

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 Разработка электрической части ПС-110/6/6 кВ для питания нефтеперекачивающей станции портового терминала

Студент

М.В. Грузинов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.п.н., доцент, М.Н.Третьякова

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

Тольятти 2021

## Аннотация

Выполненная работа на тему «Разработка ПС-110/6/6 кВ для питания нефтеперекачивающей станции портового терминала» содержит пояснительную записку и графическую часть.

Пояснительная записка состоит из 59 стр., содержит таблиц – 9, иллюстраций – 2, источников информации – 20.

В графической части работы представлено 6 листов формата А1.

Целью работы является обеспечение электроснабжения нефтеперекачивающей станции портового терминала, которая предназначена для перекачки нефти с танкеров, за счёт разработки трансформаторной подстанции 110/6/6 кВ.

Для достижения поставленной цели в работе произведены необходимые расчёты. В результате выбраны и обоснованы: схема электрических соединений ПС-110/6/6 кВ, количество и мощность силовых трансформаторов ПС-110/6/6 кВ, электрические аппараты и проводники ПС-110/6/6 кВ, средства контроля и учёта электроэнергии на ПС-110/6/6 кВ. Выполнен расчёт освещения ПС-110/6/6 кВ.

Разработаны мероприятия по безопасности жизнедеятельности, а также произведён расчёт молниезащиты ПС-110/6/6 кВ.

В результате выполнения работы разработана система электроснабжения трансформаторной понижающей подстанции ПС-110/6/6 кВ, задействованной в системе электроснабжения нефтеперекачивающей станции.

## Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных.....	7
1.1 Теоретические основы проектирования систем трансформаторных подстанций.....	7
1.2 Характеристика потребителей нефтеперекачивающей подстанции портового терминала .....	11
2 Проектирование подстанции 110/6/6 кВ для питания нефтеперекачивающей станции портового терминала.....	14
2.1 Разработка структурной и принципиальной схем ПС-110/6/6 кВ портового терминала.....	14
2.2 Расчёт электрических нагрузок на ПС-110/6/6 кВ портового терминала..	19
2.3 Выбор и проверка силовых трансформаторов на ПС-110/6/6 кВ портового терминала.....	21
2.4 Выбор и проверка сечения проводников на ПС-110/6/6 кВ портового терминала.....	24
2.5 Расчёт токов короткого замыкания на ПС-110/6/6 кВ портового терминала.....	29
2.6 Выбор и проверка электрических аппаратов на ПС-110/6/6 кВ портового терминала.....	36
2.7 Выбор блоков релейной защиты и автоматики .....	42
3. Охрана труда и окружающей среды.....	45
3.1 Техника безопасности при выполнении работ на подстанции .....	45
3.2 Охрана окружающей среды на ПС-110/6/6 кВ портового терминала .....	51
3.3 Расчёт молниезащиты на ПС-110/6/6 кВ портового терминала .....	53
Заключение .....	56
Список используемой литературы и используемых источников.....	58

## Введение

Известно, что нефтеперерабатывающая промышленность – отрасль тяжелой промышленности, предприятия которой с сырой нефти производят различные нефтепродукты.

Основная продукция нефтеперерабатывающей промышленности включает более 300 наименований химической и нефтехимической продукции.

Ускоренное социально-экономическое развитие страны неразрывно связано с уровнем развития всех отраслей топливно-энергетического комплекса.

На современном этапе роль топливно-энергетического комплекса неуклонно растет.

Его развитие в значительной мере обуславливает темпы, масштабы и экономические показатели роста производительных сил и их размещения, создает необходимые условия для дальнейшего улучшения условий труда и повышения уровня жизни людей.

Для успешного развития нефтеперерабатывающей промышленности нужно постоянно совершенствовать системы транспортировки нефти и нефтепродуктов.

Для этого созданы и действуют магистральные нефтепроводы, нефтепродуктопроводы и нефтетерминалы.

В районе портов построены мощные портовые терминалы, основой которых являются мощные насосы, питающиеся от трансформаторных подстанций глубокого ввода на номинальном напряжении 6 (10) кВ.

В последние десятилетия в электроэнергетике появились инновационные решения в области электрических аппаратов, сетей и схем трансформаторных подстанций [1, 2, 5, 15].

Применение этих инноваций при проектировании систем электроснабжения 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 обеспечение электроснабжения нефтеперекачивающей станции портового терминала, которая предназначена для перекачки нефти с танкеров, за счёт разработки трансформаторной подстанции 110/6/6 кВ.

Объектом исследования работы является трансформаторная подстанция 110/6/6, предназначенная для электроснабжения нефтеперекачивающей станции портового терминала.

Предметом исследования в работе являются электрическая часть трансформаторной подстанции 110/6/6 кВ для питания нефтеперекачивающей станции портового терминала.

Актуальность работы обусловлена требованиями нормативных документов к системам электроснабжения и трансформаторным подстанциям всех классов напряжения, а именно: обеспечение необходимого уровня надёжности, экономичности и электробезопасности новых объектов, проектируемых и вводимых в эксплуатацию [6, 12–14].

Основными задачами работы являются:

- Анализ теоретических основ разработки электрической части трансформаторной подстанции и особенностей потребителей нефтеперекачивающей станции портового терминала;

- непосредственное проектирование электрической части трансформаторной подстанции 110/6/6 кВ для питания нефтеперекачивающей станции портового терминала, включая разработку структурной схемы и выбор схемы и элементов электрических соединений подстанции;

- рассмотрение вопросов безопасности жизнедеятельности и электробезопасности на подстанции;

– расчёт молниезащиты понизительной трансформаторной подстанции 110/6/6 кВ для питания нефтеперекачивающей станции портового терминала.

В результате выполнения работы произведены необходимые расчёты, в которых выбраны и обоснованы следующие элементы системы электроснабжения трансформаторной подстанции 110/6/6 кВ для питания нефтеперекачивающей станции портового терминала:

- структурная схема ПС-110/6/6 кВ;
- схема электрических соединений ПС-110/6/6 кВ;
- силовые трансформаторы ПС-110/6/6 кВ;
- электрические проводники ПС-110/6/6 кВ;
- электрические аппараты и проводники ПС-110/6/6 кВ;
- средства контроля и учёта электроэнергии на ПС-110/6/6 кВ;
- система освещения распределительных устройств ПС-110/6/6 кВ.

Все исследования в работе проводятся, исходя из нормативно-технических источников с использованием типовых проектов.

## **1 Анализ исходных данных**

### **1.1 Теоретические основы проектирования систем трансформаторных подстанций**

«Одним из важнейших элементов систем электроснабжения портовых терминалов являются питающие понизительные подстанции.

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.

Поэтому к понизительным подстанциям предъявляются довольно жёсткие условия по критериям надёжности, экономичности, электробезопасности, а также качеству поставляемой электроэнергии потребителям.

В современном мире на первое место выходят технико-экономические показатели, тесно связанные с надёжностью и экономичностью электрических сетей, а также экологическими требованиями и условиями. Данные аспекты должны быть учтены в работе [4, 15].

Известно, что трансформаторные подстанции (ТП) бывают повышающие, в которых электроэнергия генераторов превращается в энергию более высокого напряжения (10, 35 кВ и более), и понижающие, которые трансформируют электрическую энергию с высокого напряжения в низкое» [1, 8, 16, 18].

«По числу трансформаторов ТП могут быть однитрансформаторными, двухтрансформаторными и трёхтрансформаторными (очень редко)» [7].

Типы трансформаторных подстанций по конструктивному выполнению и роду установки: открытая, закрытая, комплектная.

Закрытая трансформаторная подстанция (ЗТП) – её оборудование расположено в помещении [14].

Оборудование открытой трансформаторной подстанции (ОТП) расположено на открытом пространстве.

Оборудование распределительных устройств комплектных трансформаторных подстанций (КТП) размещается в ячейках или шкафах, что выгодно отличает их от других типов ТП – открытой и закрытой.

В свою очередь, КТП по месту установки могут быть наружной и внутренней установки.

Помимо прочего, существует ряд «специфических» типов трансформаторных подстанций, приведённых далее.

Примером такой ТП является взрывозащищенная трансформаторная подстанция – подстанция для шахт.

В распределительных устройствах высшего (РУ ВН) и низшего (РУ НН) напряжений всех типов ТП должны быть обязательно установлены электрические аппараты (выключатели высокого напряжения, выключатели нагрузки, предохранители, автоматические выключатели, рубильники и др.).

Связь между элементами ТП (РУ ВН, РУ НН, трансформаторами) осуществляется с помощью кабелей, воздушных линий, сборных шин, шинопроводов и т.д.) [3, 19, 20].

«К системам электроснабжения трансформаторных подстанций всех типов и классов напряжения применяются типовые требования» [6, 12–14].

«Это:

– обеспечение потребителей электроэнергией, которая соответствует установленным нормируемым показателям качества;

– выбор и реализация схемы электроснабжения электроприёмников согласно их категории надёжности;

– неразрывность системы электроснабжения с технологическим процессом производства, в особенности с учётом особых условий и технологий;



- обеспечение необходимой перспективы развития, модернизации и реконструкции электрооборудования на всех уровнях;
- обеспечение необходимой степени резервирования;
- секционирование на всех звеньях сети» [6, 12–14].

В схемах электроснабжения трансформаторных подстанций всех типов и классов напряжения должны быть учтены следующие требования согласно [6, 12–14], а именно:

- максимальная близость потребителей электроэнергии к своему источнику питания;
- сквозное секционирования всех звеньев системы электроснабжения с установкой, при необходимости, устройств автоматики, обеспечивающих резервирование (например, АВР);
- обеспечение оптимального режима работы спроектированной системы электроснабжения (рекомендуется отдельный режим работы секций при установке двух трансформаторов или иных источников);
- обеспечение необходимой надёжности потребителей электроэнергии с учётом резервирования для I и II категорий в нормальном, форсированном и послеаварийном режимах;
- обеспечение наглядности, безопасности, необходимой защиты и автоматизации на всех уровнях системы электроснабжения;
- выбранные схемы должны обеспечивать установленное нормируемое качество электрической энергии в пределах нормальных допустимых значений.

Электрические подстанции проектируются и питаются по типовым электрическим схемам с учётом категорий надёжности потребителей.

При этом для питания потребителей I и II категорий надёжности требуется два независимых источника питания, а для питания потребителей III категории достаточно иметь один источник.

Поэтому при проектировании систем электроснабжения современных трансформаторных подстанций на всех звеньях цепи очень важно учесть все указанные нормы [1, 6, 9].

«Особенно сильно влияет на показатели системы электроснабжения уровень и качество компенсации реактивной мощности» [6, 11].

«В связи с описанными выше процессами, показано, что реактивную мощность необходимо компенсировать.

Этот процесс имеет государственное нормативно-правовое обеспечение и, прежде всего, напрямую связан с нормативной документацией» [6, 12–14].

Особенно важно реализовать его на стадии проектирования и реконструкции систем электроснабжения трансформаторных подстанций, поэтому в данной выполняемой работе необходимо выполнить расчёт и выбор мощности компенсирующих устройств.

Также на всех ступенях схемы должна быть обеспечена надёжная защита и коммутация электрической сети, для чего необходимо выбрать электрические аппараты, в полной мере соответствующие выбранной схеме и техническим условиям, и проверить всё выбранное оборудование на термическую и электродинамическую стойкость [1, 11].

Кроме того, «одним из основных аспектов при разработке схем электрических сетей современных трансформаторных подстанций является непосредственная экономичность системы электроснабжения» [15].

Данные аспекты обязательны к применению при разработке и реализации в работе.

Их неукоснительное выполнение приводит к реализации технически грамотного проекта, обеспечивающего высокую эффективность внедрения принятых решений и экономическую целесообразность внедрения основных мероприятий по проектированию системы электроснабжения.

## 1.2 Характеристика потребителей нефтеперекачивающей подстанции портового терминала

Известно, что перекачивание нефти является энергоёмким процессом и требует применения значительных мощностей. Основными потребителями нефтеперекачивающей подстанции портового терминала являются насосы с электрическими двигателями.

В большинстве случаев значительно целесообразнее установить меньшее количество мощных высоковольтных электродвигателей, чем применять для этой цели большее количество двигателей низкого напряжения, так как известно, что с увеличением номинального напряжения пропорционально увеличивается и мощность.

Именно поэтому принято решение использовать в работе в качестве приводных электродвигателей для проектируемой нефтеперекачивающей подстанции портового терминала высоковольтные двигатели, являющиеся главными приводами насосных установок.

Основными потребителями проектируемой в работе нефтеперекачивающей подстанции портового терминала ПС-110/6/6 кВ являются мощные высоковольтные магистральные насосы для перекачки нефти и газового конденсата марки НПВ 3600-135а-М с приводным двигателем марки 4АЗМ-1600/6000 заводской номинальной (паспортной) мощностью  $P_{ном} = 1600\text{кВт}$  и номинальным напряжением  $U_{ном} = 6\text{кВ}$ .

Номинальный класс напряжения рассматриваемых электродвигателей полностью соответствует заданию на проектирование (на шинах низшего напряжения нефтеперекачивающей подстанции портового терминала должно быть напряжение 6 кВ).

Основные технические характеристики указанных магистральных насосов марки НПВ 3600-135а-М с приводным двигателем марки 4АЗМ-1600/6000 представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные технические характеристики магистральных насосов для перекачки нефти марки НПВ 3600-135а-М с приводным двигателем марки 4АЗМ-1600/6000

Параметр насоса и приводного двигателя	Единицы измерения	Значение параметра
Мощность насоса в полном цикле	кВт	1600
КПД насоса	о.е.	0,86
Марка приводного электродвигателя	-	4АЗМ-1600/6000
Тип приводного электродвигателя	-	трёхфазный, асинхронный, высокого напряжения
Номинальное напряжение приводного электродвигателя	кВ	6
КПД приводного электродвигателя	о.е.	0,82
Коэффициент активной нагрузки приводного электродвигателя	о.е.	0,78
Исполнение приводного электродвигателя	-	закрытое, герметичное, фланцевое

Согласно исходным проектным данным, на рассматриваемой в работе нефтеперекачивающей подстанции портового терминала установлено двадцать насосов указанного типа НПВ 3600-135а-М с приводным двигателем марки 4АЗМ-1600/6000.

При этом питание каждого из них осуществляется по радиальной схеме согласно требованиям [4] от шин напряжением 6 кВ проектируемой в работе понизительной подстанции портового терминала ПС-110/6/6 кВ, что соответствует категории надёжности рассматриваемых в работе механизмов (насосных установок для перекачивания нефтепродуктов).

На основании приведённых сведений, далее в работе осуществляется необходимые разработки и проектирование ПС-110/6/6 кВ нефтеперекачивающей подстанции портового терминала.

Выводы по разделу 1:

Проведенный анализ показал, что основными потребителями проектируемой в работе нефтеперекачивающей подстанции портового терминала ПС-110/6/6 кВ являются мощные высоковольтные магистральные насосы для перекачки нефти и газового конденсата марки НПВ 3600-135а-М с приводным двигателем марки 4АЗМ-1600/6000 заводской мощностью  $P_{ном} = 1600$  кВт и номинальным напряжением  $U_{ном} = 6$  кВ. Согласно исходным проектным данным, на рассматриваемой в работе нефтеперекачивающей подстанции портового терминала установлено двадцать насосов указанного типа. При этом номинальный класс напряжения рассматриваемых электродвигателей полностью соответствует заданию на проектирование (на шинах низшего напряжения нефтеперекачивающей подстанции портового терминала должно быть напряжение 6 кВ). Следовательно, данные потребители разрабатываемой в работе ПС-110/6/6 кВ полностью соответствуют исходным данным на проектирование.

## **2 Проектирование подстанции 110/6/6 кВ для питания нефтеперекачивающей станции портового терминала**

### **2.1 Разработка структурной и принципиальной схем ПС-110/6/6 кВ портового терминала**

По заданию необходимо спроектировать понизительную трансформаторную подстанцию ПС-110/6/6 кВ, особенностью которой является тот факт, что на ней должны находиться трансформаторы с расщеплённой обмоткой НН 6 кВ (марки ТРДН).

Особенностью таких подстанций являются:

- наличие больших нагрузок, т.к. трансформаторы 110/6/6 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;
- наличие на понизительных ПС-110/6/6 кВ двух силовых трансформаторов (согласно требованиям [14] к категории надёжности);
- наличие большого количества отходящих линий 6 кВ (по заданию – двадцать отходящих линий), иначе ставить трансформатор с расщеплённой обмоткой не актуально.

Все условия, приведённые выше, соблюдены. Следовательно, технические условия проекта соответствуют поставленному заданию.

Прежде, чем проектировать схему электрических соединений понизительной подстанции 110/6/6 кВ для питания нефтеперекачивающей станции портового терминала, необходимо разработать структурную схему данной подстанции ПС-110/6/6 кВ портового терминала.

Согласно исходным данным, разрабатываемая в работе подстанция 110/6/6 кВ для питания нефтеперекачивающей станции портового терминала является понизительной и распределительной.

Также известно, что потребители проектируемой в работе подстанции (насосные установки с мощными высоковольтными двигателями напряжением 6 кВ) относятся к первой категории надёжности и требуют соответствующего резервирования с учётом секционирования.

Следовательно, в работе должны быть приняты соответствующие технические решения по применению схем на данной подстанции.

В структурной и принципиальной схемах проектируемой понизительной подстанции 110/6/6 кВ для питания нефтеперекачивающей станции портового терминала 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 110/6/6 кВ для питания нефтеперекачивающей станции портового терминала. Питание рассматриваемой в работе подстанции ПС-110/6/6 кВ портового терминала осуществляется воздушной линией напряжением 110 кВ через ОРУ-110 кВ, которое принимает и распределяет напряжение от энергосистемы. В схеме ОРУ-110 кВ применяется радиальная схема соединений с резервированием ремонтной перемычкой (схема «4Н»), состоящая из жёсткого токопровода с двумя разъединителями, которые в нормальном режиме отключены, благодаря чему в схеме ОРУ-110 кВ применяется отдельный режим работы. В ОРУ-110 кВ проектируемой подстанции 110/6/6 кВ для питания нефтеперекачивающей станции портового терминала необходимо предусмотреть и выбрать в работе коммутационные и защитные аппараты (применяются блоки «выключатель-разъединитель», а также «линия-

разъединитель»), предусмотреть защиту от грозových перенапряжений (ограничители перенапряжения), а также обеспечить бесперебойное питание вторичных цепей (измерительные трансформаторы тока и напряжения). Указанные элементы ОРУ-110 кВ представлены на структурной схеме (графический лист 1), а после их выбора и проверки в работе наносятся на принципиальную схему (графический лист 2);

– трёхфазные силовые понизительные трансформаторы с расщеплённой обмоткой, питающий по две секции сборных шин 6 кВ каждый. Так как потребители проектируемой подстанции 110/6/6 кВ для питания нефтеперекачивающей станции портового терминала относятся к 1 категории надёжности, согласно требованиям и основным нормам [14], на данной подстанции предусматривается установка двух силовых трансформаторов с расщеплённой обмоткой и с двумя независимыми источниками питания. При этом питание второго трансформатора осуществляется от второго независимого источника энергосистемы воздушной линией электропередачи напряжением 110 кВ согласно требованиям [14]. Применение трансформаторов с расщеплённой обмоткой позволяет обеспечить значительно лучший уровень надёжности, создавая «сквозной» резерв на секциях сборных шин напряжением 6 кВ. Кроме того, применение данного типа силовых трансформаторов позволяет значительно ограничить токи короткого замыкания на стороне 6 кВ;

– распределительное устройство напряжением 6 кВ (РУ-6 кВ), которое необходимо для распределения получаемой от силовых трансформаторов подстанции электроэнергии потребителям (высоковольтным насосным установкам) на напряжении 6 кВ. В РУ 6 кВ применяется радиальная схема для питания потребителей с использованием двойной системы сборных шин, секционированной выключателями. Такая схема применяется для питания потребителей первой категории надёжности при наличии в схеме трансформаторов с расщеплёнными обмотками низшего напряжения. При этом



две секции одиночной системы сборных шин получают питание от первого силового трансформатора подстанции ПС-110/6/6 кВ портового терминала, а остальные две – питаются от второго силового трансформатора подстанции ПС-110/6/6 кВ портового терминала на напряжении 6 кВ. Для такой схемы характерно «сквозное секционирование с резервированием секционными выключателями», что позитивно сказывается на работе энергосистемы в целом и подстанции в частности. В схеме электроснабжения РУ 6 кВ предусмотрена раздельная работа всех четырёх секций сборных шин напряжением 6 кВ (без применения «горячего» резервирования). При этом на обеих парах секций предусматривается необходимый уровень резервирования с учётом секционирования согласно [14], для чего необходимо применяется раздельный режим работы пар секций сборных шин с резервированием секционным выключателем. Секционный выключатель в нормальном режиме работы отключён, включаясь под действием устройства автоматического включения резерва (АВР) в том случае, если на одной из парных секций сборных шин 6 кВ исчезло напряжение. Для защиты и коммутации в РУ 6 кВ применяются высоковольтные выключатели, по размещению в схеме выделяются вводные, секционный и линейные типы. Для питания вторичных цепей используются измерительные трансформаторы напряжения и трансформаторы тока. Для защиты от внутренних перенапряжений следует применять современные ограничители перенапряжений. В виду того, что инновационные разработки предусматривают применение ячеек комплектных распределительных устройств с втычными контактами, разъединители в ячейках РУ-6 кВ не устанавливаются;

– потребители проектируемой подстанции, получающие питание от шин РУ 6 кВ кабельными линиями напряжением 6 кВ. Согласно исходным проектным данным, на рассматриваемой в работе нефтеперекачивающей подстанции портового терминала установлено двадцать насосов указанного

типа НПВ 3600-135а-М с приводным двигателем марки 4АЗМ-1600/6000. При этом питание каждого из них осуществляется по радиальной схеме без ответвлений согласно требованиям [14] от шин напряжением 6 кВ проектируемой в работе понизительной подстанции портового терминала ПС-110/6/6 кВ, что соответствует категории надёжности рассматриваемых в работе механизмов (насосных установок для перекачивания нефтепродуктов). При этом вся нагрузка потребителей равномерно разделена на четыре секции 6 кВ трансформаторов с расщеплённой обмоткой. Таким образом, для потребителей понизительной подстанции портового терминала ПС-110/6/6 кВ применяется «парное сквозное резервирование» секций сборных шин (по две секции шин 6 кВ от каждого трансформатора), что полностью соответствует требованиям [14];

– вторичные цепи (релейная защита, автоматика, сигнализация, измерения, контроль и учёт электроэнергии). Выполняются с применением современных электронных блоков на микропроцессорной основе и обеспечивают указанные функции во всех структурных элементах проектируемой подстанции.

Рассмотренные элементы и основные блоки входят в структурную и принципиальную схемы проектируемой понизительной подстанции портового терминала ПС-110/6/6 кВ.

Разработанные структурная (графический лист 1) и принципиальная (графический лист 2) схемы проектируемой понизительной подстанции портового терминала ПС-110/6/6 кВ полностью соответствуют требованиям [6, 12–14]. для питания потребителей первой категории надёжности и принимаются для дальнейшего использования в работе.

## 2.2 Расчёт электрических нагрузок на ПС-110/6/6 кВ портового терминала

Расчёт электрических нагрузок применяется с целью выбора силовых трансформаторов, проводников и электрических аппаратов на рассматриваемой в работе проектируемой понизительной подстанции портового терминала ПС-110/6/6 кВ.

Для проведения выбора сечения проводников, электрических аппаратов и силовых трансформаторов на понизительной подстанции портового терминала ПС-110/6/6 кВ необходимо провести расчёт электрических нагрузок для каждого присоединения потребителя 6 кВ по следующим формулам:

$$Q_{\text{пр}} = P_{\text{пр}} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{потр}}, \quad (1)$$

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

где  $P_{\text{пр}}$ ,  $Q_{\text{пр}}$ ,  $S_{\text{пр}}$  – значения расчётных активной, реактивной и полной нагрузки, соответственно, кВт, квар, кВА.

Так как в работе, согласно исходным данным, используются двадцать однотипных потребителей, нагрузка каждого из них по условиям (1) – (2)

$$P_{\text{пр}} = 1600 \text{ кВА.}$$

$$Q_{\text{пр}} = 1600 \cdot 0,78 = 1248 \text{ квар}$$

$$S_{\text{пр}} = \sqrt{1600^2 + 1248^2} = 2029,2 \text{ кВА.}$$

Общая (суммарная) полная нагрузка проектируемой понизительной ПС-110/6/6 кВ состоит из суммарной нагрузки присоединений всех потребителей, питающихся от данной подстанции.

Её результат используется для выбора силовых трансформаторов, а также сечения питающей воздушной линии 110 кВ и защитно-коммутационной аппаратуры 110 кВ в ОРУ-110 кВ подстанции.

В связи с этим, в работе необходимо рассчитать значение расчетной полной нагрузки на шинах 6 кВ проектируемой понизительной подстанции портового терминала ПС-110/6/6 кВ с учётом всех присоединений и потребителей по формуле [11]

$$S_p = \frac{n \cdot P_{max} \cdot K_{одн}}{\cos \varphi}, \text{ МВА}, \quad (3)$$

где  $n$  – количество отходящих от подстанции линий потребителей

напряжением 6 кВ ( $n = 20$  шт);

$P_{max}$  – расчетная нагрузка одной линии напряжением 6 кВ

( $P_{max} = 1600$  кВт);

$K_{одн} K_{одн}$  – коэффициент одновременности нагрузки на стороне 6 кВ

подстанции, принимается значение  $K_{одн} K_{одн} = 0,85$  [11];

$\cos \varphi \cos \varphi$  – коэффициент мощности на стороне 6 кВ подстанции

(по заданию  $\cos \varphi \cos \varphi = 0,87$ ).

По условию (3) расчетная полная нагрузка проектируемой понизительной подстанции портового терминала ПС-110/6/6 кВ с учётом всех присоединений потребителей будет равна

$$S_p = \frac{20 \cdot 1600 \cdot 0,85}{0,87} = 31,264, \text{ МВА}.$$

Полученные результаты расчёта электрических нагрузок проектируемой понизительной подстанции портового терминала ПС-110/6/6 кВ используются в работе далее при выборе и проверке силовых трансформаторов, а также

электрических проводников и аппаратов, являющихся конструктивными элементами проектируемой системы электроснабжения ПС-110/6/6 кВ.

### **2.3 Выбор и проверка силовых трансформаторов на ПС-110/6/6 кВ портового терминала**

Выбор мощности силовых трансформаторов для установки на проектируемой понизительной подстанции портового терминала ПС-110/6/6 кВ проводится по полной расчетной нагрузке подстанции с учётом всех присоединений потребителей [1].

Требуемая установленная номинальная (паспортная) мощность силового трансформатора проектируемой понизительной подстанции портового терминала ПС-110/6/6 кВ определяется из выражения

$$S_{\text{номтр}}, \text{ МВА} \\ S_{\text{ном.т}} = 0,7 \cdot S_{\text{расч.}}, \text{ МВА.} \quad (4)$$

где  $S_{\text{расч}}$  – полная расчетная нагрузка подстанции,  $S_{\text{расч}}=31,264$  МВА.

$$S_{\text{ном.т}} = 0,7 \cdot 31,264 = 21,89 \text{ МВА.}$$

Принимается к установке на проектируемой понизительной подстанции портового терминала ПС-110/6/6 кВ с учётом всех присоединений потребителей, два силовых трансформатора с расщеплённой обмоткой низшего напряжения типа ТРДН–25000/110, следовательно, общая установленная мощность рассматриваемой в работе понизительной подстанции будет составлять 2х25000 кВА.

Техническая характеристика выбранного силового трансформатора с расщеплённой обмоткой низшего напряжения для установки на проектируемой

понижительной подстанции портового терминала ПС-110/6/6 кВ приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Техническая характеристика выбранного трансформатора проектируемой понижительной подстанции портового терминала ПС-110/6/6 кВ

Тип трансформатора	Номинальное напряжение, кВ		$U_k, \%$	$P_k, \text{кВт}$	$P_x, \text{кВт}$	$I_x, \%$
	ВН	НН				
ТРДН-25000/110	115	63,6/3	10,5	120	25	0,65

В работе номинальная мощность силовых трансформаторов выбрана с учетом возможности дальнейшего роста электрических нагрузок подстанции в будущем согласно требованиям и нормам [12-14].

Далее выбранные в работе силовые трансформаторы необходимо проверить на нагрузочную способность в нормальном режиме согласно [11, 16].

Определяется коэффициент загрузки трансформатора в нормальном режиме, когда оба трансформатора находятся в работе,  $K_H$ .

В работе расчётная нагрузка ПС-110/6/6 кВ портового терминала равномерно распределена на оба трансформатора (по десять насосов на каждый силовой трансформатор), следовательно

$$K_H = \frac{0,5S_p}{S_{\text{ном.т}}} \leq 0,7, \quad (5)$$

где  $S_{\text{ном.т}}$  – номинальная мощность силового трансформатора проектируемой понижительной подстанции портового терминала ПС-110/6/6 кВ, МВА.

По выражению (5)

$$K_n = \frac{0,5 \cdot 31,264}{25} = 0,63 < 0,7.$$

Условия проверки силового трансформатора в нормальном режиме выполняется.

Далее проводится проверка выбранного силового трансформатора по перегрузочной способности в послеаварийном режиме [11, 16]. Для этой цели определяется коэффициент аварийной перегрузки трансформатора в послеаварийном режиме, когда один трансформатор отключен, а второй остался в работе, при этом питая его нагрузку с учётом отключения потребителей 3 категории надёжности,  $K_{ав}$

$$K_{ав} = \frac{S_p}{S_{ном.т}} \leq 1,4. \quad (6)$$

По выражению (6)

$$K_{ав} = \frac{31,264}{25} = 1,25 < 1,4.$$

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

Поэтому в работе окончательно принимаются к установке на проектируемой понизительной подстанции портового терминала ПС-110/6/6 кВ два силовых трансформатора типа ТРДН-25000/110.

## 2.4 Выбор и проверка сечения проводников на ПС-110/6/6 кВ портового терминала

Для выбора сечения проводников проектируемой понизительной подстанции портового терминала ПС-110/6/6 кВ, необходимо рассчитать их рабочий ток нормального режима работы по следующему условию

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}. \quad (7)$$

Значение максимального расчётного тока линии с учётом подключения дополнительной нагрузки (резервирования) в схеме, где есть потребители 1 категории надёжности (с учётом двух источников питания)

$$I_{p.max} = 1,4I_p \quad (8)$$

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

$$I_{доп} \geq I_{p.max}, \quad (9)$$

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 6 кВ) проектируемой понизительной подстанции портового терминала ПС-110/6/6 кВ в работе



осуществляется непосредственно по экономической плотности тока таким образом:

$$F_3 = \frac{I_p}{j_3}, \quad (10)$$

где  $j_3$  – плотность тока, А/мм<sup>2</sup>.

В работе проводится выбор сечения провода питающей воздушной линии ВЛ-110 кВ проектируемой понизительной подстанции портового терминала ПС-110/6/6 кВ по приведенным выше условиям выбора и проверки

$$I_n = \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 110} \approx 131,2 \text{ А.}$$
$$F_3 = \frac{131,2}{1,1} = 119,3 \text{ мм}^2.$$

Принимается для питающей воздушной линии ВЛ-110 кВ проектируемой понизительной подстанции портового терминала ПС-110/6/6 кВ ближайшее стандартное сечение провода [3, 19], равное  $F_{ст} = 120 \text{ мм}^2$ .

Основываясь на полученных результатах расчёта и методике выбора, для питающей воздушной линии ВЛ-110 кВ проектируемой понизительной подстанции портового терминала ПС-110/6/6 кВ выбирается из [11] сталеалюминевый провод ВЛ марки АС-120/19 с предельным значением допустимого тока  $I_{доп} = 390 \text{ А}$ .

Так как подключённая нагрузка относится к первой категории надёжности, максимальный расчётный ток воздушной линии ВЛ-110 кВ проектируемой понизительной подстанции портового терминала ПС-110/6/6 кВ с учётом подключения дополнительной нагрузки (резервирования) будет равен

$$I_{p.max} = 1,4 \cdot 131,2 = 183,7 \text{ А.}$$

Проверка выбранного сечения питающей воздушной линии ВЛ-110 кВ проектируемой понизительной подстанции портового терминала ПС-110/6/6 кВ в послеаварийном режиме работы системы электроснабжения выполняется [11]:

$$390 \text{ А} \geq 183,7 \text{ А.}$$

Проверка выбранного сечения питающей воздушной линии ВЛ-110 кВ проектируемой понизительной подстанции портового терминала ПС-110/6/6 кВ по условию коронирующего разряда и механической прочности также выполняется [11]:

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

Далее выбранное сечение ВЛ-110 кВ необходимо дополнительно проверить по условию допустимой потери напряжения.

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

$$\Delta U = \frac{PR_l + QX_l}{U_n^2} \cdot 100, \% \quad (11)$$

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

$$\Delta U_{110} = \frac{6613,1 \cdot (0,447 \cdot 6) + 2706,18 \cdot (0,4 \cdot 6)}{110^2} \cdot 100 = 1,12 \text{ \%}.$$

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 проектируемой понизительной подстанции портового терминала ПС-110/6/6 кВ окончательно принимается сталеалюминевый провод стандартной марки АС-120/19 с предельным допустимым током  $I_{\text{доп}} = 390$  А.

В работе для питающей воздушной линии ВЛ-110 кВ проектируемой понизительной подстанции портового терминала ПС-110/6/6 кВ 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).

Далее проводится выбор силовых кабелей для питания потребителей ТП-110/6/6 кВ (высоковольтных насосов для перекачивания нефти с приводными электродвигателями) от шин РУ-6 кВ указанной подстанции.

Определяются номинальный ток кабельной линии, питающей высоковольтные насосы для перекачивания нефти с приводными электродвигателями [1]

$$I_{\text{ном.л}} = \frac{P_{\text{ном.дв}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \text{ А}, \quad (12)$$

где  $P_{\text{ном.дв.}}$  – номинальная мощность электродвигателя насосной установки, кВт;

$\cos \varphi$  – номинальный коэффициент активной мощности электродвигателя насосной установки;

$\eta$  – номинальный к.п.д. электродвигателя насосной установки;

$U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение насосной установки

для перекачивания нефти с приводными электродвигателями, кВ.

По выражению (12)

$$I_{\text{ном.дв}} = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,78 \cdot 0,84} = 234,98 \text{ А}.$$

Сечения питающих высоковольтные насосы кабелей 6 кВ по экономической плотности тока [1, 11]:

$$F_{\text{эк}} = \frac{234,98}{1,4} = 167,8 \text{ мм}^2.$$

Принимается для кабельных линий, питающих насосы для перекачивания нефти с приводными электродвигателями, силовые кабели марки АСБ-6(3x185) с предельным допустимым током  $I_{доп} = 385$  А, прокладка – в земляной траншее.

Максимальный расчётный ток кабельной линии, которая питает высоковольтные насосы для перекачивания нефти с приводными электродвигателями 6 кВ

$$I_{p.max} = 1,4 \cdot 234,98 = 329 \text{ А.}$$

Условие проверки по допустимому току выполняется

$$385 \text{ А} \geq 329 \text{ А.}$$

Исходя из полученных результатов расчёта с последующим выполнением соответствующих проверок, установлено, что выбранные в работе силовые кабели марки АСБ-10 (3x185) обеспечат надёжное, экономичное и бесперебойное питание насосных установок для перекачивания нефти с приводными электродвигателями 6 кВ.

## **2.5 Расчёт токов короткого замыкания на ПС-110/6/6 кВ портового терминала**

Проводится расчёт токов короткого замыкания (далее – токов КЗ) на проектируемой понизительной подстанции портового терминала ПС-110/6/6 кВ.

Расчёт проводится от источника питания энергосистемы напряжением 110 кВ до участка распределительной сети 6 кВ с конечными потребителями (высоковольтными насосными установками).

Так как на всех распределительных линиях с насосными установками напряжением 6 кВ установлены одинаковые высоковольтные насосные установки с однотипными по мощности приводными электродвигателями, следовательно, для всех них результаты расчёта будут практически одинаковы (с небольшой допустимой погрешностью, зависящей от длин питающих кабельных линий 6 кВ, разницей в которых можно пренебречь).

Составляется расчётная схема для расчёта токов КЗ, на которой указываются основные элементы цепи КЗ, а также расчётные точки, в которых необходимо произвести расчёт токов КЗ (рисунок 1). Выбираются расчётные точки короткого замыкания К1 на стороне высшего напряжения подстанции и К2, К3 на стороне низшего напряжения.

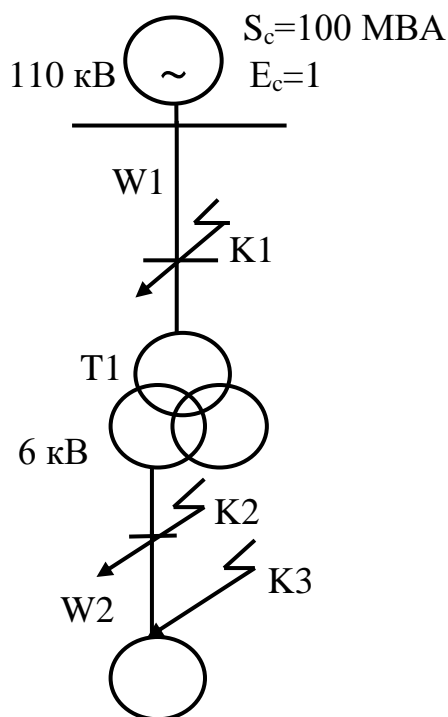


Рисунок 1 – Расчетная схема для определения токов КЗ

На схеме замещения указываются сопротивления всех элементов и точки для расчётов токов КЗ. Схема замещения цепи КЗ, составленная, исходя из расчётной схемы, представлена на рисунке 2.

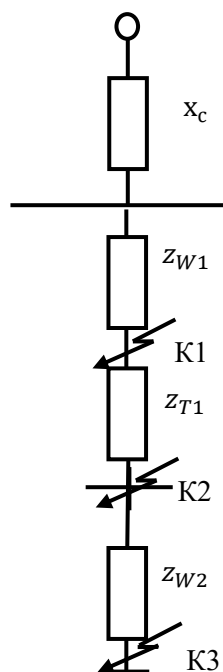


Рисунок 2 – Схема замещения участка цепи для определения токов КЗ

Далее проводится непосредственный расчёт параметров элементов схемы замещения. Величина базисного напряжения  $U_6$  принимается выше номинального напряжения сети на 5%. Поэтому в работе приняты следующие базисные условия:  $S_B = 100$  МВА;  $U_{BH} = 115$  кВ;  $U_{HH} = 6,3$  кВ.

Исходя из базисных условий, проводится расчёт базисного тока на стороне высшего и низшего напряжения понизительной подстанции ПС-110/6/6 кВ:

$$I_B = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_B}. \quad (13)$$

$$I_{Б.ВН} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,51 \text{ кА.}$$

$$I_{Б.НН} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 9,16 \text{ кА.}$$

Расчет параметров схемы в относительных единицах.

Определяется сопротивление элементов схемы замещения цепи КЗ.

Принимается факт, что мощность источника электроэнергии (энергосистемы)  $E_c=1$ , соответственно, индуктивное сопротивление для принятых базисных условий по кривым [18] можно принять равным  $x_c=0,05$ .

Индуктивное сопротивление питающей воздушной линии W1:

$$X_{W1} = \frac{1}{n} \cdot X_{уд.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_6}{U_B^2} \quad (14)$$

где  $X_{W1}$  – удельное сопротивление воздушной линии, Ом/км;

$L$  – длина линии, 6 км.

$$X_{W1} = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \cdot 6 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,02 \text{ о. е.}$$

Активное сопротивление питающей линии:

$$R_{W1} = \frac{1}{n} \cdot R_{уд.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_6}{U_B^2} \quad (15)$$

где  $R_{уд.W1}$  – удельное активное сопротивление воздушной линии [1].

$$R_{W1} = \frac{1}{2} \cdot 0,46 \cdot 6 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,02 \text{ о. е.}$$



Находится индуктивное сопротивление каждой обмотки силового трансформатора с расщеплённой обмоткой НН на проектируемой ПС-110/6/6 кВ портового терминала

$$X_{T1} = n \cdot \frac{U_{к.з.}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{Н.Т.}} \quad (16)$$

где  $n$  – количество расщеплённых обмоток вторичной обмотки НН, шт.

$$X_{T1} = 2 \cdot \frac{10,5}{100} \cdot \frac{100}{25} = 0,84 \text{ о. е.}$$

Индуктивное сопротивление кабельной линии W2 по (14):

$$X_{W2} = 0,09 \cdot 0,15 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,01 \text{ о. е.}$$

Определяется активное сопротивление кабельной линии W2 по (15):

$$R_{W2} = 0,62 \cdot 0,15 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,08 \text{ о. е.}$$

Проводится расчет токов КЗ в расчётной точке К1.

Полное сопротивление цепи короткого замыкания до точки К1

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(X_c + X_{w1})^2 + R_{w1}^2} \quad (17)$$

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(0,05 + 0,02)^2 + 0,02^2} = 0,073 \text{ о. е.}$$

Расчёт токов КЗ при трёхфазном коротком замыкании в расчётных точках

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{E_c}{Z_{\Sigma\kappa}} \cdot I_{\phi}. \quad (18)$$

Рассчитывается значение трёхфазного максимального тока КЗ в расчётной точке схемы К1

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{1}{0,073} \cdot 0,51 = 6,98 \text{ кА.}$$

Определяется полное сопротивление и ток трёхфазного КЗ точке К2

$$Z_{\Sigma\kappa 2} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T)^2 + R_{w1}^2}. \quad (19)$$

$$Z_{\Sigma\kappa 2} = \sqrt{(0,05 + 0,02 + 0,84)^2 + 0,02^2} = 0,91 \text{ о.е.}$$

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{1}{0,91} \cdot 9,16 = 10,07 \text{ кА.}$$

Определяется полное сопротивление и ток КЗ в точке К3:

$$Z_{\Sigma\kappa 3} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w2})^2 + (R_{w1} + R_{w2})^2}. \quad (20)$$

$$Z_{\Sigma\kappa 3} = \sqrt{(0,05 + 0,02 + 0,84 + 0,01)^2 + (0,02 + 0,08)^2} = 0,973 \text{ о.е.}$$

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{1}{0,973} \cdot 9,16 = 9,42 \text{ кА.}$$

Значение ударного тока трёхфазного КЗ:

$$I_{уд} = \sqrt{2} \cdot K_{уд} \cdot I_{\kappa}^{(3)} \quad (21)$$

где  $K_{уд}$  – значение ударного коэффициента по справочным данным [3].

Определяется значение ударного тока трёхфазного КЗ в расчётной точке схемы К1

$$I_{уд.к1} = \sqrt{2} \cdot 1,6 \cdot 6,98 = 15,71 \text{ кА.}$$

Аналогично определяется значение ударного тока трёхфазного КЗ в расчётной точке схемы К2

$$I_{уд.к2} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 10,07 = 19,94 \text{ кА.}$$

Значение ударного тока трёхфазного КЗ в расчётной точке схемы К3

$$I_{уд.к3} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 9,42 = 18,65 \text{ кА.}$$

Расчет токов двухфазного короткого замыкания в системе электроснабжения проектируемой ПС-110/6/6 кВ портового терминала осуществляется по выражению

$$I_{к}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{к}^{(3)}. \quad (22)$$

Значение тока двухфазного КЗ в расчётной точке схемы К1

$$I_{к}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 6,98 = 6,04 \text{ кА}$$

Значение тока двухфазного КЗ в расчётной точке схемы К2

$$I_{к2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 10,07 = 8,72 \text{ кА}$$

Значение тока двухфазного КЗ в расчётной точке схемы КЗ

$$I_{к3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 9,42 = 8,16 \text{ кА}$$

Полученные результаты расчётов токов трёхфазного и двухфазного КЗ, а также ударных токов в расчётных точках схемы, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчётов токов трёхфазного и двухфазного КЗ, а также ударных токов в расчётных точках схемы ПС-110/6/6 кВ портового терминала

Точка КЗ	U <sub>Б</sub> , кВ	I <sub>Б</sub> , кА	Z <sub>Σ</sub>	K <sub>уд</sub>	I <sup>(3)</sup> кА	I <sup>(2)</sup> кА	I <sub>уд</sub> , кА
К1	115	0,51	0,073	1,6	6,98	6,04	15,71
К2	6,3	9,16	0,910	1,4	10,07	8,72	19,94
К3	6,3	9,16	0,973	1,4	9,42	8,16	18,65

Полученные результаты расчётов токов КЗ используются далее при выборе и проверке электрических аппаратов в системе электроснабжения проектируемой ПС-110/6/6 кВ портового терминала.

## **2.6 Выбор и проверка электрических аппаратов на ПС-110/6/6 кВ портового терминала**

Для защиты и коммутации присоединений напряжением 110 кВ и 6 кВ ПС-110/6/6 кВ портового терминала применяются высоковольтные

выключатели, установленные в РУ 110 кВ и РУ 6 кВ на ПС-110/6/6 кВ портового терминала.

Для обеспечения безопасности проводимых работ с целью создания видимого разрыва в ОРУ-110 кВ ПС-110/6/6 кВ портового терминала применяются разъединители, а в РУ-6 кВ – втычные контакты ячеек типа КРУН (комплектные распределительные устройства наружной установки).

Для обеспечения питания вторичных цепей в схеме 110 кВ и 6 кВ используются трансформаторы тока и напряжения.

Для защиты от атмосферных перенапряжений вследствие удара молнии, а также от внутренних перенапряжений, в схеме ПС-110/6/6 кВ портового терминала применяются ограничители перенапряжения.

Выбор аппаратов высокого напряжения в общем виде производится по напряжению и рабочему максимальному току [7, 11, 17]:

$$U_{уст} \leq U_H; \quad (23)$$

$$I_{раб.макс.} \leq I_H. \quad (24)$$

Выбранные аппараты высокого напряжения подлежат следующим проверкам по условиям отключения токов КЗ, а также на термическую и динамическую стойкость по условиям [3, 11]:

$$I_{nt} \leq I_{откл}. \quad (25)$$

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

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

$$i_y \leq i_{пр.с}, \quad (28)$$

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

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

Предварительно выбирается выключатель для установки в ОРУ 110 кВ ПС-110/6/6 кВ портового терминала типа ВГТ-110/1000/УХЛ1 [7, 17]

$$U_{\text{НОМ}} = 110 \text{ кВ} = U_{\text{сети}} = 110 \text{ КВ.}$$

$$I_{\text{НОМ}} = 1000 \text{ А} > I_{\text{расч}} = 46,3 \text{ А.}$$

$$I_{\text{НОМ}} = 20 \text{ кА} > I_{\text{к1}} = 6,98 \text{ кА.}$$

$$i_{\text{пр.СКВ}} = 52 \text{ кА} > i_{\text{ук1}} = 15,71 \text{ кА.}$$

$$I_t^2 t = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \text{ с} > I_k^2 (t_{\text{откл}} + T_a) = 6,98^2 \cdot 0,1 = 4,87 \text{ кА}^2 \text{ с.}$$

$$\sqrt{2} \cdot I_k \left( 1 + \frac{\beta_{\text{НОМ}}}{100} \right) = \sqrt{2} \cdot 20(1 + 0,25) =$$

$$= 35 > \sqrt{2} \cdot 15,71 \cdot \left( 1 + e^{\frac{-(0,05+0,1)}{0,007}} \right) = 24,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

Окончательно выбирается выключатель марки ВГТ-110/1000/УХЛ1 для установки в ОРУ-110 кВ ПС-110/6/6 кВ портового терминала.

Распределительное устройство 6 кВ ПС-110/6/6 кВ портового терминала (РУ-6 кВ), от которого получают питание высоковольтные насосы напряжением 6 кВ, представляет собой комплектное распределительное устройство внешней установки.

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

Выбор высоковольтных выключателей для установки в ячейках РУ-6 кВ приведён в таблице 4.

Для установки в ОРУ-110 кВ ПС-110/6/6 кВ портового терминала выбирается разъединитель типа РНДЗ 1-110/1000ХЛ. Последовательность выбора отражается в таблице 5.

Таблица 4 – Выбор высоковольтных выключателей для установки в ячейках РУ 6 кВ ПС-110/6/6 кВ портового терминала

Условия	Параметры электрической сети	Каталожные данные выключателя ВВ/TEL-10-20/3600 (630)-У2-48
$U_{уст} \leq U_H$	$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$	$U_H = 10 \text{ кВ}$
$I_{раб.макс} \leq I_H$	$I_{раб.макс}=3368 \text{ А (вводной)}$ $I_{раб.макс}=2821 \text{ А (секционный)}$ $I_{раб.макс}=364,2 \text{ А (отходящие линии)}$	$I_H = 3600 \text{ А (вводной)}$ $I_H = 3600 \text{ А (секционный)}$ $I_H = 630 \text{ А (отходящие линии)}$
$i_y \leq i_{пр.с}$	$i_y=19,94 \text{ кА}$	$i_{пр.с} = 80 \text{ кА}$
$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k=10,07^2 \cdot 0,1 = 10,14 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 t_T = 4000 \text{ кА}^2\text{с}$
$I_{нт} \leq I_{откн}$	$I_{нт} = 10,07 \text{ кА}$	$I_{откн} = 20 \text{ кА}$

Таблица 5 – Результаты выбора разъединителей в ОРУ 110 кВ ПС-110/6/6 кВ портового терминала

Условия	Параметры электрической сети	Каталожные данные разъединителя РНДЗ 1-110/1000ХЛ
$U_{уст} \leq U_H$	$U_{уст} = 110 \text{ кВ}$	$U_H = 110 \text{ кВ}$
$I_{раб.макс} \leq I_H$	$I_{раб.макс}=183,7 \text{ А}$	$I_H = 1000 \text{ А}$
$i_y \leq i_{пр.с}$	$i_y=15,71 \text{ кА}$	$i_{пр.с} = 20 \text{ кА}$
$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k=6,98^2 \cdot 0,1 = 4,87 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 t_T = 2000 \text{ кА}^2\text{с}$

Для питания вторичных цепей коммутации (релейной защиты, автоматики, сигнализации, измерений) необходимо предусмотреть измерительные трансформаторы – трансформаторы тока и напряжения.

Далее выбирается трансформатор тока для установки в ОРУ-110 кВ марки ТФЗМ – 110Б-1 (таблица 6).

Таблица 6 – Выбор трансформатора тока в ОРУ 110 кВ ПС-110/6/6 кВ портового терминала

Условия	Параметры электрической сети	Каталожные данные ТТ марки ТФЗМ – 110Б-1
$U_{уст} \leq U_H$	$U_{уст} = 110 \text{ кВ}$	$U_H = 110 \text{ кВ}$
$I_{раб.макс} \leq I_H$	$I_{раб.макс} = 183,7 \text{ А}$	$I_H = 300 \text{ А}$
$i_y \leq i_{пр.с}$	$i_y = 15,71 \text{ кА}$	$i_{пр.с} = 62 \text{ кА}$
$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 6,98^2 \cdot 0,1 = 4,87 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 t_T = 2000 \text{ кА}^2\text{с}$

Проводится выбор и проверка измерительных трансформаторов тока (далее – ТТ) и напряжения (далее – ТН) для их установки в РУ-6 кВ ПС-110/6/6 кВ портового терминала. Выбирается для установки в РУ 6 кВ трансформатор тока марки ТПЛ-10 (таблица 7).

Таблица 7 – Выбор трансформатора тока 6 кВ для установки в ячейках РУ 6 кВ ПС-110/6/6 кВ портового терминала

Условия	Параметры электрической сети	Каталожные данные ТТ марки ТПЛ-10
$U_{уст} \leq U_H$	$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$	$U_H = 10 \text{ кВ}$
$I_{раб.макс} \leq I_H$	$I_{раб.макс} = 364,2 \text{ А}$	$I_H = 630 \text{ А}$
$i_y \leq i_{пр.с}$	$i_y = 19,94 \text{ кА}$	$i_{пр.с} = 40 \text{ кА}$
$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 10,07^2 \cdot 0,1 = 10,14 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 t_T = 2000 \text{ кА}^2\text{с}$



Выбирается для установки в РУ 6 кВ трансформатор напряжения марки НТМИ-10 (таблица 8).

Таблица 8 – Выбор трансформатора напряжения 6 кВ для установки в ячейках РУ 6 кВ ПС-110/6/6 кВ портового терминала

Условия	Параметры электрической сети	Каталожные данные ТН марки НТМИ-10
$U_{уст} \leq U_n$	$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$	$U_n = 10 \text{ кВ}$
$I_{раб.макс} \leq I_n$	$I_{раб.макс} = 364,2 \text{ А}$	$I_n = 630 \text{ А}$
$i_y \leq i_{пр.с}$	$i_y = 19,94 \text{ кА}$	$i_{пр.с} = 60 \text{ кА}$
$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 10,07^2 \cdot 0,1 = 10,14 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 t_T = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$

Для защиты от атмосферных и внутренних перенапряжений необходимо предусмотреть ограничители перенапряжений (ОПН).

Поскольку на ОРУ 110 кВ требуется ОПН внешней установки, выбираются для защиты ВЛ-110 кВ ограничители перенапряжений типа ОПН-У/TEL-110/84-УХЛ1.

На стороне 6 кВ в работе используются ОПН внутренней установки типа ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1, которые устанавливаются в шкафах КРУ 6 кВ совместно с ранее выбранными вакуумными выключателями типа ВВ/TEL-10.

Все выбранные электрические аппараты показаны на графических листах 2 и 3.

Кроме того, узлы монтажа электрических аппаратов 110 кВ ПС-110/6/6 кВ портового терминала представлены на графическом листе 4, узлы монтажа электрических аппаратов 6 кВ, применяемые при установке коммутационных аппаратов на рассматриваемой подстанции, демонстрируются на графическом листе 5.

## 2.7 Выбор блоков релейной защиты и автоматики

В работе проводится выбор современных блоков релейной защиты и автоматики для установки на ПС-110/6/6 кВ портового терминала.

Согласно [3, 20], к релейной защите и автоматике (РЗиА) систем электроснабжения предъявляются следующие основные требования:

- быстродействие;
- надёжность;
- селективность (избирательность);
- минимизация времени и затрат на монтаж, обслуживание и ремонт (экономичность).

Современные микропроцессорные устройства РЗиА, пришедшие на смену устаревшим электромагнитным, электромеханическим и индукционным реле, в полной мере отвечают данным требованиям [3, 20].

В основе современных микропроцессорных РЗиА лежат надёжные и компактные интегральные микросхемы, которые имеют значительное преимущество перед устаревшими типами реле, указанными выше [3, 20].

Последнее поколение микропроцессорных РЗиА выполняется в виде многофункциональных блоков (многоцелевые устройства), в которых объединены функции многих защит, устройств автоматики и сигнализации.

Использование последних позволяет значительно уменьшить габариты устройств РЗиА, а также сократить затраты и время на монтаж, обслуживание и ремонт.

Кроме того, по показателям надёжности и быстродействия современные микропроцессорные блоки защит значительно превосходят устаревшие аналоги на индукционной и электромагнитной базе.

В качестве микропроцессорной защиты для ПС-110/6/6 кВ портового терминала в работе выбираются [3]:

– для релейной защиты – блоки марки БМРЗ (производитель – НТЦ «Механотроника»);

– для автоматики – блоки марки БРЧН-100;

– для центральной сигнализации – блоки марки БМЦС-40.

Данные блоки РЗиА заменили устаревшие индукционные и электромагнитные реле типа РТ-40, РТ-80, РТМ, РТВ, которые использовались на подстанциях ранее.

Выбор блоков РЗиА для проектируемой ПС-110/6/6 кВ портового терминала представлен в таблице 9.

Таблица 9 – Выбор блоков РЗиА для проектируемой ПС-110/6/6 кВ портового терминала

Защищаемый элемент проектируемой ПС-110/6/6 кВ портового терминала	Марка применяемых блоков РЗиА	Основные реализуемые РЗиА блока
Питающая воздушная линия 110 кВ	БМРЗ-150, БРЧН-100	МТЗ, ТО (ДЗ), ЗОЗ (БМРЗ-150); АПВ (БРЧН-100)
Отходящие воздушные линии 6 кВ	БМРЗ-100	МТЗ, ТО (ДЗ), ЗОЗ (БМРЗ-100)
Секционный выключатель 6 кВ	БМРЗ-50, БРЧН-100	МТЗ, ТО (ДЗ), ЗОЗ (БМРЗ-50); АВР (БРЧН-100)
Силовые трансформаторы ТРДН-25000/110	БМРЗ	ДЗ, МТЗ, ТО, ЗОЗ (БМРЗ)
Сигнализация	БМЦС-40	Виды сигнализации: рабочая, аварийная, предупредительная, командная, контрольная, блокировочная, положений

Выводы по разделу 2:

В результате выполнения второго раздела работы, разработана схема ПС-110/6/6 кВ портового терминала с установкой двух силовых трансформаторов марки ТРДН-25000/110, мощность которого выбрана и проверена в работе на основе результатов расчёта электрических нагрузок.

Разработанная схема ОРУ-110 кВ выполнена с наличием резервной перемычки, состоящая из разъединителей по схеме «4Н».

В схеме РУ 6 кВ ПС-110/6/6 кВ портового терминала применяется «парное сквозное резервирование» секций сборных шин с отдельным режимом работы. Такая схема позволяет в полной мере обеспечить надёжность и сквозное резервирование элементов системы электроснабжения.

Осуществлены выбор и проверка сечения проводников: для ВЛ-110 кВ выбран провод марки АС-120/19, для отходящих линий 6 кВ – силовые кабели марки АСБ-6(3х185). Осуществлены выбор и проверка электрических аппаратов современного типа для их установки:

– в ОРУ 110 кВ ПС-110/6/6 кВ портового терминала – выключатели ВГТ-110/1000/УХЛ1, разъединители РНДЗ 1-110/1000ХЛ, трансформатор тока ТФЗМ – 110Б-1, ограничители перенапряжений ОПН-У/ТЕЛ-110/84-УХЛ1;

– в РУ 6 кВ ПС-110/6/6 кВ портового терминала – выключатели ВВ/ТЕЛ-10-20-У2-48, трансформаторы тока марки ТПЛ-10, трансформаторы напряжения НТМИ-10, ОПН внутренней установки ОПН-КР/ТЕЛ-10/12 УХЛ1.

На основании полученных результатов расчёта токов КЗ, осуществлена проверка кабельных линий 6 кВ и электрических аппаратов на термическую стойкость.

Выбраны блоки современные релейной защиты и автоматики для установки на ПС-110/6/6 кВ портового терминала марки БМРЗ (производитель – НТЦ «Механотроника»), для автоматики – блоки марки БРЧН-100, для центральной сигнализации – блоки марки БМЦС-40.

### **3. Охрана труда и окружающей среды**

#### **3.1 Техника безопасности при выполнении работ на подстанции**

На персонал подстанции 110/6/6 кВ портового терминала при выполнении ими трудовой функции могут воздействовать следующие опасные и вредные факторы производственной среды:

- высокое напряжение цепи, при замыкании которой может пройти ток через тело человека 6 кВ;
- электрическая дуга;
- подвижные части производственного оборудования;
- повышенная или пониженная температура, влажность, подвижность воздуха рабочей зоны;
- недостаточная освещённость рабочей зоны;
- пожароопасные концентрации горючих жидкостей;
- твёрдые горючие и трудно сгораемые вещества и материалы.
- 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 течении 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 110/6/6 кВ портового терминала;

- 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 110/6/6 кВ портового терминала.

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 110/6/6 кВ портового терминала 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 [9, 10], 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 110/6/6 кВ портового терминала, необходимо убедиться в надежном отключении установки от источника питания.

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

Проектируемая подстанция 110/6/6 кВ портового терминала спланирована с уклоном для обеспечения отвода ливневых вод за ее пределы. Территория



подстанции ограждена забором из металлической сетки на железобетонных опорах высотой

На подстанции предусматриваются специальные защитные меры по снижению травматизма:

- во всех существующих цепях РУ-110 кВ и РУ-6 кВ предусматривается установка разъединителей с видимым разрывом, обеспечивающим возможность отсоединения всех аппаратов каждой цепи от сборных шин;

- выключатели и их привода имеют хорошо видимый и надежно работающий указатель положения («Вкл.», «Откл.»);

- привода разъединителей, доступные для посторонних, имеют приспособления для запираания их замками в отключенном и включенном положениях;

- РУ 110 и 10 кВ оборудуются стационарными заземляющими ножами;

- сетчатые и стационарные ограждения токоведущих частей и оборудования имеют высоту над уровнем планировки для РУ 110 кВ и трансформаторов – 1,6 м, сетки имеют отверстия размером 15x15 мм, что удовлетворяет требованию размеров не менее 10x10 мм и не более 25x25 мм, имеются приспособления для запираания их на замок;

- электропроводы цепей защиты, сигнализации и освещения, проложенные под электротехническими устройствами, выполнены проводами с маслостойкой изоляцией;

- территория подстанции ограждена внешним забором высотой 1,8 м, вспомогательные сооружения подстанции огораживаются внешним забором высотой 1,6 м;

- на стороне 110 кВ и 10 кВ имеются блокировки между главными и заземляющими ножами разъединителя, электромеханические блокировки выключателя линии, секционного и вводного выключателей;

– для защиты персонала от поражения электрическим током при пробое изоляции вторичные обмотки трансформатора тока (ТТ), трансформатора напряжения (ТН), трансформатора собственных нужд (ТСН) заземляются;

– оборудование, обслуживание которого связано с пребыванием человека на высоте, более 0,3 м от уровня пола, оснащено площадками, трапами или лестницами. Для безопасности обслуживающего персонала трапы и лестницы имеют с обеих сторон поручни.

При эксплуатации оборудования подстанции 110/6/6 кВ портового терминала и питающей ВЛ-110 кВ, для электротехнического персонала предусматриваются следующие изолирующие защитные средства: основные (изолирующие штанги для оперативных, измерительных и других целей; изолирующие клещи для установки и снятия предохранителей 10 кВ; монтерские инструменты с изолированными рукоятками; указатель напряжения на 35 и 110 кВ типа УВН-90) и дополнительные (диэлектрические резиновые коврики, диэлектрические боты и галоши, диэлектрические перчатки, защитные очки типа ЗНР1, указатель напряжения до 400 В типа УНН-1, двухполюсные указатели напряжения типа ТИ-1, бесконтактный указатели высокого напряжения типа УВНБ-6-35, плакаты безопасности – 4 комплекта).

Также в цепях 110/6/6 кВ портового терминала должна применяться сигнализация.

Аварийная сигнализация действует без выдержки времени при аварийном отключении любого из выключателей и при срабатывании защит трансформатора.

Предупреждающая сигнализация работает с выдержкой времени при перегрузке силовых трансформаторов, обрыве цепей управления и т.д.

### **3.2 Охрана окружающей среды на ПС-110/6/6 кВ портового терминала**

Известно, что понизительные подстанции высокого напряжения являются источниками повышенной опасности как для обслуживающего персонала, так и для флоры и фауны.

В виду этого, при выполнении работ на понизительной подстанции 110/6/6 кВ портового терминала, необходимо строго соблюдать мероприятия по технике безопасности и охране труда в целом.

При проектировании ВЛ-110 кВ, питающих ОРУ-110 кВ понизительной подстанции 110/6/6 кВ портового терминала, 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 [6, 12–14], 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 [10]:

- 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 110/6/6 кВ портового терминала) сказывается во вредном влиянии на людей электромагнитных полей линий электропередач высокого напряжения [10].

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 проектируемой понизительной подстанции 110/6/6 кВ портового терминала 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 110/6/6 кВ портового терминала.

### 3.3 Расчёт молниезащиты на ПС-110/6/6 кВ портового терминала

Молниезащита на подстанциях выполняется с целью защиты от атмосферных перенапряжений сетей и оборудования подстанции вследствие прямых ударов молнии во время грозы. Известно, что попадание молнии в незащищённый участок или в оборудование приводит к выходу из строя последнего из-за возникшего резкого увеличения напряжения (перенапряжения). Чтобы такого не произошло, на подстанциях и в распределительных пунктах применяют молниезащиту.

Проводится расчёт молниезащиты ПС-110/6/6 кВ портового терминала.

Зона защиты четырех стержневых молниеотводов [17]

$$r_x = h_a \cdot [1,6 / (1 + (h_x/h) \cdot p)], \quad (31)$$

где  $r_x$  – радиус действия молниеотвода, м;

$h_a$  – активная высота молниеотвода, м;

$h_x$  – высота наиболее высоких элементов ОРУ-110 кВ, м;

$h$  – высота молниеотвода, м.

$$h_a = h - h_x. \quad (32)$$

Наименьшая ширина зоны защиты

$$b_X = 4 \cdot r_X \cdot [(7 \cdot h_a - a)/(14 \cdot h_a - a)], \quad (33)$$

где  $a$  – расстояние между молниеотводами, м.

Проверка по условию:

$$D \leq 8 \cdot h_a \cdot p, \quad (34)$$

где  $D$  – наибольшая диагональ четырёхугольника, м.

Проводится расчёт зоны защиты молниеотводов  $M_1$  –  $M_4$  с параметрами:  
 $h=19$  м,  $h_a=8$  м,  $h_x = 11$  м.

$$r_X = (19 - 11) \cdot [1,6/(1 + (11/19) \cdot 1)] = 8,11 \text{ м.}$$

$$b_X^I = 4 \cdot 8,11 \cdot [(7 \cdot 8 - 21)/(14 \cdot 8 - 21)] = 12,48 \text{ м. } b_X^I/2 = 6,24 \text{ м.}$$

$$b_X^{II} = 4 \cdot 8,11 \cdot [(7 \cdot 8 - 43,5)/(14 \cdot 8 - 43,5)] = 5,92 \text{ м.}$$

$$b_X^{II}/2 = 2,96 \text{ м.}$$

$$D_1 \leq 8 \cdot 8 \cdot 1 = 64 \text{ м.}$$

$$D_1 = \sqrt{21^2 + 43,5^2} = 48,3 \leq 64 \text{ м.}$$

Проводится расчёт зоны защиты молниеотводов  $M_5$  и  $M_6$  с параметрами:  
 $h=17$  м,  $h_a=12$  м,  $h_x = 5$  м.

$$r_{X_I} = (17 - 5) \cdot [1,6/(1 + (5/17) \cdot 1)] = 14,84 \text{ м.}$$

$$b_{X_I} = 4 \cdot 14,84 \cdot [(7 \cdot 12 - 30)/(14 \cdot 12 - 30)] = 23,22 \text{ м.}$$

$$b_{X_I}/2 = 11,61 \text{ м.}$$

$$b_{X_{II}} = 4 \cdot 14,84 \cdot [(7 \cdot 12 - 6)/(14 \cdot 12 - 6)] = 28,58 \text{ м.}$$

$$b_{X2}/2 = 14,29 \text{ м.}$$

$$D_2 \leq 8 \cdot 12 \cdot 1 = 96 \text{ м.}$$

$$D_2 = \sqrt{30^2 + 6^2} = 30,6 \leq 96 \text{ м.}$$

Схема спроектированной молниезащиты от прямых ударов молнии, а также план её расположения на спроектированной ПС-110/6/6 кВ портового терминала, представлена в графической части работы на листе 6.

Выводы по разделу 3:

В результате выполнения третьего раздела работы, проведён анализ опасных и вредных факторов при выполнении работ в системе электроснабжения спроектированной понизительной подстанции 110/6/6 кВ портового терминала.

На основании проведённого анализа, систематизированы и разработаны мероприятия по технике безопасности при выполнении работ в сетях указанной подстанции, а также мероприятия по охране окружающей среды на объекте исследования.

Проведён расчёт молниезащиты спроектированной понизительной подстанции 110/6/6 кВ портового терминала, обеспечивающей надёжную защиту оборудования ПС-110/6/6 кВ портового терминала от прямых ударов молнии.

## Заключение

В результате выполнения работы разработан проект трансформаторной понижающей подстанции ПС-110/6/6 кВ портового терминала.

Проведенный анализ исходных данных в работе показал, что основными потребителями проектируемой в работе нефтеперекачивающей подстанции портового терминала ПС-110/6/6 кВ являются мощные высоковольтные магистральные насосы для перекачки нефти и газового конденсата марки НПВ 3600-135а-М с приводным двигателем марки 4АЗМ-1600/6000 заводской мощностью  $P_{ном} = 1600$ кВт и номинальным напряжением  $U_{ном} = 6$  кВ. Согласно исходным проектным данным, на рассматриваемой в работе нефтеперекачивающей подстанции портового терминала установлено двадцать насосов указанного типа. При этом номинальный класс напряжения рассматриваемых электродвигателей полностью соответствует заданию на проектирование (на шинах низшего напряжения нефтеперекачивающей подстанции портового терминала должно быть напряжение 6 кВ). Следовательно, данные потребители разрабатываемой в работе ПС-110/6/6 кВ полностью соответствуют исходным данным на проектирование.

Разработана схема ПС-110/6/6 кВ портового терминала с установкой двух силовых трансформаторы марки ТРДН-25000/110, мощность которого выбрана и проверена в работе на основе результатов расчёта электрических нагрузок.

Разработанная схема ОРУ-110 кВ выполнена с наличием резервной перемычки, состоящая из разъединителей по схеме «4Н».

В схеме РУ 6 кВ ПС-110/6/6 кВ портового терминала применяется «парное сквозное резервирование» секций сборных шин с отдельным режимом работы. Такая схема позволяет в полной мере обеспечить надёжность и сквозное резервирование элементов системы электроснабжения.



Осуществлены выбор и проверка сечения проводников: для ВЛ-110 кВ выбран провод марки АС-120/19, для отходящих линий 6 кВ – силовые кабели марки АСБ-6(3х185).

Осуществлены выбор и проверка электрических аппаратов современного типа для их установки:

– в ОРУ 110 кВ ПС-110/6/6 кВ портового терминала – выключатели ВГТ-110/1000/УХЛ1, разъединители РНДЗ 1-110/1000ХЛ, трансформатор тока ТФЗМ – 110Б-1, ограничители перенапряжений ОПН-У/TEL-110/84-УХЛ1;

– в РУ 6 кВ ПС-110/6/6 кВ портового терминала – выключатели ВВ/TEL-10-20-У2-48, трансформаторы тока марки ТПЛ-10, трансформаторы напряжения НТМИ-10, ОПН внутренней установки ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1.

На основании полученных результатов расчёта токов КЗ, осуществлена проверка кабельных линий 6 кВ и электрических аппаратов на термическую стойкость. Выбраны блоки современные релейной защиты и автоматики для установки на ПС-110/6/6 кВ портового терминала марки БМРЗ (производитель НТЦ «Механотроника»), для автоматики – блоки марки БРЧН-100, для центральной сигнализации – блоки марки БМЦС-40.

В работе проведён анализ опасных и вредных факторов при выполнении работ в системе электроснабжения спроектированной понизительной подстанции 110/6/6 кВ портового терминала. На основании проведённого анализа, систематизированы и разработаны мероприятия по технике безопасности при выполнении работ в сетях указанной подстанции, а также мероприятия по охране окружающей среды на объекте исследования. Проведён расчёт молниезащиты спроектированной понизительной подстанции 110/6/6 кВ портового терминала, обеспечивающей надёжную защиту оборудования ПС-110/6/6 кВ портового терминала от прямых ударов молнии.

Спроектированная схема подстанции портового терминала соответствует требованиям нормативных документов и может быть принята к рассмотрению.

## 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. Барыбин Ю.Г. Справочник по проектированию электроснабжения. – М.: Энергоатомиздат, 2016. – 576 с.
4. Вахнина В. В. , Самолина О.В., Черненко А.Н. Электроэнергетика и электротехника. Выполнение бакалаврской работы: электронное учебно-методическое пособие. – Тольятти [Электронный ресурс] : URL: <https://dspace.tltsu.ru/xmlui/handle/123456789/18603/> (дата обращения: 07.09.2021).
5. Газалов В.С. Светотехника и электротехнология: Учебное пособие. Зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2016. 268 с.
6. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
7. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. - 343 с.
8. Кудрин Б.И. Электроснабжение. – М.: Academia, 2018. 352 с.
9. Курдюмов В.И., Зотов Б.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. – М.: Колос, 2016 г. – 184 с.
10. Михайлов Ю.М. Охрана труда при эксплуатации электроустановок. – М.: Издательство «Альфа-Пресс», 2015. – 224 с.
11. 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.

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

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

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

15. Рогалев Н.Д., Зубкова А.Г., Мастерова И.В. Экономика энергетики. – М.: «МЭИ», 2018. – 288 с.

16. Рожкова Л.Д., Карнеева Л.К., Чиркова Т.В. Электрооборудование электрических станций и подстанций. – М.: ИЦ Академия, 2016. - 448 с.

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

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

19. Файбисович Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей. – М.: ЭНАС, 2018. – 312 с.

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