выбирается для установки на вводе ОРУ-110 кВ элегазовый выключатель высокого напряжения марки ЛТВ-145D1/В.

Распределительное устройство 10 кВ реконструируемой ПС-110/10 кВ «Песьяново» (РУ-10 кВ), от которого получают питание потребители напряжением 10 кВ, представляет собой комплектное распределительное устройство внутренней установки.

В виду этого, в РУ-10 кВ не устанавливаются разъединители, которые заменяются втычными контактами, что является существенным преимуществом данного типа ячеек.

ОРУ-110 кВ и КРУН-10 кВ реконструируемой ПС-110/10 кВ «Песьяново» комплектуются соответствующими типами инновационных электрических аппаратов, выбор которых проводится аналогично выбору выключателя 110 кВ, приведённому ранее по условиям (30) – (35).

Результаты выбора электрических аппаратов в реконструируемой схеме ПС-110/10 кВ «Песьяново» приведены в таблице 5 (110 кВ) и таблице 6 (10 кВ).

Таблица 5 – Результаты выбора электрических аппаратов напряжением 110 кВ в реконструируемой схеме ПС-110/10 кВ «Песьяново»

№ п/п	Наименование электрического аппарата	Марка (типономинал) электрического аппарата
1	Выключатель высокого напряжения	ЛТВ-145D1/В-31,5/2000
2	Разъединитель	РГ-110/1000У1
3	Трансформатор тока	ТВТ-110
4	Трансформатор напряжения	НДКМ-110
5	Ограничители перенапряжений	ОПН-У/TEL-110/84-УХЛ1

Таблица 6 – Результаты выбора электрических аппаратов напряжением 10 кВ в реконструируемой схеме ПС-110/10 кВ «Песьяново»

№ п/п	Наименование электрического аппарата	Марка (типономинал) электрического аппарата
1	Выключатель высокого напряжения	ВВ/TEL-10-20/3600-У2-48 (ввод и секционный ВВН) ВВ/TEL-10-20/630-У2-48 (ВВН к отходящим потребителям)
2	Предохранитель плавкий	ПК-10-16 (для защиты ТТ)
3	Трансформатор тока	ТЛО-10
4	Трансформатор напряжения	НАМИ-10
5	Ограничители перенапряжений	ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1

Выбранные типы и марки электрических аппаратов номинальным напряжением 110 кВ и 10 кВ показаны в графической части работы.

2.7 Разработка мероприятий по повышению энергоэффективности на понизительной подстанции 110/10 кВ «Песьяново»

Алгоритм формирования мероприятий повышению энергоэффективности электроэнергетических и электротехнических систем на объектах энергетики имеет этапы социально-экономического развития с характерным формированием частной собственности, внедряя при этом правила четкого разделения видов деятельности и операции, на уровне высшего руководства [7, с.16-19]. Организации, внедрившие данные мероприятия, прорабатывают оптимизацию энергетических установок, в том числе производя модернизацию и реконструкцию, что позволяет снизить энергетические затраты на 30% и более [7, с. 16-19].

Проблематика и её пути решения организации мероприятий повышению энергоэффективности электроэнергетических и электротехнических систем в сетях потребителей электроэнергии регулируется на общедоиндеральном и доударственном уровнях.

Данный аспект отражен в законодательных актах, нормативных и нормативно-правовых документах [3-5].

Однако любую программу мероприятий повышению энергоэффективности электроэнергетических и электротехнических систем невозможно реализовать без энергосберегающих мероприятий, которые детально рассматриваются и анализируются в работе далее.

Известно, что основные направления для мероприятий по повышению энергоэффективности электроэнергетических и электротехнических систем носят организационный либо технический характер (аспект) [10, с. 28-31].

Организационные мероприятия мероприятий по повышению энергоэффективности электроэнергетических и электротехнических систем заключаются в непосредственном теоретическом процессе организации

управлением развитием электроэнергетических и электротехнических систем и включают в себя [10, с. 28-31]:

- разработку, согласование и утверждение плана программы по непосредственному управлению развитием электроэнергетических и электротехнических систем;
- проведение энергоаудита;
- постановка задач и целей персоналу;
- обучение и развитие навыков персонала;
- проведение энергоменеджмента;
- привлечение инвестиций как внешних, так и внутренних;
- премирование и штрафы за несоблюдение установленных норм потребления энергоресурсов;
- контроль над использованием энергоресурсов всех типов и видов;
- внедрения новых программ для анализа и контроля потребления энергоресурсов и их оптимизации с использованием ЭВМ и т.д.

Технические мероприятия по повышению энергоэффективности электроэнергетических и электротехнических систем носят практический характер.

Для объектов энергетики и для рассматриваемой в работе понизительной подстанции «Песьяново» Курганских электрических сетей, наиболее распространёнными и эффективными мероприятиями этой группы являются мероприятия по модернизации и реконструкции электрических сетей и оборудования, а также по оптимизации режимов работы электроустановок, что в подавляющем большинстве случаев приводит к ощутимым технико – экономическим результатам.

Кроме того, особое внимание уделяется автоматизации электрических сетей и оборудования систем электроснабжения, а также вопросам компенсации реактивной мощности [10, с. 28-31].

В [10, с. 28-31] наиболее эффективными и значимыми техническими мероприятиями по повышению энергоэффективности электроэнергетических и электротехнических систем считаются:

- реконструкция схем с заменой (модернизацией) устаревших проводников электрических сетей и оборудования на современные марки с улучшенными техническими показателями;

- установка и ввод в эксплуатацию современных силовых трансформаторов и силового электрооборудования, имеющих улучшенные технические характеристики;

- качественная компенсация реактивной мощности с применением автоматических регуляторов для данного процесса;

- замена проводников на перегруженных линиях электропередачи;

- замена систематически перегруженных силовых трансформаторов;

- повышение загрузки до оптимального уровня силового оборудования трансформаторных подстанций, мощных электродвигателей и др.;

- автоматизация сети с непосредственной установкой автоматических регуляторов и систем автоматики (АПВ, АВР, АЧР и др.);

- уменьшение технических потерь до нормируемого уровня и полное искоренение коммерческих потерь.

Указанные мероприятия также целесообразны к применению в системе электроснабжения ПС-110/10 кВ «Песьяново».

Из группы технических мероприятий также выделяют режимные мероприятия, например, обеспечение оптимального режима компенсаторов реактивной мощности, своевременное переключение ответвлений обмоток трансформаторов с РПН, отключение силовых трансформаторов в сетях низкого напряжения на период малых нагрузок, перевод нагрузки на другие линии в «часы пик», разгрузка узлов электрических сетей, станций и подстанций и т.п. [19, с. 49-54].

Отдельно следует рассмотреть технические мероприятия по минимизации потерь электроэнергии как одно из наиболее действенных способов повышения энергоэффективности.

Минимизация потерь электроэнергии является одним из наиболее важных задач энергосбережения отечественной электроэнергетики.

Современные промышленные предприятия всё чаще обращают внимание на данную проблему по причине возможности уменьшить свои экономические расходы и значительно улучшить технико – экономические показатели своих систем электроснабжения.

В последние годы доля потерь электроэнергии в сетях промышленных предприятий значительно возросла, что связано, в первую очередь, с использованием устаревшего оборудования, не соответствующего современным нормам качества, применением в сетях резкопеременной и нестационарной нагрузки, отсутствие компенсации реактивной мощности.

Кроме того, с другой стороны к увеличению потерь электроэнергии приводят также ошибки на стадии проектирования, катастрофически низкая загрузка оборудования, а также недостаточная оптимизация технологического процесса.

Поэтому решение поставленной в работе задачи в условиях современной электроэнергетики носит актуальный характер и требует дальнейших исследований.

Как известно, отчётные потери электроэнергии представляются в форме следующих составляющих, а именно [5, с. 6-9]:

1) технические потери – это потери, возникающие вследствие физических процессов в электрооборудовании и сетях. На объектах электроэнергетики значительную долю технических потерь составляют нагрузочные потери (до 80%);

2) коммерческие потери – обусловлены различного рода хищениями электроэнергии и несвоевременной её оплатой;

3) инструментальные потери – возникают вследствие погрешностей измерительных приборов учёта и контроля электроэнергии, а также их несоответствия требуемым параметрам и характеристикам;

4) потери на собственные нужды – учитывают потери и расход электроэнергии в электроустановках на собственные нужды при передаче и распределении электроэнергии потребителям (подстанции, распределительные пункты и др.).

Совместное применение организационных и технических мероприятий для решения задач управления развитием электроэнергетических и электротехнических систем в конечном итоге приводит к осязаемому технико – экономическому эффекту на всех звеньях систем электроснабжения как предприятий, так и энергосистемы в целом [12, с. 82-87].

Прежде, чем внедрять те или иные мероприятия по повышению энергоэффективности электроэнергетических и электротехнических систем, необходимо тщательно и скрупулёзно изучить их сущность, определить причины их образования, проанализировать и структурировать полученные данные.

И только после этого анализа можно четко определить и сформулировать самые необходимые и потенциально эффективные мероприятия по повышению энергоэффективности электроэнергетических и электротехнических систем для конкретного предприятия.

При этом необходимо принять во внимание, что, как правило, многие из наиболее эффективных мероприятий требуют существенных капиталовложений, поэтому необходимо провести технико – экономическое обоснование внедрения данных мероприятий в систему электроснабжения конкретного предприятия и сделать соответствующие выводы.

В конечном итоге необходимо обосновать экономическую эффективность предложенных мероприятий, рассчитав срок их конечной окупаемости.

Кроме того, внедрение многих мероприятий по повышению энергоэффективности электроэнергетических и электротехнических систем предоставляет возможность разрешить ряд других важных технических задач.

Например, с помощью соответствующего программного обеспечения, контролирующего потребление электроэнергии в узлах, появляется возможность фиксировать возникновение токов коротких замыканий с последующей их локализацией, которые являются серьезной проблемой, особенно для распределительных сетей потребителей.

Кроме того, таким же способом можно анализировать ветви и узлы схемы и выявлять в сети несанкционированный доступ (кражи электроэнергии различного типа).

Помимо этого, внедрение мероприятий по повышению энергоэффективности электроэнергетических и электротехнических систем также приводит к решению вопросов экономического и технического характера, например, снижение расхода на монтаж, эксплуатацию и ремонт, искоренение краж и недоучёта электроэнергии (экономические потери электроэнергии), повышение надёжности систем электроснабжения и их отдельных элементов вследствие использования инновационных разработок, а также проведения модернизации и реконструкции сетей, систем и их элементов в системах электроснабжения различного типа.

В виду известного и ощутимого эффекта от внедрения перечисленных мероприятий по повышению энергоэффективности, их предложено принять к сведению к непосредственному использованию в системе электроснабжения проектируемой понизительной подстанции «Песьяново» Курганских электрических сетей.

Вывод по разделу 2

При разработке проекта реконструкции ПС-110/10 кВ «Песьяново» выбрана новая схема электрических соединений оборудования, а так же благодаря произведенным расчетам нагрузки и токов короткого замыкания, подобрано новое оборудование которое будет соответствовать всем требованиям и нормам [1-4]. Разработаны мероприятия по повышению энергоэффективности что приводит к решению вопросов экономического и технического характера, например, снижение расхода на монтаж, эксплуатацию и ремонт, искоренение краж и недоучёта электроэнергии, повышение надёжности систем электроснабжения и их отдельных элементов вследствие использования инновационных разработок.

3 Разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда

3.1 Обеспечение безопасности жизнедеятельности проекта

В числе основных опасных и вредных производственных факторов при выполнении работ в электрической сети на ПС-110/10 кВ «Песьяново», выделяются:

- поражение людей электрическим током;
- наличие опасного шагового напряжения в зоне растекания электрического тока при замыкании токоведущих частей на землю, в особенности в сырую погоду;
- появление наведенного и опасного напряжения на корпусах электрооборудования при повреждении изоляции;
- влияние электромагнитных полей высокого напряжения на организм людей;
- травмы различной степени тяжести при выполнении работ по монтажу, обслуживанию и ремонту электрического оборудования и сетей;
- опасность падения с высоты при монтаже, обслуживании и ремонте воздушных линий электропередач;
- опасность возникновения пожара, в особенности в помещениях распределительных устройств с маслонаполненными аппаратами и в силовых трансформаторах;
- опасность взрыва в маслонаполненном герметизированном оборудовании;
- повышенный уровень шума при выполнении работ по монтажу, эксплуатации и ремонту оборудования и сетей;
- недостаточная освещенность рабочей зоны при работах в помещении закрытых и открытых распределительных устройств в течение суток;

- повышенная либо пониженная температура воздуха рабочей зоны при выполнении работ;
- опасность получения ожогов лица и глаз при возникновении дуги, коротком замыкании;
- повышенная опасность повреждения существующих коммуникаций при прокладке и ремонте воздушных линий системы электроснабжения потребителей.

Как правило, поражение электрическим током возникает в таких случаях:

- при прикосновении к токоведущим частям под напряжением (токоведущие силовые цепи электроустановок, собственные нужды, оперативные цепи релейной защиты и автоматики);
- при приближении на недопустимое расстояние к токоведущим частям электроустановок понизительной подстанции 110/10 кВ «Песьяново» Курганских электрических сетей;
- при прикосновении к заземленным нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (напряжение прикосновения);
- при нахождении человека вблизи заземления (менее 8 м), с которого проходит ток в землю (напряжение шага или иного возможного замыкания на землю) в понизительной подстанции 110/10 кВ «Песьяново» Курганских электрических сетей.

Кроме того, существует вероятность прочих производственных видов опасности:

- опасность возможных ожогов электрической дугой, которая возникла в результате неправильных оперативных действий с разъединителями, заземляющими ножами;
- возможность ушибов и переломов конечностей вследствие падений при движении по неровной или скользкой, или неосвещённой поверхности;

– опасность повреждения организма вследствие попадания конечностей под трущиеся и вращающиеся объекты электрооборудования.

Возникновения пожара на объектах возможно при следующих обстоятельствах:

- при коротких замыканиях;
- при прямых попаданиях молнии;
- при перегреве и внутренних коротких замыканиях масляных трансформаторов на подстанции;
- при разрушении и перегрева изоляции с последующим возгоранием;
- при перегреве токоведущих частей от перегрузки при неправильном их выборе.

Охрана труда и техника безопасности при выполнении работ в электроустановках понизительной подстанции 110/10 кВ «Песьяново» Курганских электрических сетей лежат в основе производственной деятельности любой организации.

Контроль за соблюдением норм по охране труда и технике безопасности возложен на соответствующие контролирующие органы и организации, имеющие право, как поощрять добросовестных исполнителей, так и наказывать злостных нарушителей трудовой дисциплины.

На предприятиях и установках энергетики страны контроль за соблюдением норм и положений охраны труда и техники безопасности возложен на руководителей предприятий (организаций, филиалов и т.д.).

Они несут полную ответственность за соблюдение техники безопасности своими подчинёнными, выполнение норм и требований основных нормативных документов по охране труда и технике безопасности, соблюдением должностных обязанностей всеми структурными группами и элементами данной организации (предприятия).

Соблюдение трудовой дисциплины является основой по технике безопасности при выполнении любых работ в электроустановках.

Согласно действующему законодательству, администрация обязана проводить инструктаж всех работников по безопасным приемам выполнения работ.

Согласно положениям [18], для рабочих проводятся по технике безопасности вводный инструктаж и инструктаж на рабочем месте.

Для обеспечения выполнения мероприятий по технике безопасности на предприятии существуют определенные требования к персоналу.

Существует 5 групп по электробезопасности. Проводится периодическая проверка знаний персонала, оформляется по установленным нормам допуск к работе, то есть выписывают наряды. Периодически проверяют выполнение правил по технике безопасности.

Рабочий персонал должен соблюдать правила техники безопасности, так как нарушение правил эксплуатации и ремонта может привести не только к поломке технологического оборудования, но и к несчастным случаям.

При ремонте электрооборудования понизительной подстанции 110/10 кВ «Песьяново» Курганских электрических сетей, необходимо убедиться в надежном отключении установки от источника питания.

Для этого необходимо выключить коммутационный аппарат и отключить установку от сети.

Для персонала, работающих в опасных условиях, выдаются средства индивидуальной защиты.

Электротехническому персоналу, работающему в электроустановках понизительной подстанции 110/10 кВ «Песьяново» Курганских электрических сетей, выдаются перчатки, коврики, очки и другие защитные средства.

Особо следует уделить внимание электроинструменту. Проведение работы по ремонту электрооборудования необходимо проводить с помощью

неповрежденного инструмента, который проверен на рабочем месте перед тем как его использовать, а также срок проверки инструмента в лаборатории нормоконтроля не просрочены.

Электротехнический персонал понизительной подстанции 110/10 кВ «Песьяново» Курганских электрических сетей, на рабочем месте должен выполнять только ту работу, которая ему поручена (по наряду, распоряжению, в порядке текущей эксплуатации) и входит в круг его обязанностей с выполнением требований [1-4,18] и инструкций по охране труда.

В случае поручения работы, которая не входит в круг его профессиональных обязанностей, работник должен получить по этой работе соответствующий инструктаж по записи в журнале целевого инструктажа.

В подавляющем большинстве случаев при выполнении работ в электроустановках понизительной подстанции 110/10 кВ «Песьяново» Курганских электрических сетей, всё напряжение с токоведущих частей должно быть снято, рабочее место ограждено, а каждый член бригады должен знать и чётко выполнять свои обязанности при соответствующем виде работ.

Нормами [18] установлены следующие члены бригады при выполнении работ в электроустановках (состав бригады):

– руководитель работ – как правило, назначается из лиц инженерно-технического персонала. В обязанности руководителя работ входит непосредственная и качественная организация проведения соответствующих работ, инструктаж бригады на рабочем месте, контроль за выполнением работ, распределение обязанностей членов бригады. Руководитель работ должен иметь группу допуска не ниже третьей при выполнении работ в электроустановках напряжением до 1 кВ и не ниже четвёртой при выполнении работ в электроустановках напряжением выше 1 кВ;

– допускающий – член бригады, который проводит непосредственный допуск бригады к выполнению работ. Как правило, назначается из лиц с

группой допуска не ниже третьей при выполнении работ в электроустановках напряжением до 1 кВ и не ниже четвертой при выполнении работ в электроустановках напряжением выше 1 кВ. В особых случаях (при выполнении работ с повышенной опасностью), допускающий должен иметь группу допуска не ниже пятой;

– наблюдающий – член бригады, который непосредственно следит за соблюдением мер техники безопасности бригады во время выполнения работ. Наблюдающему, в отличие от остальных членов бригады, категорически запрещено совмещать другие должности. Как правило, назначается из лиц с группой допуска не ниже третьей при выполнении работ в электроустановках напряжением до 1 кВ и не ниже четвертой при выполнении работ в электроустановках напряжением выше 1 кВ. В особых случаях (при выполнении работ с повышенной опасностью), наблюдающий должен иметь группу допуска не ниже пятой;

– исполнитель работ – член бригады, который непосредственно выполняет работу в электроустановках. Как правило, это – рабочий персонал (электромонтёр, электрослесарь, электромонтажник и т.д.). Исполнитель работ может иметь любую группу допуска, однако при наличии второй группы его работу должен контролировать более опытный исполнитель работ либо наблюдающий. При наличии третьей группы допуска исполнитель работ может выполнять работы с полным снятием напряжением в электроустановках как до 1 кВ, так и выше 1 кВ.

Для защиты от электрического тока при прикосновении к токоведущим цепей оперативного тока, применяются изолированные провода.

Аппаратура релейной защиты на постоянном оперативном токе расположена в специальных шкафах. При замыкании или повреждении оперативных цепей осуществляется их контроль и защиту.

Для защиты от опасности при переходе напряжения с высокой стороны на низкую вторичные цепи измерительных трансформаторов заземлены.

Контроль и защиту при КЗ на землю и повреждении изоляции выполняет система релейной защиты, автоматики и сигнализации.

Персонал, обслуживающий электроустановки, должен хорошо знать правила противопожарной безопасности и пожаротушения электрооборудования цеха или других подразделений завода.

Для предотвращения пожара или обнаружения неисправности, возможных от КЗ, перегрузок, повреждения или перегрева изоляции применяют максимальная токовая защита (МТЗ), защита от перегрузок, защита от замыканий на землю и контроль изоляции.

В сети 110 кВ на питающей ВЛ-110 кВ и ОРУ-110 кВ электрической сети понизительной подстанции 110/10 кВ «Песьяново» Курганских электрических сетей, есть фактор повышенной напряжённости поля, который негативно влияет на организм людей.

Поэтому работы в указанных электроустановках все работы по монтажу, обслуживанию и ремонту оборудования и сетей следует производить в специальных экранирующих костюмах, а также необходимо свести к минимуму время пребывания людей на указанных объектах.

Снятие базового заземления проводится заранее определенной выдающим наряд бригадой с заземлением проводов всех фаз на контур заземления опоры или групповой заземлитель.

Эти операции необходимо выполнять, как правило, с заземлением линий в настоящее время.

Работы следует выполнять под контролем дежурного диспетчера с записью в оперативном журнале и оформлением в наряде.

Допускается также выполнять установку и снятие базового заземления без заземления линии.

Однако в этом случае разрешение на установку базового заземления, подготовку рабочего места и допуск бригады к работе выдается одновременно.

Выполнение таких работ может быть допущено только по решению главного инженера с оформлением в оперативном журнале и наряде [2,3,11].

Особо следует сказать о роли защитного заземления в сетях ПС-110/10 кВ и его влияние на поражение человека электрическим током.

Известно, что повреждения изоляции электрооборудования может привести к появлению на корпусах и других металлических частях электроустановок (потенциально опасных частях) потенциалов, опасных для жизни человека.

Поэтому все потенциально опасные части должны быть заземлены или занулены. Для этой цели применяют как естественные, так и искусственные заземлители. Однако накопленный десятилетиями опыт работ в электроустановках позволяет говорить о том, что в подавляющем большинстве случаев на понизительных подстанциях энергосистемы требуется применение защитного заземления (заземляющего устройства).

Заземляющее устройство состоит из совокупности электрически соединенных заземлителей и заземляющих проводников.

В качестве искусственных вертикальных заземлителей чаще всего применяют прутковую сталь диаметром 12 - 20 мм при длине 5 - 6 м; углубление делают вкручиванием.

Между собой заземлители заземляющего устройства соединяют на глубине 0,5 - 0,7 м с помощью сварки стальной полосой размерами не менее 40x4 мм или прутком диаметром 10 - 12 мм.

Заземляющие проводники соединяют заземлитель с частями электроустановки, которые заземляются.

В электроустановках согласно [4,18]:

– магистральные защитные проводники, прокладываемые открыто, должны иметь сечение не менее 100 мм²;

– проводимость защитного проводника в соответствии с [4] должна быть не ниже 50% проводимости фазного провода.

Каждый элемент заземляется, должен быть подключен к сети заземления отдельным ответвлением (заземляющим проводником), а внутреннюю заземляющую сеть следует соединить с внешним заземляющим контуром не менее, чем в двух местах [4].

Для заземления электроустановок различных назначений и различных напряжений, территориально приближенных одна к другой, применяют один общий заземляющий контур, сопротивление которого принимается равным сопротивлению той установки, где он является минимальным [4].

Приведённые мероприятия обеспечивают безопасность проведения работ в электроустановках всех классов напряжения и являются строго обязательными к исполнению.

3.2 Обеспечение экологической безопасности проекта

При проектировании ВЛ-110 кВ, питающих ОРУ-110 кВ понизительной подстанции 110/10 кВ «Песьяново» Курганских электрических сетей, должны выполняться требования нормативных документов, регламентирующих уровень допусков. С целью предупреждения ухудшения экологической обстановки и возникновения опасности для здоровья и жизни людей от указанных объектов, представляющих повышенную экологическую опасность, осуществляется комплекс взаимосвязанных мероприятий.

Надежным средством обеспечения экологической безопасности в электроэнергетике должен стать механизм ее правового обеспечения, который с учетом подходов, выработанных в [21-25], включающий составляющие:

- законодательное обеспечение экологической безопасности в электроэнергетике;
- организационно-структурное обеспечение экологической безопасности в электроэнергетике;
- функционально-правовое обеспечение экологической безопасности в электроэнергетике;
- экономический механизм обеспечения такой безопасности;
- юридическая ответственность как средство обеспечения экологической безопасности в электроэнергетике.

Установлены требования к нормативам предельно допустимых выбросов, закреплено дополнительные обязанности предприятий, в том числе [20]: регулирование уровней воздействия физических факторов на состояние атмосферного воздуха (ст. 12), а также меры по предотвращению и снижению производственных шумов (ст. 21).

Охрана окружающей среды при строительстве объектов энергетики осуществляется путем выполнения природоохранных мероприятий. В зависимости от вида электроустановок, принято выделять и виды техногенных воздействий, в которых присутствует экологический риск.

Так, негативным влиянием энергетики на элементы окружающей среды, а также уровень жизни и здоровья людей, являются [2,3,11]:

- выбросы загрязняющих веществ и парниковых газов;
- ухудшение видимости атмосферы;
- запыленность атмосферного воздуха;
- выпадение осадков и кислотных дождей;
- разрушение озонового слоя;
- влияние шума объектов энергетики на окружающую среду;
- загрязнения подземных и поверхностных вод.

Негативное влияние линий электропередач высокого напряжения (в частности, ВЛ-110 кВ понизительной подстанции 110/10 кВ «Песьяново» Курганских электрических сетей) сказывается во вредном влиянии на людей электромагнитных полей линий электропередач высокого напряжения [2,3,11].

Но при условии наступления серьезных повреждений (сильное землетрясение, авария, террористический акт, военные действия) энергетические объекты наносят значительный ущерб как окружающей среде, так и здоровью людей.

Итак, экологический риск от негативного влияния понизительной подстанции 110/10 кВ «Песьяново» Курганских электрических сетей и линий электропередач 110 кВ на элементы окружающей среды, жизни и здоровья людей, оказывается за загрязнения атмосферного воздуха химическими веществами и физическими факторами, загрязнение водных и земельных объектов химическими веществами; загрязнения земельных участков отходами.

Указанные мероприятия по охране окружающей среды должны быть приняты к сведению и внедрены в систему электроснабжения понизительной подстанции 110/10 кВ «Песьяново» Курганских электрических сетей.

Вывод по разделу 3

Приведённые в разделе мероприятия по охране труда и охране окружающей среды обеспечивают безопасность проведения работ в электроустановках всех классов напряжения и являются строго обязательными к исполнению.

Заключение

В результате выполнения работы разработан проект по реконструкции электрической части подстанции 110/10 кВ «Песьяново» при соблюдении требований надёжности и экономичности принятых основных решений.

В работе, согласно поставленному заданию и основной цели, осуществлено решение основных поставленных задач:

- проведён анализа исходных данных, в результате чего рассмотрена техническая характеристика подстанции 110/10 кВ «Песьяново» до проведения реконструкции. На основании анализа исходных данных проведено обоснование проведения реконструкции подстанции;

- осуществлена непосредственная разработка проекта реконструкции электрической части подстанции 110/10 кВ «Песьяново», первоначально включающая выбор схемы электрических соединений подстанции 110/10 кВ «Песьяново». Далее, на основании результатов расчёта электрических нагрузок и токов короткого замыкания, осуществляется выбор и проверка силовых трансформаторов, проводников, электрических аппаратов и оборудования на понизительной подстанции 110/10 кВ «Песьяново». Отдельно также разработан комплекс мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения понизительной подстанции 110/10 кВ «Песьяново».

В результате выполнения работы получены следующие основные результаты:

- установлено, что к ПС-110/10 кВ «Песьяново» необходимо подключить дополнительную нагрузку, изначально не предусмотренную проектными условиями. В виду этого факта, внесены изменения в исходную схему первичных соединений подстанции, а также проверены мощность силовых

трансформаторов на данной понизительной подстанции, марки и сечения проводников и типономиналы электрических аппаратов;

– так как ПС-110/10 кВ «Песьяново» относится к узловой подстанции, в схеме ОРУ-110 кВ в результате проведения реконструкции обосновано применение радиальной схемы соединений с резервированием неавтоматической ремонтной перемычкой (схема «4Н»), состоящей из жёсткого токопровода с двумя разъединителями, которые в нормальном режиме отключены, благодаря чему в схеме ОРУ-110 кВ будет значительно повышена надёжность, необходимая для своевременного и качественного обеспечения питанием потребителей 1 и 2 категории надёжности при выводе в ремонт элементов ОРУ-110 кВ. Кроме того, неавтоматическая ремонтная перемычка используется также для транзитных перетоков мощности между другими подстанциями энергосистемы, что делает схему ПС-110/10 кВ «Песьяново» более гибкой;

– в виду того, что рассматриваемая в работе ПС-110/10 кВ «Песьяново» обеспечивает питание потребителей 1 и 2 категории, следовательно, согласно требованиям [4], в её схеме ВН на ОРУ-110 кВ применяются два источника питания, которые по отношению друг к другу будут независимы. Таким образом будут выполнены требования и условия [4];

– дополнительно в ОРУ-110 кВ произведена замена устаревшего и неэффективного блока «отделитель – короткозамыкатель» на высоковольтный выключатель высокого напряжения в виду участвовавших аварий и невозможностью оперативного отключения цепи данными аппаратами, которые выработали свой коммутационный ресурс, а также не обеспечивают достаточную надёжность схемы ОРУ-110 кВ и всей рассматриваемой понизительной подстанции в целом [4]. Применение таких современных решений на ОРУ-110 кВ значительно повысит надёжность, гибкость и экономичность схемы РУ-10 кВ ПС-110/10 кВ «Песьяново»;

– в результате проведения расчёта на понизительной трансформаторной подстанции ПС-110/10 кВ «Песьяново» в распределительных устройствах высшего (110 кВ) и низшего (10 кВ) номинальных напряжений заменены устаревшие типы и марки электрических аппаратов и оборудования, в частности, выключатели, разъединители, трансформаторы тока, трансформаторы напряжения на новые современные типы для установки их в соответствующих распределительных устройствах ПС-110/10 кВ «Песьяново». Результаты выбора электрических аппаратов напряжением 110 кВ в реконструируемой схеме ПС-110/10 кВ «Песьяново»: выключатель высокого напряжения ЛТВ-145D1/В-31,5/2000, разъединитель РГ-110/1000У1, трансформатор тока ТВТ-110, трансформатор напряжения НДКМ-110, ограничители перенапряжений ОПН-У/TEL-110/84-УХЛ1. Результаты выбора электрических аппаратов напряжением 10 кВ в реконструируемой схеме ПС-110/10 кВ «Песьяново»: выключатель высокого напряжения ВВ/TEL-10-20/3600-У2-48 (ввод и секционный ВВН), ВВ/TEL-10-20/630-У2-48, (ВВН к отходящим потребителям), предохранитель плавкий ПК-10-16 (для защиты ТТ), трансформатор тока ТЛО-10, трансформатор напряжения НАМИ-10, ограничители перенапряжений ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1;

– расчётом установлено, что ранее установленные до проведения реконструкции на понизительной ПС-110/10 кВ «Песьяново» силовые трансформаторы ТДН-25000/110 не нуждаются в замене в связи с подключением к ПС-110/10 кВ новых потребителей. Выбранные силовые трансформаторы удовлетворяет условиям проверок как в нормальном, так и в послеаварийном режимах работы, следовательно, обеспечат питание потребителей установленной 1 и 2 категории надёжности без сбоев и аварий за счёт применения резервирования, а также необходимой мощности.

Реконструированная схема ПС-110/10 кВ «Песьяново» удовлетворяет всем требованиям нормативных документов.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Анчарова Т.В., Рашевская М.А., Стебунова Е.Д. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: Учебник. М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. 416 с.
2. Баранов Л.А., Захаров В.А. Светотехника и электротехнология Учебник. М.: Колос, 2018. 343 с.
3. Вахнина, В. В. Электроэнергетика и электротехника. Выполнение бакалаврской работы: электронное учебно-методическое пособие / В. В. Вахнина, О. В. Самолина, А. Н. Черненко. - Тольятти [Электронный ресурс] : URL: <https://dspace.tltsu.ru/xmlui/handle/123456789/18603/> (дата обращения: 07.09.2021).
4. Газалов В.С. Светотехника и электротехнология: Учебное пособие. Зеленоград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2016. 268 с.
5. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
6. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. - 343 с. Текст: непосредственный.
7. Кудрин Б.И. Электроснабжение М.: Academia, 2018. 352 с.
8. Курдюмов В.И., Зотов Б.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. – М.: Колос, 2016 г. – 184 с.
9. Михайлов Ю.М. Охрана труда при эксплуатации электроустановок. – М.: Издательство «Альфа-Пресс», 2015. – 224 с.
10. 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, 2014. – 608 с.

11. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. - 4-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.

12. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 2016. 392 с.: ил.

13. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд., перераб. и доп.–М.: Главгосэнергонадзор России, 2018. 692 с.

14. Рогалев Н.Д. Экономика энергетики: учебное пособие для ВУЗов / Н.Д. Рогалев, А.Г. Зубкова, И.В. Мастерова. М.: «МЭИ», 2018. – 288 с.

15. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования / Л.Д. Рожкова, Л.К. Карнеева, Т.В. Чиркова . - М.: ИЦ Академия, 2016. - 448 с.

16. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. – 464 с.

17. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. – 328 с.

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

19. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др.- М.: Энергоатомиздат, 2016. – 576 с.

20. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. - М.: Лань, 2015. – 480 с.