

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 35/6 кВ "Пашшорская"

Обучающийся

А. С. Макаров

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., И. В. Горохов

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

Тольятти 2025

## Аннотация

В работе проведена реконструкция электрической части подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ», что отражает актуальную стратегию повышения надёжности и эффективности объектов энергетической инфраструктуры.

Проведена разработка технических и организационных мероприятий, способных обеспечить надлежащее качество и надёжность электроснабжения потребителей.

Для достижения заявленного результата, проведено решение ряда исследовательских и проектных технических задач:

- анализ исходных данных, отражающих текущее состояние подстанционного оборудования;
- оценка электрических нагрузок с учётом будущего увеличения потребления электроэнергии;
- расчёт токов короткого замыкания
- выбор и проверка силовых трансформаторов, а также проводников и оборудования высоковольтных распределительных устройств 35 кВ и 6 кВ.

Кроме того, проверка с последующей модернизацией также проведена для системы РЗА подстанции.

## Содержание

Введение .....	4
1 Анализ схемы и технического состояния оборудования подстанции.....	7
1.1 Характеристика схемы и технического состояния оборудования электрической части подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» .....	7
1.2 Характеристика потребителей электрической части подстанции 35/6 кВ «Пашшорская».....	10
2 Расчет электрических нагрузок .....	18
3 Проверка силовых трансформаторов подстанции.....	23
4 Расчёт токов короткого замыкания .....	26
5 Выбор и проверка токоведущих частей и электрических аппаратов .....	34
5.1 Выбор и проверка токоведущих частей на подстанции напряжением 35 кВ и 6 кВ .....	34
5.2 Выбор и проверка электрических аппаратов на стороне 35 кВ.....	39
5.3 Выбор и проверка электрических аппаратов на стороне 6 кВ.....	42
6 Выбор систем релейной защиты и учёта электроэнергии на подстанции ...	46
6.1 Выбор системы релейной защиты на подстанции.....	46
6.2 Выбор системы учёта и контроля электроэнергии.....	48
Заключение .....	52
Список используемых источников.....	56

## Введение

Установлено, что реконструкция электрической части подстанции 35/6 кВ «Пашпорская» ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ» отражает актуальную стратегию повышения надёжности и эффективности объектов энергетической инфраструктуры.

Сегодня на данных объектах энергетики наблюдается ускоренный износ оборудования на подобных узлах энергетических систем нефтедобывающей промышленности Российской Федерации, что приводит к росту аварийных отключений и росту расходов на планово-предупредительные ремонты.

Инженерные решения, предлагаемые современным рынком, включают инновационные коммутационные аппараты, цифровые средства мониторинга и оптимизированные схемы управления, позволяющие обеспечить гарантированное энергоснабжение потребителей различной категории, включая объекты первой группы надёжности.

Устойчивый интерес к обновлению подстанций, что предусматривает комплексное решение вопросов по их модернизации и реконструкции, подтверждается рядом государственных программ, ориентированных на усовершенствование важнейших элементов электросетевого хозяйства в условиях возросшей нагрузки и ужесточения требований по безопасности.

Известно, что применение новых устройств и технологий на объектах электроэнергетики требует всестороннего анализа, поскольку переход на современное оборудование затрагивает не только аппаратную составляющую, но и алгоритмы эксплуатации, включая компьютерное моделирование и дистанционную диагностику [20].

Таким образом, указанные аспекты формируют «актуальность и практическую ценность настоящей работы».

Основная цель работы заключается в разработке, проверке и последующем внедрении технических и организационных мероприятий, способных обеспечить надлежащее качество и надёжность электроснабжения

потребителей при минимальных рисках аварий» [20] и технологических сбоев, при проведении реконструкции электрической части подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ» вследствие увеличения нагрузки её потребителей.

Объект исследования охватывает все структурные элементы подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ»: распределительные устройства напряжением 35 кВ и 6 кВ и их оборудование, силовые трансформаторы, питающие и отходящие линии, а также «системы релейной защиты и измерений, которые влияют на суммарную устойчивость и надёжность электрической сети и подстанции в целом.

Предмет исследования заключается в способах и методах повышения надёжности, энергоэффективности, безопасности, экономичности и технологической гибкости электрической части подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ» вследствие проведения её реконструкции» [12].

Достижение заявленного результата требует постановки ряда исследовательских и проектных задач:

- анализ исходных данных, отражающих текущее состояние подстанционного оборудования;
- оценка электрических нагрузок с учётом будущего увеличения потребления электроэнергии;
- расчёт токов короткого замыкания
- выбор и проверка силовых трансформаторов, а также проводников и оборудования высоковольтных распределительных устройств 35 кВ и 6 кВ.

Кроме того, проверка с последующей модернизацией также проведена для системы релейной защиты и измерений на подстанции.

Таким образом, в работе предлагается применить комплексный подход к реконструкции подстанции, суть которого заключается в одновременном

улучшении сразу нескольких основных технических аспектов на объекте исследования.

Таким образом, по результатам выполненной работы необходимо предложить комплекс технических решений и организационных мероприятий, направленных на обеспечение высокой надёжности и необходимого качества электроснабжения потребителей подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ» в условиях реконструкции её электрической части.

Такие мероприятия минимизируют риск возникновения аварийных ситуаций и технологических нарушений при значительном увеличении нагрузки на подстанции, а практическое внедрение современного электротехнического оборудования, применение инновационных методов расчёта и выбора схемных решений позволят обеспечить бесперебойную работу подстанции и создать условия для её дальнейшего развития и эффективной эксплуатации.

## **1 Анализ схемы и технического состояния оборудования подстанции**

### **1.1 Характеристика схемы и технического состояния оборудования электрической части подстанции 35/6 кВ «Пашшорская»**

Далее в работе проводится анализ исходных данных по электрической части подстанции 35/6 кВ «Пашшорская», непосредственно состоящей на балансе ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ» (объект ВКР), которое расположено по следующему адресу: Республика Коми, город Усинск, улица Нефтяников, 9/3. Предприятие функционирует в сегменте энергетики и обеспечивает целый комплекс услуг по передаче и распределению электроэнергии. Оно образовано для «системного развития сетевой инфраструктуры, а также оптимизации обслуживания объектов в районах, связанных с нефтепереработкой и добычей углеводородов.

Основная сфера деятельности предприятия охватывает эксплуатацию и модернизацию подстанций, линий электропередачи и высоковольтных узлов, задействованных» [11] при снабжении промышленных объектов группы «ЛУКОЙЛ».

Инженерно-технические подразделения обслуживают комплексы линий разного уровня напряжения и выполняют оперативно-диспетчерские действия при возникновении сбоев или плановых переключениях.

Материально-техническое снабжение и финансовое планирование проводятся с учётом растущих требований к надёжности и соответствия стандартам экологической безопасности.

Основные технические показатели ежегодно отражаются в отчётной документации, где приводятся данные по протяжённости линий электропередачи, пропускной способности подстанций и установленной мощности силовых трансформаторов.

Примерный совокупный объём эксплуатируемых объектов превышает несколько тысяч километров воздушных линий и десятки подстанций с

номинальным высшим напряжением 110 кВ и выше. Годовой объём передаваемой электроэнергии измеряется сотнями миллионов кВт·ч, при этом уровень потерь в сетях стремится к снижению за счёт внедрения новейших технологий автоматизации и учёта [12].

Таким образом установлено, что объём финансовых вложений на предприятии позволит провести планируемую реконструкцию подстанции, описание которой проводится в работе далее.

По расположению в энергосистеме предприятия, рассматриваемая подстанция 35/6 кВ «Пашшорская» является узловой, обеспечивая транзит и резервирование мощностей в энергосистеме организации, а также перераспределение мощностей в узлах системы. Известно, что такой тип подстанций является важнейшим в региональных электрических сетях всех типов.

Проводится описание схемных решений, принятых на узловой подстанции 35/6 кВ «Пашшорская». Установлено, что на объекте исследования расположены два распределительных устройства (35 кВ и 6 кВ), а также два силовых трехобмоточных трансформатора марки ТМН-6300/35 (Т1) и ТМН-6300/35 (Т2). Все они показаны на исходной схеме электрических соединений подстанции, представленной на графическом листе 1.

Далее проводится характеристика основных схемных решений, принятых на подстанции до реконструкции.

Распределительное устройство 35 кВ конструктивно выполнено комплектным (КРУ-35 кВ). В КРУ-35 кВ подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» применяется схема 35-9 «Одна секционированная система шин» [4]. Данная схема является решением, обеспечивающим надёжное электроснабжение потребителей при умеренном количестве коммутационных аппаратов и оптимальном уровне затрат на реализацию проекта [13].

Такая конфигурация способствует упрощению оперативного управления: одна общая система шин функционирует как единый узел распределения, а секционный выключатель даёт возможность изолировать

часть оборудования для выполнения регламентных работ или устранения повреждений.

Подобное решение ведёт к снижению аварийных рисков, поскольку короткое замыкание на одном присоединении не вызывает полного отключения всего участка сети, позволяя сохранять питание отходящих линий, которые остаются присоединёнными к работающей системе сборных шин схемы. Дополнительный фактор в пользу такой схемной конфигурации – соответствие современным стандартам безопасности.

Сокращение числа шинных систем и коммутационных узлов уменьшает потенциальные очаги возникновения дуговых пробоев, а единая структура шин упрощает монтаж конструктивных элементов, контролирующих межфазные расстояния и изоляционные промежутки.

Распределительное устройство напряжением 6 кВ подстанции конструктивно выполнено закрытым с применением комплектных камер внутренней установки (ЗРУ-6 кВ). Оно выполнено по схеме 10-9 «Одна секционированная система шин», основные преимущества которой описаны в работе при описании аналогичной схемы в РУ-35 кВ [4].

Таким образом установлено, что все схемные решения, принятые на ПС-35/6 кВ «Пашшорская», являются стабильной основой для построения гибкой и надёжной сети, обеспечивая достаточное резервирование и повышая уровень управляемости, что отвечает требованиям долгосрочной эксплуатации в условиях непрерывного роста потребления.

Также установлено, что всё оборудование подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» - новое и современное, не требующее замены.

В КРУ-35 кВ и ЗРУ-6 кВ подстанции применяются современное оборудование, основой которого являются выключатели вакуумного типа, обеспечивающие надёжную защиту и коммутацию электрической сети.

Также используются современные решения в сфере измерений электрической энергии на подстанции, с непосредственным применением измерительных трансформаторов тока и напряжения.

Защита от атмосферных и коммутационных (внутренних) перенапряжений обеспечивается ограничителями перенапряжения (ОПН).

Все электрические аппараты проверяются на соответствие нормальным и послеаварийным условиям электрической цепи подстанции 35/6 кВ в работе далее.

## **1.2 Характеристика потребителей электрической части подстанции 35/6 кВ «Пашшорская»**

Основными электрическими нагрузками (потребителями) подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» являются кусты нефтяных месторождений, на которых установлено оборудование для нефтедобычи.

При этом в результате реконструкции увеличилась нагрузка нефтяных месторождений (в связи с открытием новых и расширением существующих).

Данный аспект обуславливает необходимость проведения реконструкции подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» путём подключения новых потребителей на незанятые ячейки ЗРУ-6 кВ. «Основные электрические нагрузки подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» формируются оборудованием, обеспечивающим электроснабжение кустов нефтяных месторождений. Центральное место среди потребителей подстанции 35/6 кВ» [12] «Пашшорская» занимают два типа электроустановок:

- блочные комплектные трансформаторные подстанции напряжением 6/0,4 кВ, понижающие напряжение до уровня 0,4 кВ для питания оборудования на номинальном напряжении 0,38/0,22 кВ (БКТП-6/0,4 кВ);
- блочные кустовые насосные станции (БКНС-6 кВ), которые необходимы для перекачивания жидкостей с помощью мощных насосов.

БКТП-6/0,4 кВ предназначены для понижения напряжения 6 кВ, поступающего от РУ-6 кВ подстанции 35/6 кВ «Пашшорская», до уровня 0,4

кВ, необходимого для питания конечных потребителей (насосов, компрессоров, систем управления и автоматизации нефтедобычи).

БКТП-6/0,4 кВ, представленная на рисунке 1, состоит из металлического корпуса с герметичной конструкцией, в котором размещены силовые трансформаторы, распределительные устройства высокого и низкого напряжения (соответственно, РУ-6 кВ и РУ-0,4 кВ), устройства релейной защиты и автоматики (РЗА), а также системы учета электроэнергии.



Рисунок 1 – БКТП-6/0,4 кВ

Данные подстанции обеспечивают подачу электроэнергии к технологическому оборудованию, такому как электроцентробежные насосы, скважинные насосные установки, системы управления запорно-регулирующей арматурой и оборудование контрольно-измерительных приборов.

БКТП-6/0,4 кВ отличаются компактностью, модульностью и высоким уровнем автоматизации, что позволяет обеспечить бесперебойное электроснабжение кустов нефтяных месторождений даже в условиях сложного рельефа и сурового климата.

Кроме того, данные подстанции 6/0,4 кВ предназначены для питания вспомогательных объектов: административно-хозяйственных корпусов,

пунктов обслуживания оборудования, складских помещений, а также объектов транспортной и инженерной инфраструктуры месторождений.

Основной задачей таких подстанций является надежное электроснабжение объектов, не связанных напрямую с добычей нефти, но необходимых для нормального функционирования всего комплекса нефтедобычи.

Блочные кустовые насосные станции (БКНС-6 кВ) представляют собой технологические комплексы, предназначенные для перекачки жидкости в нефтегазовой промышленности.

Конструкция данных станций, представленная на рисунке 2, включает в себя модульное оборудование, собранное в едином корпусе.

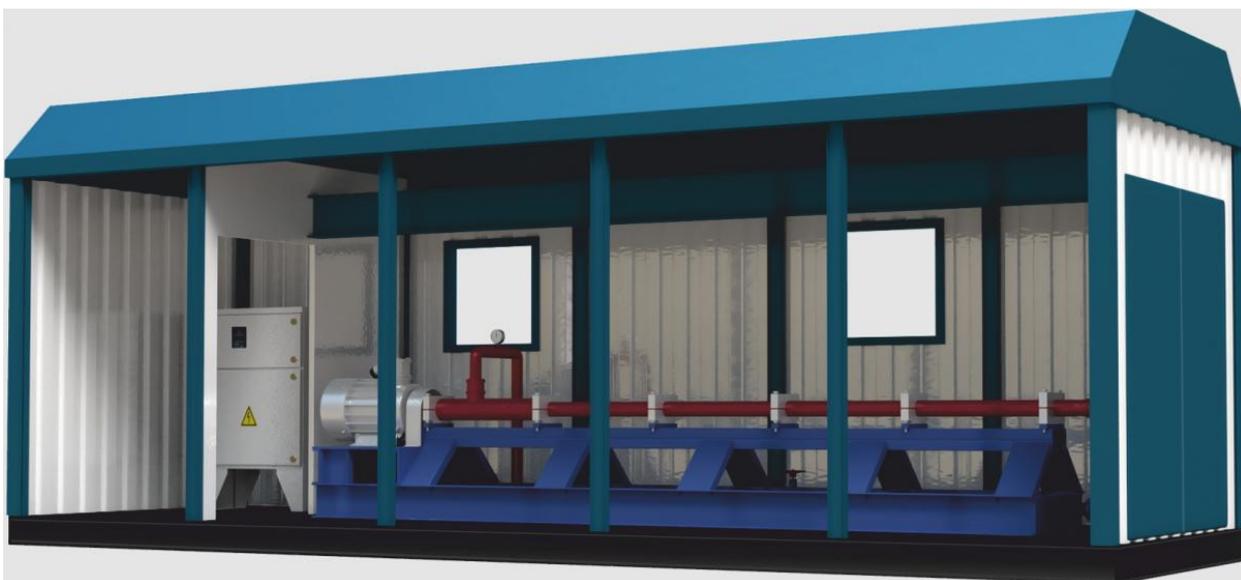


Рисунок 2 – Конструкция БКНС-6 кВ

Основным элементом БКНС является насосный блок, состоящий из одного или нескольких центробежных насосов, работающих в заданных режимах. Насосы приводятся в действие электродвигателями, которые питаются от высоковольтной сети напряжением 6 кВ.

Электроприводы имеют современную систему управления и защиты, что позволяет регулировать параметры подачи жидкости и предотвращать аварийные режимы работы.

Конструкция БКНС включает также вспомогательные системы: маслонасосные установки, системы охлаждения, автоматического управления, фильтрации и резервирования.

Назначение БКНС-6 кВ заключается в обеспечении стабильного процесса перекачки жидкости, связанной с добычей, транспортировкой и переработкой углеводородов.

Такие насосные станции используются для поддержания заданного давления в системе сбора и подготовки продукции скважин, для перекачки товарной нефти на магистральные нефтепроводы, а также для закачки воды или других реагентов в пласт для повышения нефтеотдачи.

Благодаря компактному блочному исполнению, БКНС-6 кВ могут быть размещены в непосредственной близости от кустов скважин, что позволяет минимизировать потери давления в трубопроводах и повысить общую эффективность системы транспортировки.

Применение БКНС-6 кВ широко распространено в нефтегазовой отрасли, где требуется надёжное и автоматизированное оборудование, способное работать в сложных климатических условиях и удалённых местностях.

Данные станции используются на кустах нефтяных месторождений, в системах сбора и подготовки продукции, а также в инфраструктуре магистральных трубопроводов.

Модульная конструкция позволяет быстро монтировать и вводить в эксплуатацию БКНС-6 кВ, а применение высоковольтного питания обеспечивает снижение электрических потерь и повышение энергетической эффективности системы.

Высокий уровень автоматизации, заложенный в конструкцию этих станций, способствует оптимизации работы всей системы нефтедобычи, снижению эксплуатационных затрат и повышению надёжности энергоснабжения насосных агрегатов.

«Таким образом, оборудование, питающееся на напряжении 6 кВ от подстанции «Пашшорская», включает в себя БКТП-6/0,4 кВ и БКНС-6 кВ для питания технологических процессов нефтедобычи и обеспечения электроснабжения вспомогательной инфраструктуры.

Оба типа оборудования играют ключевую роль в поддержании стабильной работы нефтяных месторождений и требуют надежного электроснабжения на всех этапах их эксплуатации.

Исходные данные нагрузки подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» [12] представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные по нагрузке подстанции 35/6 кВ «Пашшорская»

Диспетчерское наименование потребителя	Категория надёжности большинства потребителей	Проектная нагрузка потребителя, кВт	Перспективная нагрузка потребителя в результате реконструкции, кВт
Первая секция сборных шин 6 кВ			
ТСН-160	1,2	80,0	-
Ф-20, Куст №3	1,2	300,0	-
Ф-18	1,2	250,0	-
Ф-16	1,2	350,0	-
Ф-14, ввод №2, ДНС	1,2	380,0	-
Ф-12, Верхний Грубешор	1,2	300,0	-
Ф-8, ЗРУ-6 кВ БКНС яч.13	1,2	250,0	-
Ф-6 Резерв (после реконструкции – ДЭС-1)	1,2	-	500,0
Всего по СШ-1	1,2	1910,0	500,0
Ф-5, Резерв (после реконструкции – ДЭС-2)	1,2	-	500,0
Ф-7, ЗРУ-6 кВ, БКНС, яч.1	1,2	250,0	-
Ф-11, Резерв (после реконструкции – ЗРУ-6 кВ, БКНС, яч.1)	1,2	-	250,0
Ф-13, Ввод № 1 ДНС	1,2	300,0	-
Ф-15	1,2	350,0	-
Ф-17	1,2	350,0	-
Ф-19, Резерв (после реконструкции – куст скв. 48)	1,2	-	350,0
ТСН-160	1,2	80,0	-
Всего по СШ-2	1,2	1330,0	1100,0
Всего по подстанции 35/6 кВ «Пашшорская»	1,2	3240,0	1600,0

Таким образом, в результате проведения анализа исходных данных установлено следующее:

- все схемные решения, принятые на ПС-35/6 кВ «Пашшорская», являются стабильной основой для построения гибкой и надёжной сети, обеспечивая достаточное резервирование и повышая уровень управляемости, что отвечает требованиям долгосрочной эксплуатации в условиях непрерывного роста потребления электроэнергии;
- всё оборудование подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» - новое и современное, не требующее замены;
- центральное место среди потребителей подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» занимают два типа электроустановок: блочные комплектные трансформаторные подстанции напряжением 6/0,4 кВ, понижающие напряжение до уровня 0,4 кВ для питания оборудования на номинальном напряжении 0,38/0,22 кВ (БКТП-6/0,4 кВ), а также блочные кустовые насосные станции (БКНС-6 кВ), которые необходимы для перекачивания жидкостей с помощью мощных насосов;
- реконструкция схемы главных электрических соединений подстанции обусловлена увеличением нагрузки нефтяных месторождений (в связи с открытием новых и расширением существующих). Данный аспект обуславливает необходимость проведения реконструкции подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» путём подключения новых потребителей на незанятые ячейки ЗРУ-6 кВ;
- определено, что перспективная нагрузка потребителей в результате реконструкции подстанции увеличилась на 1600 кВт, таким образом, суммарная нагрузка подстанции с учётом данного факта составила 4840 кВт.

Все приведённые решения по реконструкции подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» проверяются при дальнейших исследованиях.

Выводы по разделу.

Определено, что в качестве объекта исследования в работе рассматривается одна из понизительных подстанций 35/6 кВ «Пашшорская» ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ».

Установлено, что основная сфера деятельности предприятия охватывает эксплуатацию и модернизацию подстанций, линий электропередачи и высоковольтных узлов, задействованных при снабжении промышленных объектов группы «ЛУКОЙЛ». Показано, что объём финансовых вложений на предприятии позволит провести планируемую реконструкцию подстанции.

Установлено, что по расположению в энергосистеме предприятия, рассматриваемая подстанция 35/6 кВ «Пашшорская» является узловой, обеспечивая транзит и резервирование мощностей в энергосистеме организации, а также перераспределение мощностей в узлах системы. Известно, что такой тип подстанций является важнейшим в региональных электрических сетях всех типов.

Проведено описание схемных решений, принятых на узловой подстанции 35/6 кВ «Пашшорская». Установлено, что на объекте исследования расположены два распределительных устройства (35 кВ и 6 кВ), а также два силовых трехобмоточных трансформатора марки ТМН-6300/35 (Т1) и ТМН-6300/35 (Т2). Таким образом, в результате проведения анализа исходных данных, установлено следующее:

- все схемные решения, принятые на ПС-35/6 кВ «Пашшорская», являются стабильной основой для построения гибкой и надёжной сети, обеспечивая достаточное резервирование и повышая уровень управляемости, что отвечает требованиям долгосрочной эксплуатации в условиях непрерывного роста потребления электроэнергии;
- всё оборудование подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» - новое и современное, не требующее замены;

- центральное место среди потребителей подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» занимают два типа электроустановок: блочные комплектные трансформаторные подстанции напряжением 6/0,4 кВ, понижающие напряжение до уровня 0,4 кВ для питания оборудования на номинальном напряжении 0,38/0,22 кВ (БКТП-6/0,4 кВ), а также блочные кустовые насосные станции (БКНС-6 кВ), которые необходимы для перекачивания жидкостей с помощью мощных насосов;
- реконструкция схемы главных электрических соединений подстанции обусловлена увеличением нагрузки нефтяных месторождений (в связи с открытием новых и расширением существующих). Данный аспект обуславливает необходимость проведения реконструкции подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» путём подключения новых потребителей на незанятые ячейки ЗРУ-6 кВ;
- определено, что перспективная нагрузка потребителей в результате реконструкции подстанции увеличилась на 1600 кВт, таким образом, суммарная нагрузка подстанции с учётом данного факта составила 4840 кВт.

Все приведённые решения по реконструкции подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ» проверяются при дальнейших исследованиях.

## 2 Расчет электрических нагрузок

Расчёт электрических нагрузок подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ», выполненный методом коэффициента спроса с учётом коэффициента одновременности максимума нагрузок, является обязательным этапом проектирования системы электроснабжения нефтедобывающих объектов.

Данный метод позволяет с высокой степенью точности определить максимально возможную нагрузку, возникающую на питающих элементах подстанции при одновременной работе подключённых электроприёмников, что особенно важно в условиях предприятия нефтяной промышленности, где точность прогнозирования нагрузок существенно влияет на надёжность энергоснабжения и минимизацию эксплуатационных затрат.

Методика основана на использовании коэффициентов спроса, которые учитывают реальное потребление электроэнергии отдельными группами электроприёмников по отношению к их номинальной мощности. Коэффициент спроса отражает усреднённую нагрузку оборудования и учитывает неравномерность включения и использования мощных технологических агрегатов, насосных станций, систем подготовки нефти и кустовых насосных станций на объектах нефтяного производства.

Для более точной оценки максимальных нагрузок дополнительно используется коэффициент одновременности, который характеризует вероятность одновременного включения различных электроприёмников в моменты пиковых нагрузок.

Сочетание коэффициента спроса и коэффициента одновременности позволяет максимально точно смоделировать реальные режимы работы подстанции и повысить эффективность выбранного оборудования, избегая его неоправданного завышения по мощности или, напротив, недостаточной загрузки.

При этом для определения коэффициентов используются статистические данные о режиме работы нефтяного оборудования, накопленные в процессе эксплуатации аналогичных объектов, а также нормативные показатели, представленные в отраслевых справочниках и правилах устройства электроустановок.

В результате выполнения расчётов определяется совокупная расчётная нагрузка подстанции, на основании которой производится дальнейший выбор силовых трансформаторов, коммутационно-защитного оборудования и кабельных линий электропередачи.

Правильно определённая нагрузка обеспечивает оптимальные условия для стабильной работы системы электроснабжения и предотвращает возможные перегрузки и аварийные режимы.

Таким образом, расчёт электрических нагрузок подстанции 35/6 кВ «Пашшорская», выполненный методом коэффициента спроса с применением коэффициента одновременности максимума нагрузок, даёт возможность достоверно определить максимальные токовые значения в элементах электрической сети, обеспечить заданную надёжность электроснабжения нефтяных объектов и минимизировать издержки на реконструкцию и дальнейшую эксплуатацию энергетического оборудования ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ».

«Расчёт максимальной нагрузки подстанции 35/6 кВ проводится по следующему алгоритму: проводится расчёт для отдельных присоединений, далее рассчитывается нагрузка на сборных шинах соответствующего напряжения, затем определяется суммарная нагрузка подстанции.

Максимальная расчётная активная нагрузка присоединений подстанции, кВт» [9]:

$$P_p = P_n \cdot K_c, \quad (1)$$

где « $P_n$  – номинальная (паспортная) активная нагрузка, кВт;

$K_c$  – значение коэффициента спроса» [9].

«Так как подстанция работает в непрерывном продолжительном режиме круглосуточно, принимается значение  $K_c = 1$ .

Максимальная расчётная полная нагрузка присоединений подстанции, кВА» [9]:

$$S_P = \frac{P_P}{\cos \varphi}, \quad (2)$$

где  $\cos \varphi$  - «коэффициент активной мощности, о.е.» [9].

«Максимальная расчётная реактивная нагрузка присоединений подстанции, квар» [9]:

$$Q_P = \sqrt{S_P^2 - P_P^2}. \quad (3)$$

«Суммарная нагрузка на сборных шинах 6 кВ (нагрузка потребителей), а также суммарная нагрузка на сборных шинах 35 кВ (нагрузка всей подстанции) 35/6 кВ» [9]:

$$P_{p.i} = K_o \cdot \sum_{i=1}^n P_p, \quad (4)$$

$$Q_{p.i} = K_o \cdot \sum_{i=1}^n Q_p, \quad (5)$$

$$S_{p.i} = \sqrt{P_{p.i}^2 + Q_{p.i}^2}, \quad (6)$$

где  $P_{p.i}$ ,  $Q_{p.i}$ ,  $S_{p.i}$  - «соответственно, значение расчётной активной,

реактивной и полной нагрузки на сборных шинах подстанции  $i$  – напряжения (6 кВ);

$K_o$  – коэффициент одновременности максимума нагрузок на сборных шинах подстанции соответствующего напряжения, о.е.

(поскольку режим работы потребителей подстанции – круглосуточный со стабильной и неизменной потребляемой нагрузкой, принимается значение  $K_o = 1$ )» [9].

«При этом значение расчётного тока нагрузки» [9]:

$$I_{p.} = \frac{S_{p.}}{\sqrt{3} \cdot U_{н.}}, \quad (7)$$

где « $U_{н.}$  – номинальное напряжение, кВ» [9].

«Расчёт электрических нагрузок проводится на примере линии потребителей секции сборных шин напряжением 6 кВ (присоединение Ф-20, Куст №3).

Расчётная активная, реактивная и полная нагрузки, а также значение расчётного тока» [9] для данной линии, получающей питание от 35/6 кВ на напряжении 6 кВ, определяются, соответственно, по приведённым ранее формулам (1), (2), (3) и (7):

$$P_p = 300 \cdot 1 = 300 \text{ кВт},$$

$$S_p = \frac{300}{0,85} = 352,9 \text{ кВА},$$

$$Q_p = \sqrt{352,9^2 - 300^2} = 185,8 \text{ квар},$$

$$I_{p.} = \frac{352,9}{\sqrt{3} \cdot 6} \approx 34,0 \text{ А}.$$

Полученные результаты расчёта для питания потребителей данной линии (Ф-20, Куст №3) занесены в таблицу 2.

Последующий расчет электрических нагрузок подстанции 35/6 кВ производится аналогично, результаты занесены в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты расчёта электрических нагрузок на подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» после проведения реконструкции

Диспетчерское наименование потребителя	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА	$I_p$ , А
Первая секция сборных шин 6 кВ				
ТСН-160-1	80,0	26,3	84,2	8,1
Ф-20, Куст №3	300,0	185,8	352,9	34,0
Ф-18	250,0	154,9	294,1	28,3
Ф-16	350,0	217,0	411,8	39,6
Ф-14, ввод №2, ДНС	380,0	124,9	400,0	38,5
Ф-12, Верхний Грубешор	300,0	185,8	352,9	34,0
Ф-8, ЗРУ-6 кВ БКНС яч.13	250,0	154,9	294,1	28,3
ДЭС-1	500,0	164,3	526,3	50,7
Всего по СШ-1 ( $K_o = 1$ )	2410,0	1213,9	2716,3	261,4
Вторая секция сборных шин 6 кВ				
ДЭС-2	500,0	164,3	526,3	50,7
Ф-7, ЗРУ-6 кВ, БКНС, яч.1	250,0	154,9	294,1	28,3
ЗРУ-6 кВ, БКНС, яч.1	250,0	154,9	294,1	28,3
Ф-13, ввод №1 ДНС	300,0	185,8	352,9	34,0
Ф-15	350,0	217,0	411,8	39,6
Ф-17	350,0	217,0	411,8	39,6
Куст скв. 48	350,0	217,0	411,8	39,6
ТСН-160-2	80,0	26,3	84,2	8,1
Всего по СШ-2 ( $K_o = 1$ )	2430,0	1337,2	2787,0	268,2
Всего по подстанции 35/6 кВ «Пашшорская»	4840,0	2550,0	5470,7	526,5

Результаты используются для выбора и проверки технических решений на подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» в результате внедрения мероприятий по её реконструкции.

Выводы по разделу.

Получены результаты расчётов максимальных нагрузок подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» в результате внедрения мероприятий по её реконструкции:

- отдельных присоединений 6 кВ;
- секций сборных шин 6 кВ;
- суммарной нагрузки подстанции.

При расчёте нагрузки подстанции применялся рекомендованный метод коэффициента спроса с применением коэффициентов максимума одновременности максимумов нагрузки.

### 3 Проверка силовых трансформаторов подстанции

Проверка существующих трансформаторов Т-1 и Т-2 марки ТМН-6300/35 на подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» на соответствие возросшей нагрузке является обязательным условием для подтверждения их работоспособности и обеспечения надёжности электроснабжения после реконструкции.

Вследствие увеличения нагрузки, вызванной ростом технологического потребления кустовых нефтяных объектов, возникла необходимость тщательного анализа нагрузочной способности данных силовых трансформаторов не только в нормальном эксплуатационном, но и в послеаварийном режиме.

«Расчётная мощность силового трансформатора для установки на двухтрансформаторной подстанции» [10]:

$$S_{\text{ном.т.р.}} \geq \frac{S_{p.ПС}}{2 \cdot 0,7}, \quad (8)$$

где « $S_{p.ПС}$  – расчётная суммарная нагрузка подстанции» [10].

Выбор силовых трансформаторов подстанции в связи с её реконструкцией, по формуле (8):

$$S_{\text{ном.т.р.}} \geq \frac{5470,7}{2 \cdot 0,7} \approx 3907,6 \text{ кВА.}$$

Исходя из полученных значений расчётной мощности трансформаторов, принимается их ближайшая стандартная мощность в классе 35/6 кВ, равная 6300 кВА. Таким образом, для применения на объекте предварительно выбраны два силовые трансформатора марки ТМН-6300/35, которые совпадают с ранее установленными трансформаторами [17].

В нормальном режиме работы силовые трансформаторы должны иметь резерв по мощности не менее рекомендуемого нормативного уровня, что позволяет обеспечить нормальный тепловой режим и продлить срок службы оборудования.

Данная проверка проводится путём сравнения установленной расчётной мощности нагрузки, определённой в результате расчёта электрических нагрузок методом коэффициента спроса с учётом коэффициента одновременности, с номинальной мощностью трансформаторов.

При этом принимается во внимание допустимая продолжительная загрузка трансформаторов, соответствующая паспортным характеристикам оборудования и нормативным документам.

Если расчётная нагрузка не превышает 70% номинальной мощности трансформатора, считается, что трансформатор соответствует условиям нормального режима эксплуатации [3]:

$$K_{3.H} = \frac{S_{p.ПС}}{2 \cdot S_{T.НОМ}} \leq 0,7. \quad (9)$$

Условие проверки по формуле (9) выполняется:

$$K_{3.H} = \frac{5470,7}{2 \cdot 6300} = 0,44 \leq 0,7.$$

В послеаварийном режиме проверка трансформаторов заключается в анализе возможности работы одного из них в одиночном режиме при отключении другого по причине аварии или проведения профилактических работ. При этом один трансформатор должен обеспечить временное питание всех присоединённых потребителей подстанции.

В таком случае допустимая кратковременная перегрузка трансформатора, согласно действующим нормам и правилам эксплуатации

электроустановок, может достигать до 140% от номинальной мощности в течение ограниченного времени, не превышающего несколько часов, без снижения надёжности оборудования и угрозы повреждений изоляции и обмоток [3]:

$$K_{3.П} = \frac{S_{ПС}}{S_{Т.НОМ}} \leq 1,4. \quad (10)$$

Условие проверки по формуле (10) выполняется:

$$K_{3.П} = \frac{5470,7}{6300} = 0,88 \leq 1,4.$$

Расчётным путём установлено, что выбранные силовые трансформаторы соответствуют условиям проверки по расчётной нагрузке потребителей ПС-35/6 кВ «Пашшорская» вследствие увеличения её нагрузки, а также отвечают условиям проверки по всем критериям нагрузочной способности.

Выводы по разделу.

В результате проведённых расчётов и анализа нагрузочной способности силовых трансформаторов Т-1 и Т-2 марки ТМН-6300/35 подстанции 35/6 кВ «Пашшорская», было установлено, что указанные трансформаторы полностью отвечают требованиям к нормальному режиму работы, сохраняя необходимый запас по мощности. Также установлено, что трансформаторы способны кратковременно выдерживать послеаварийную перегрузку в пределах допустимых нормативных значений.

Следовательно, установленные на подстанции трансформаторы ТМН-6300/35 не нуждаются в замене, что подтверждает обоснованность их дальнейшей эксплуатации после реконструкции объекта и увеличения нагрузки.

#### **4 Расчёт токов короткого замыкания**

Расчёт токов короткого замыкания на подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» представляет собой важный и обязательный этап реконструкции данного энергетического объекта, поскольку величина токов короткого замыкания существенно влияет на выбор и проверку электрооборудования по термической и электродинамической стойкости.

Вследствие реконструкции подстанции и значительного роста электрических нагрузок новых потребителей, необходимо уточнить величины возможных аварийных токов и, исходя из этих данных, выбрать оборудование, обеспечивающее безопасность и надёжность электроснабжения.

Актуальность расчёта токов короткого замыкания обусловлена тем, что короткие замыкания характеризуются высокими аварийными токами, которые существенно превышают номинальные режимы работы оборудования, вызывая механические и тепловые воздействия на элементы электрических сетей. Данный аспект, в свою очередь, создаёт угрозу повреждений трансформаторов, выключателей, кабельных и воздушных линий, распределительных устройств, а также может привести к перебоям электроснабжения потребителей. Для предотвращения негативных последствий аварийных ситуаций и минимизации рисков выхода оборудования из строя, расчёт токов КЗ является обязательной процедурой при проектировании и эксплуатации энергосистем.

Расчёт токов КЗ на подстанции «Пашшорская» проводится в соответствии с методикой симметричных составляющих с использованием эквивалентных схем замещения и параметров всех элементов рассматриваемой электрической сети. При «расчёте токов короткого замыкания учитываются электрические характеристики источников питания энергосистемы, силовых трансформаторов, удельные параметры линий электропередачи, а также конфигурация распределительных устройств» [14] и схемы соединений подстанции.

В результате расчётов определяется величина начального периодического тока КЗ, который характеризует тепловое воздействие на оборудование в начальный момент аварии, и ударный ток КЗ, характеризующий пиковые механические нагрузки в первые миллисекунды аварийного процесса. Наибольшие значения этих токов обычно наблюдаются непосредственно на выводах трансформаторов и сборных шин распределительных устройств, что обусловлено минимальным электрическим сопротивлением данных участков сети.

Величины токов КЗ рассчитываются отдельно для «уровней напряжения 35 кВ и 6 кВ, с учётом параметров используемых силовых трансформаторов ТМН-6300/35, линий электропередачи, конфигурации распределительных устройств и схемы сети, которая была изменена после реконструкции подстанции. При этом на подстанции остается только один силовой трансформатор, и она получает питание по одной цепи воздушной линии 35 кВ» [14] (максимальный режим).

Поэтому расчёт токов КЗ проводится в данных точках (точки К1 и К2), которые отмечены на расчётной схеме рисунка 3.

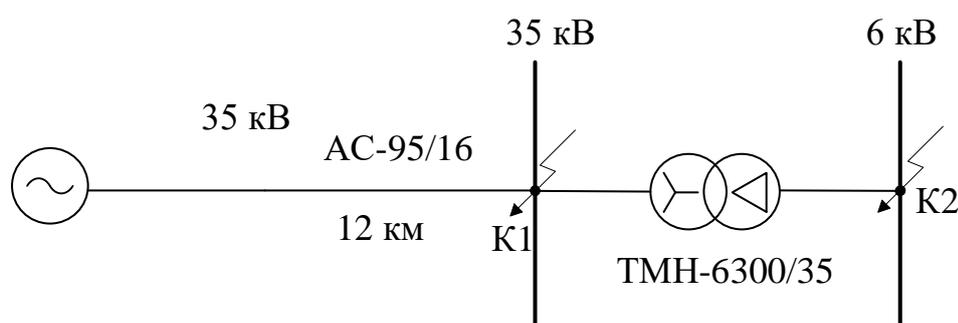


Рисунок 3 – Расчётная схема для определения токов КЗ на выводах силового трансформатора подстанции 35/6 кВ в максимальном режиме

«Схема замещения для определения токов КЗ на объекте, показанная на рисунке 4, позволяет правильно упростить схему до элементарного вида и рассчитать все сопротивления элементов, что позволит найти эквивалентные сопротивления для определения токов КЗ в каждой расчётной точке» [14].

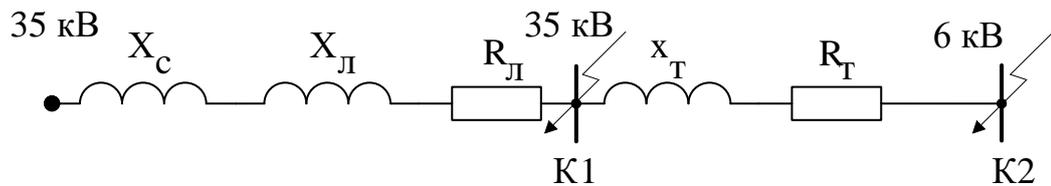


Рисунок 4 – Схема замещения для определения токов КЗ на выводах силового трансформатора подстанции 35/6 кВ в максимальном режиме

«Используя расчётную схемы и построенную по ней схему замещения, проводится непосредственный расчёт токов КЗ на выводах силового трансформатора подстанции в максимальном режиме.

Максимальные значения напряжений для ступеней схемы замещения принимается большим в 1,05 раза номинальных напряжений, так как расчёт токов КЗ проводится на выводах силового трансформатора подстанции 35/6 кВ в максимальном режиме» [14]:

$$U_{\bar{o}} = 1,05 \cdot U_{ном}, \quad (11)$$

где  $U_{ном}$  – номинальное напряжение ступени, кВ.

Таким образом, соответственно, для ступеней напряжения 35 кВ и 6 кВ схемы замещения, значения базисного напряжения по формуле (11):

$$U_{\bar{o}1} = 1,05 \cdot 35 = 38,5 \text{ кВ},$$

$$U_{\bar{o}2} = 1,05 \cdot 6 = 6,3 \text{ кВ}.$$

При расчёте в работе принимается единое базисное напряжение основной ступени ВН, равное 38,5 кВ.

К данному напряжению приводятся все полученные значения сопротивлений схемы замещения.

«Сопротивление энергосистемы» [14]:

$$X_c = \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot I_{к.макс}^{(3)}}, \quad (12)$$

$$X_c = \frac{35}{\sqrt{3} \cdot 1,5} = 13,47 \text{ Ом.}$$

«Сопротивления питающей линии электропередачи 35 кВ» [14]:

$$R_l = r_{уд} \cdot L, \quad (13)$$

$$X_l = x_{уд} \cdot L, \quad (14)$$

где « $r_{уд}$ ,  $x_{уд}$  – соответственно, удельные активное и реактивное сопротивление питающей ВЛ-35 кВ, Ом/км;

$L$ - суммарная длина питающей ВЛ-35 кВ, км» [14].

«Для питающей ВЛ-35 кВ реконструируемой подстанции 35/6 кВ» [14]:

$$R_l = 0,46 \cdot 12 = 5,52 \text{ Ом,}$$

$$X_l = 0,275 \cdot 12 = 3,3 \text{ Ом.}$$

«Технические данные трансформатора ТМН-6300/35:  $U_{вн}=38,5$  кВ;  $U_{нн}=6,3$  кВ;  $U_k=7,5$  %; ПБВ  $\pm 2 \cdot 2,5$ %;  $\Delta P_k=46,5$  кВт» [17].

«Активное сопротивление силового трансформатора» [14]:

$$R_m = \frac{\Delta P_k \cdot 10^{-3} \cdot U_b^2}{S_{ном.т.}^2}, \quad (15)$$

$$R_m = \frac{46,5 \cdot 10^{-3} \cdot 38,5^2}{6,3^2} = 1,74 \text{ Ом.}$$

«Индуктивное сопротивление силового трансформатора» [14]:

$$X_m = \frac{U_{к,\%} \cdot U_{\delta}^2}{100 \cdot S_{ном.т.}^2}, \quad (16)$$

$$X_m = \frac{7,5 \cdot 38,5^2}{100 \cdot 6,3^2} = 2,8 \text{ Ом.}$$

«Следующий этап расчёта предусматривает упрощение схемы к каждой точке короткого замыкания и проведения расчёта токов КЗ в них.

Суммарное сопротивление до расчётной точки К1» [14]:

$$X_{\Sigma 1} = X_c + X_l, \text{ Ом,} \quad (17)$$

$$R_{\Sigma 1} = R_l, \text{ Ом,} \quad (18)$$

$$X_{\Sigma 1} = 13,47 + 3,3 = 16,77 \text{ Ом,}$$

$$R_{\Sigma 1} = 5,52 \text{ Ом,}$$

$$Z_{\Sigma 1} = \sqrt{R_{\Sigma 1}^2 + X_{\Sigma 1}^2}, \quad (19)$$

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{16,77^2 + 5,52^2} = 17,66 \text{ Ом.}$$

При выполнении расчётов, прежде всего, определяется начальное значение тока трёхфазного короткого замыкания, поскольку именно этот вид КЗ является наиболее тяжёлым и оказывает наибольшее влияние на работу оборудования.

Также обязательным этапом является расчёт ударного тока короткого замыкания, характеризующего электродинамические нагрузки на элементы оборудования подстанции.

Как известно, начальное значение периодической составляющей трёхфазного тока короткого замыкания и ударный ток на выводах силового трансформатора в режиме максимальной загрузки характеризуют высоту пики и интенсивность электродинамических воздействий, возникающих в первые мгновения аварии.

При этом периодическая составляющая определяет амплитуду устоявшегося короткого замыкания и указывает на динамику потоков энергии в элементах сети, а ударный ток отражает мгновенную перегрузку оборудования, вызывающую пиковые механические усилия в его узлах.

Таким образом, оценка обоих параметров подчиняется требованиям надёжности и безопасности, поскольку правильно рассчитанные значения позволяют оптимизировать как собственно систему защиты, так и механическую прочность основного оборудования для установки в РУ всех классов напряжения на подстанции.

«Ток трехфазного короткого замыкания в расчётных точках подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» Республики Коми» [14]:

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{U_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}}, A. \quad (20)$$

«Ток КЗ в точке К1» [14]:

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{38,5}{\sqrt{3} \cdot 17,66} = 1,26 \text{ кА}.$$

«Ударный ток короткого замыкания» [14]:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot \kappa_{\text{уд}} \cdot I_{\kappa}^{(3)}, \text{ кА}, \quad (21)$$

где « $\kappa_{\text{уд}}$  – ударный коэффициент тока короткого замыкания» [14].

«Ударный ток для расчётной точки К1» [14]:

$$i_{\text{уд.к1}} = \sqrt{2} \cdot 1,6 \cdot 1,26 = 2,86 \text{ кА}.$$

«Аналогично определены результирующие сопротивления, начальное значение периодической составляющей тока трёхфазного КЗ, а также значение ударного тока в расчётной точке К2 (выводы трансформатора 6 кВ)» [14]:

$$X_{\Sigma 2} = X_{\Sigma 1} + X_m, Ом, \quad (22)$$

$$R_{\Sigma 2} = R_{\Sigma 1} + R_r, Ом, \quad (23)$$

$$X_{\Sigma 2} = 16,77 + 1,74 = 18,51 Ом,$$

$$R_{\Sigma 2} = 5,52 + 2,8 = 8,32 Ом,$$

$$Z_{\Sigma 2} = \sqrt{R_{\Sigma 2}^2 + X_{\Sigma 2}^2}, \quad (24)$$

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{18,51^2 + 8,32^2} = 26,83 Ом,$$

$$I_{к2}^{(3)} = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot 26,83} \left(\frac{38,5}{6,3}\right)^2 = 5,06 кА.$$

$$i_{уд.к2} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 5,06 \approx 10,0 кА.$$

Результаты расчёта двухфазного тока короткого замыкания на выводах силового трансформатора подстанции 35/6 кВ используются при определении надёжности и чувствительности релейной защиты, поскольку двухфазные режимы характеризуются отличным от трёхфазных аварий распределением тока и напряжения и двухфазный ток КЗ считается минимальным расчётным током при проверке указанных параметров.

Значение двухфазного тока КЗ упрощённо определяется с учётом максимального значения тока трёхфазного КЗ по соотношению:

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_K^{(3)}. \quad (25)$$

«Расчёт токов двухфазного КЗ» [14] по формуле (25):

$$I_{K1}^{''(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,26 = 1,09 \text{ кА},$$

$$I_{K2}^{''(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 5,06 = 4,38 \text{ кА}.$$

Результаты расчёта токов КЗ подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» в максимальном режиме представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Токи короткого замыкания в основных расчётных точках КЗ

Параметр и единица его измерения	Значение параметра в расчётной точке	
	K1 (35 кВ)	K2 (6 кВ)
$I_K^{(3)}$ , кА	1,26	5,06
$i_{y\partial}$ , кА	2,86	10,00
$I_K^{(2)}$ , кА	1,09	4,38

Таким образом, проведённый расчёт токов короткого замыкания на подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» позволяет обеспечить надёжность и безопасность эксплуатации электрооборудования после её реконструкции, а также подтвердить соответствие выбранных элементов энергосистемы требованиям по термической и электродинамической стойкости к возможным аварийным воздействиям. Указанные проверки проводятся в работе далее.

Выводы по разделу.

Показано, что проведённый расчёт токов короткого замыкания позволяет обеспечить надёжность и безопасность эксплуатации электрооборудования после реконструкции подстанции, а также подтвердить соответствие выбранных элементов энергосистемы требованиям по термической и электродинамической стойкости к возможным аварийным воздействиям, создавая условия для бесперебойного электроснабжения потребителей данной подстанции.

## **5 Выбор и проверка токоведущих частей и электрических аппаратов**

### **5.1 Выбор и проверка токоведущих частей на подстанции напряжением 35 кВ и 6 кВ**

В результате проведения реконструкции, на сторонах 35 кВ и 6 кВ подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» необходимо:

- проверить сечение провода питающей воздушной линии марки АС-95/16 для обеспечения электроснабжения двух силовых трансформаторов марки ТМН-6300/35, проверенных ранее на соответствие увеличившейся нагрузке в результате внедрения мероприятий по реконструкции подстанции;
- проверить сечение двух транзитных линий 35 кВ к подстанции «Юрьяха», на соответствие увеличившейся нагрузке (ранее на данных линиях были использованы проводники марки АС-95/16);
- выбрать сечение силовых кабелей напряжением 6 кВ новых кабельных линий, введённых в эксплуатацию в результате внедрения мероприятий по реконструкции подстанции, а также проверить сечение существующих кабельных линий напряжением 6 кВ, отходящих к потребителям подстанции.

При этом, с целью экономии ресурсов, на линиях 35 кВ и 6 кВ предлагается применять аналогичный тип и марки проводников, которые были установлены до реконструкции.

Данное решение объясняется отсутствием необходимости полной замены существующей кабельно-проводниковой продукции, находящейся в исправном состоянии и имеющей достаточный остаточный ресурс для дальнейшей эксплуатации.

При этом предложенные к применению провода марки АС-95/16, используемые для воздушных линий напряжением 35 кВ, отличаются высокой механической прочностью и удовлетворительными электрическими

характеристиками, что гарантирует передачу электрической энергии с минимальными техническими потерями и достаточной пропускной способностью при увеличившейся нагрузке после реконструкции подстанции.

Проведение проверки существующего провода АС-95/16 подтверждает его соответствие по длительно допустимому току и напряжению новым эксплуатационным условиям, что исключает необходимость замены или усиления конструктивных элементов опор воздушных линий и снижает финансовые затраты на проведение работ.

На стороне 6 кВ подстанции в результате реконструкции были введены новые потребители, что вызвало необходимость выбора и проверки сечения кабельных линий напряжением 6 кВ.

Использование аналогичных ранее применявшихся кабелей напряжением марки ПВВнГ-LS-6-3×95/16 напряжением 6 кВ обусловлено их надёжной эксплуатацией в течение длительного периода времени. Кроме того, запас данных кабелей есть в наличии на объекте.

При этом технические характеристики используемых кабелей подтверждают их способность эффективно выдерживать нагрузки в нормальном и послеаварийном режимах работы с учётом планируемого прироста потребляемой мощности.

Применение однотипных кабелей облегчает вопросы технического обслуживания и ремонта, унифицирует запасные части и материалы, тем самым сокращая затраты на содержание и эксплуатацию электрической сети подстанции.

Проведённые расчёты позволяют с уверенностью подтвердить, что выбранные кабели и провода соответствуют действующим нормативным требованиям и обеспечивают необходимый уровень надёжности и безопасности эксплуатации оборудования и линий электропередачи.

При проверке сечений кабелей и проводов в реконструируемой схеме подстанции «Пашшорская» учитываются требования по пропускной способности проводников в нормальном режиме и допустимой перегрузочной

способности в послеаварийных ситуациях, а также условия их нагрева, механической прочности и термической стойкости при возможных коротких замыканиях.

«Выбор сечения проводников выше 1 кВ по экономической плотности тока» [16]:

$$F_э = \frac{I_{р.н.}}{j_э}, \quad (26)$$

где  $I_{р.н.}$  – «расчётный ток нормального режима, А;

$j_э$  – экономическая плотность тока, А/мм<sup>2</sup> (для проводников воздушных линий принимается  $j_э=1,1$  А/мм<sup>2</sup>, для проводников кабельных линий –  $j_э=1,6$  А/мм<sup>2</sup>) [13].

«Проверка выбранного сечения провода в нормальном режиме» [16]:

$$I_{доп} \geq I_p, \quad (27)$$

где « $I_{доп}$  – допустимое справочное значение тока проводника, А» [16].

«Проверка выбранного сечения провода в максимальном режиме» [16]:

$$I_{доп} \geq I_{р.маx}. \quad (28)$$

«Проверка выбранного сечения по механической прочности» [16]:

$$F_{ст} \geq F_{мин}, \text{ мм}^2. \quad (29)$$

«По приведённым условиям, проводится выбор сечения провода питающей воздушной линии 35 кВ подстанции 35/6 кВ.

Расчётный ток нормального режима для данной линии принимается с учётом выбранного трансформатора ТМН-6300/35» [16]:

$$I_{p.n} = \frac{S_{ном.т}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}, \quad (30)$$

где  $S_{ном.т}$  – «номинальная мощность трансформатора, кВА» [16];

$U_{ном.}$  – «номинальное напряжение, кВ» [13].

«Ток нормального режима для ввода 35 кВ подстанции» [16]:

$$I_{p.n} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 35} = 103,9 \text{ A.}$$

«Сечение питающей воздушной линии 35 кВ» [5]:

$$F_9 = \frac{103,9}{1,1} \approx 94,5 \text{ мм}^2.$$

«Для применения на объекте исследования, на стороне 35 кВ, выбирается провод марки АС-95/16 сечением 95 мм<sup>2</sup>» [5]. «Расчётный ток максимального режима на стороне 35 кВ подстанции» [16]:

$$I_{p.max} = 1,4 \cdot 103,9 = 145,46 \text{ A.}$$

«Проверка выбранного провода ВЛ-35 кВ по току выполняется» [16]:

$$330 \text{ A} \geq 103,9 \text{ A,}$$

$$330 \text{ A} \geq 145,46 \text{ A.}$$

«Условия механической прочности линии 35 кВ соблюдены» [16]:

$$95 \text{ мм}^2 \geq 70 \text{ мм}^2.$$

«Таким образом, на питающей ВЛ 35 кВ принимается провод марки АС-95/16» [5]. Кроме того, также на двух транзитных линиях 35 кВ также принято сечение проводников марки АС-95/16, так как мощность транзита не может превышать питающую мощность подстанции. Результаты выбора кабельных линий напряжением 6 кВ по источнику [6] приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты выбора проводников на ПС 35/6 кВ «Пашшорская» Республики Коми

Диспетчерское наименование потребителя	$I_p$ , А	$I_{p,max}$ , А	Марка проводника	$I_{доп.}$ , А
ВЛ-35кВ № 56 от ПС-6/35кВ	94,8	132,7	АС-95/16	330,0
ВЛ-35кВ № 56 от ПС-6/35кВ	94,8	132,7	АС-95/16	330,0
Транзитные ВЛ-35 кВ				
ВЛ-35 кВ № 54 на Юрьяху	94,8	132,7	АС-95/16	330,0
ВЛ-35 кВ № 55 на Юрьяху	94,8	132,7	АС-95/16	330,0
Первая секция сборных шин 6 кВ				
Ф-20, Куст №3	34,0	47,6	ПВВнГ-LS-6-3×95/16	355,0
Ф-18	28,3	39,6	ПВВнГ-LS-6-3×95/16	355,0
Ф-16	39,6	55,4	ПВВнГ-LS-6-3×95/16	355,0
Ф-14, ввод №2, ДНС	38,5	53,9	ПВВнГ-LS-6-3×95/16	355,0
Ф-12, Верхний Грубешор	34,0	47,6	ПВВнГ-LS-6-3×95/16	355,0
Ф-8, ЗРУ-6 кВ БКНС яч.13	28,3	39,6	ПВВнГ-LS-6-3×95/16	355,0
Ф-6, ДЭС-1	50,7	71,0	ПВВнГ-LS-6-3×95/16	355,0
Вторая секция сборных шин 6 кВ				
Ф-5, ДЭС-2	50,7	71,0	ПВВнГ-LS-6-3×95/16	355,0
Ф-7, ЗРУ-6 кВ, БКНС, яч.1	28,3	39,6	ПВВнГ-LS-6-3×95/16	355,0
Ф-11, ЗРУ-6 кВ, БКНС, яч.1	28,3	39,6	ПВВнГ-LS-6-3×95/16	355,0
Ф-13, ввод № 1 ДНС	34,0	47,6	ПВВнГ-LS-6-3×95/16	355,0
Ф-15	39,6	55,4	ПВВнГ-LS-6-3×95/16	355,0
Ф-17	39,6	55,4	ПВВнГ-LS-6-3×95/16	355,0
Ф-19 Куст скв. 48	39,6	55,4	ПВВнГ-LS-6-3×95/16	355,0

Таким образом, получены следующие результаты:

- проверено на соответствие увеличившейся нагрузке в результате внедрения мероприятий по реконструкции подстанции, сечение провода питающей воздушной линии марки АС-95/16 для обеспечения электроснабжения трансформаторов ТМН-6300/35;

- на двух транзитных линиях 35 кВ принято сечение проводников марки АС-95/16, так как мощность транзита не может превышать питающую мощность подстанции;
- выбраны силовые кабели напряжением 6 кВ марки ПВВнГ-LS-6-3×95/16 для применения на новых кабельных линиях, введённых в эксплуатацию в ходе мероприятий по реконструкции подстанции;
- проверены силовые кабели марки ПВВнГ-LS-6-3×95/16 для применения на существующих кабельных линиях напряжением 6 кВ, отходящих к потребителям подстанции.

Таким образом, применение существующих типов и марок кабельных линий и проводов на подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» после реконструкции оправдано с точки зрения технических характеристик, надёжности и экономичности принятых решений, а также существенно снижает объёмы капитальных вложений и общие затраты на выполнение мероприятий реконструкции.

## **5.2 Выбор и проверка электрических аппаратов на стороне 35 кВ**

Выбор для применения на стороне 35 кВ подстанции комплектных распределительных устройств марки КРУ СЭЩ-70 35 кВ обусловлен необходимостью обеспечения повышенного уровня надёжности и безопасности эксплуатации электрооборудования, а также оптимального конструктивного решения по размещению и обслуживанию аппаратуры.

Конструкция данных ячеек позволяет существенно сократить занимаемую площадь, улучшить условия монтажа, технического обслуживания и ремонта, что соответствует актуальным требованиям к организации эксплуатации высоковольтного оборудования на объектах электроэнергетики. Используемые в составе выбранных ячеек выключатели высокого напряжения марки HVX40 являются современной разработкой с

вакуумной дугогасящей камерой, обладающей высоким коммутационным ресурсом, превосходной отключающей способностью и стабильными характеристиками при работе в различных режимах. Применение вакуумных выключателей HVX40 минимизирует риск возникновения аварийных ситуаций и снижает необходимость проведения частых регламентных работ.

Отсутствие масляной изоляции и минимальные эксплуатационные затраты, присущие данному типу выключателей, обеспечивают значительное снижение рисков пожароопасных ситуаций и создают безопасные условия труда для обслуживающего персонала [18]. Для обеспечения точного измерения электрических параметров, мониторинга состояния электрической сети и надёжного функционирования релейной защиты в составе ячеек марки КРУ СЭЩ-70 35 кВ подстанции применены трансформаторы тока марки ТОЛ-СЭЩ-35. Данные измерительные трансформаторы отличаются высокой точностью преобразования первичных токов в стандартизированные вторичные значения, стабильностью характеристик в широком диапазоне нагрузок и надёжностью работы при аварийных и послеаварийных режимах, что способствует повышению эффективности функционирования устройств релейной защиты, точности измерения электрических параметров, а также снижению вероятности ложных срабатываний и отключений потребителей подстанции. Применение трансформаторов напряжения марки ЗНОЛ(П)-НТЗ-35 в составе выбранных ячеек обусловлено необходимостью организации точного учёта и контроля уровня напряжения на шинах подстанции.

Конструктивное исполнение и технические параметры трансформаторов напряжения марки ЗНОЛ(П)-НТЗ-35 обеспечивают эффективную работу в условиях значительных колебаний нагрузки и напряжения, что особенно важно при эксплуатации в сетях со сложными режимами работы. Кроме того, для защиты от перенапряжений рекомендована установка ограничителей перенапряжения марки ОПН-35/40,5/10/1000.

Результаты проверки электрических аппаратов для применения в РУ 35 кВ подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты проверки электрических аппаратов для применения на стороне 35 кВ подстанции 35/6 кВ «Пашшорская»

Наименование оборудования	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные оборудования
Выключатели высокого напряжения марки НВХ40 (вакуумные)	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 132,7 \text{ А}$	$I_{ном} = 1600 \text{ А}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном}$	$I_{н.т} = 1,26 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 25 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 2,86 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 64 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,26^2 \cdot 3 = 3,78 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 25^2 \cdot 3 = 1875 \text{ кА}^2\text{с}$
Трансформаторы напряжения марки ЗНОЛ(П)-НТЗ-35	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 132,7 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 2,86 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 50 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,26^2 \cdot 3 = 3,78 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$
Трансформаторы тока марки ТОЛ-СЭЦ-35	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном.1}$	$I_{max} = 132,7 \text{ А}$	$I_{ном.1} = 200 \text{ А}$
	$S_{вт.цепей} \leq S_{обм.ном}$	$S_{вт.цепей} = 20 \text{ ВА}$	$S_{обм.ном} = 80 \text{ ВА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 2,86 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 40 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,26^2 \cdot 3 = 3,78 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ кА}^2\text{с}$
Ограничители перенапряжения ОПН-35/40,5/10/1000	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 132,7 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
	$I_{н.т} \leq I_{макс.проп.}$	$I_{н.т} = 1,26 \text{ кА}$	$I_{макс.проп.} = 40,5 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 2,86 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 100 \text{ кА}$

Все выбранные аппараты, входящие в состав КРУ с ячейками СЭЦ-70 35 кВ, полностью соответствуют современным техническим и эксплуатационным требованиям, предъявляемым к высоковольтному оборудованию, обеспечивая надёжное, безопасное и эффективное электроснабжение потребителей подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» в любых эксплуатационных и аварийных режимах, оправдывая их применение на данном энергетическом объекте.

### **5.3 Выбор и проверка электрических аппаратов на стороне 6 кВ**

Выбор комплектных распределительных устройств серии КРУ СЭЩ-6З для применения на стороне 6 кВ подстанции 35/6 кВ «Пашпорская» обусловлен высокими техническими и эксплуатационными характеристиками данного типа оборудования, позволяющими эффективно решать задачи надёжного и безопасного распределения электроэнергии.

Конструктивно данные устройства выполнены с использованием закрытых ячеек с выкатными элементами (тележками), что обеспечивает высокую степень удобства при выполнении монтажных, ремонтных и эксплуатационных работ, а также значительно сокращает время и затраты на техническое обслуживание.

Кроме того, применение таких распределительных устройств способствует минимизации вероятности возникновения аварийных ситуаций благодаря высокой механической и электрической прочности корпуса и продуманному конструктивному исполнению, обеспечивающему надёжную изоляцию и защиту от внешних воздействий.

В качестве коммутационного аппарата в составе указанных ячеек выбраны современные вакуумные выключатели марки ВВУ-СЭЩ, отличающиеся повышенным ресурсом коммутационных операций, высокой надёжностью и безопасностью в эксплуатации [2].

Благодаря применению вакуумных дугогасящих камер, данные выключатели характеризуются высоким уровнем диэлектрической прочности, малыми габаритами, низкими эксплуатационными затратами и отсутствием необходимости регулярной замены расходных материалов.

Их надёжность особенно актуальна для обеспечения бесперебойной работы электрооборудования в условиях частых переключений и коммутаций нагрузки, что существенно повышает эксплуатационные характеристики электроустановки.

Использование трансформаторов напряжения марки НАЛИ-СЭЩ обусловлено необходимостью обеспечения надёжного и точного измерения напряжения на сборных шинах и вводах ячеек, а также для работы устройств релейной защиты и систем автоматики подстанции.

Данные трансформаторы отличаются высоким уровнем точности, стабильностью измерительных характеристик и низким уровнем собственных потерь, обеспечивая точность расчётных и контрольных измерений в широком диапазоне нагрузок и режимов работы.

В результате применения этих трансформаторов повышается достоверность работы устройств защиты и автоматики, что способствует общему повышению эксплуатационной безопасности объекта.

Данный аспект также повышает энергоэффективность на объекте за счёт увеличения точности измерений и снижая погрешность системы учёта и контроля электроэнергии, тем самым снижая инструментальные потери электроэнергии.

Применение трансформаторов тока марки ТОЛ-СЭЩ выбрано по причине обеспечения качественного измерения токов во всех режимах работы сети, включая аварийные ситуации и токи короткого замыкания.

Ограничители перенапряжения марки ОПН-П-6/6,0/10/0,6-III УХЛ2 применяются в качестве эффективного средства защиты электрооборудования распределительных устройств от перенапряжений различного происхождения, таких как коммутационные и атмосферные перенапряжения.

Установка данных ограничителей позволяет предотвратить повреждения и выход из строя изоляции оборудования и значительно увеличивает общий срок службы распределительных устройств и электроаппаратов. Кроме того, конструктивные особенности ограничителей указанной марки обеспечивают высокий уровень устойчивости к неблагоприятным условиям окружающей среды, что особенно актуально для эксплуатации на открытых и промышленных площадках. Полученные результаты сведены в таблицу 6.

Таблица 6 – Результаты выбора электрических аппаратов для применения на стороне 6 кВ подстанции 35/6 кВ «Пашпорская» Республики Коми

Наименование оборудования	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные оборудования
Выключатели ВВУ-СЭЩ-10-31,5/1000 (вакуумные)	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 856,3 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном}$	$I_{н.т} = 5,06 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 31,5 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 10,0 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 80 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 5,06^2 \cdot 3 = 76,8 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 31,5^2 \cdot 3 \approx 2977 \text{ кА}^2\text{с}$
Трансформаторы напряжения марки НАЛИ-СЭЩ-10	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 856,3 \text{ А}$	$I_{ном.} = 1000 \text{ А}$
	$S_{вт.цепей} \leq S_{обм.ном}$	$S_{вт.цепей} = 40 \text{ ВА}$	$S_{об.ном} = 75 \text{ ВА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 10,0 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА}$
Трансформаторы тока ТОЛ-СЭЩ-10	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном.1}$	$I_{max} = 856,3 \text{ А}$	$I_{ном.1} = 1000 \text{ А}$
	$S_{вт.цепей} \leq S_{обм.ном}$	$S_{вт.цепей} = 10 \text{ ВА}$	$S_{об.ном} = 50 \text{ ВА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 10,0 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА}$
Ограничители перенапряжения ОПН-П-6/6,0/10/0,6-III УХЛ2	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 6 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 856,3 \text{ А}$	$I_{ном} = 250 \text{ А}$
	$I_{н.т} \leq I_{макс.проп.}$	$I_{н.т} = 5,06 \text{ кА}$	$I_{макс.проп.} = 10 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 10 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА}$

Таким образом, для установки в РУ 6 кВ подстанции 35/6 кВ «Пашпорская» Республики Коми, обосновано применение следующих электрических аппаратов, которые не требуют замены:

- выключатели ВВУ-СЭЩ-10-31,5/1000 (вакуумные);
- трансформаторы напряжения марки НАЛИ-СЭЩ-10;
- трансформаторы тока ТОЛ-СЭЩ-10;
- ограничители перенапряжения ОПН-П-6/6,0/10/0,6-III УХЛ2.

Все выбранные аппараты полностью соответствуют современным техническим и эксплуатационным требованиям.

Выводы по разделу.

В результате выбора проводников на подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» Республики Коми, расчётным путём получены и подтверждены следующие результаты:

- проверено на соответствие увеличившейся нагрузке в результате внедрения мероприятий по реконструкции подстанции, сечение провода питающей воздушной линии марки АС-95/16 для обеспечения электроснабжения двух силовых трансформаторов марки ТМН-6300/35 на стороне 35 кВ;
- на двух транзитных линиях 35 кВ принято сечение проводников марки АС-95/16, так как мощность транзита не может превышать питающую мощность подстанции;
- выбраны силовые кабели напряжением 6 кВ марки ПВВнГ-LS-6-3×95/16 для применения на новых кабельных линиях, введённых в эксплуатацию в ходе мероприятий по реконструкции подстанции;
- проверены силовые кабели марки ПВВнГ-LS-6-3×95/16 для применения на существующих кабельных линиях напряжением 6 кВ, отходящих к потребителям подстанции.

Показано, что применение существующих типов и марок кабельных линий и проводов на подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» после реконструкции оправдано с точки зрения технических характеристик, надёжности и экономичности принятых решений, а также существенно снижает объёмы капитальных вложений и общие затраты на выполнение мероприятий реконструкции.

Показано, что применение на подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» новых аппаратов полностью оправдано с точки зрения обеспечения высокой надёжности и безопасности электроснабжения потребителей в условиях увеличения нагрузки после реконструкции, при этом технические характеристики выбранного оборудования полностью соответствуют предъявляемым к современным энергетическим объектам требованиям.

## **6 Выбор систем релейной защиты и учёта электроэнергии на подстанции**

### **6.1 Выбор системы релейной защиты на подстанции**

Релейная защита и автоматика на реконструируемой подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» должны полностью отвечать современным требованиям энергетики по обеспечению надёжности, быстродействия, селективности и чувствительности при защите электрического оборудования и линий электропередачи от аварийных режимов работы.

Значительный рост нагрузки после реконструкции объекта, а также повышенные требования к качеству и стабильности электроснабжения потребителей диктуют необходимость применения технически совершенных решений, способных обеспечить оперативное выявление и устранение возможных повреждений в сети, тем самым минимизируя негативные последствия для технологического оборудования и потребителей электроэнергии [1].

Одним из ключевых технических решений, обеспечивающих выполнение перечисленных требований, является применение современной микропроцессорной защиты на базе блока защиты и автоматики ввода типа МР741 [15].

Технические возможности блока защиты и автоматики МР741, представленного на рисунке 5, «позволяют обеспечить комплексную защиту отходящих кабельных линий 6 кВ, секционного выключателя и вводных выключателей, а также эффективно выполнять функции резервной защиты силовых трансформаторов подстанции, значительно повышая оперативность и надёжность работы системы электроснабжения» [15].



Рисунок 5 – Микропроцессорный блок РЗиА серии MP741

Применение микропроцессорного блока MP741 существенно упрощает техническое обслуживание и диагностику оборудования, благодаря встроенным функциям самодиагностики и постоянного контроля состояния аппаратуры.

Использование блока MP741 в качестве резервной защиты силовых трансформаторов обеспечивает дополнительную степень надёжности подстанции, минимизируя риски повреждения дорогостоящего силового оборудования в случаях отказов основной защиты.

Реализация функции резервной защиты трансформаторов через данный блок позволяет быстро и точно идентифицировать повреждённый участок сети, эффективно отключая аварийные режимы и тем самым предотвращая распространение повреждения на другие участки электроустановки.

Подобное техническое решение существенно увеличивает общий уровень эксплуатационной безопасности подстанции и гарантирует стабильность электроснабжения потребителей даже в сложных условиях.

Таким образом, внедрение комплекта защиты на базе микропроцессорного блока защиты и автоматики ввода МР741 на подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» является обоснованным и технически целесообразным решением.

## **6.2 Выбор системы учёта и контроля электроэнергии**

Система учёта и контроля электроэнергии реконструируемой подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» должна обеспечивать высокий уровень точности измерений потребляемой и отпускаемой электроэнергии, надёжность функционирования в условиях повышенных эксплуатационных нагрузок, а также автоматизированный сбор, обработку и передачу измерительной информации.

Повышение уровня точности и «надёжности учёта электроэнергии на данном объекте становится особенно актуальным в связи с ростом нагрузок после реконструкции подстанции, необходимостью оптимизации режимов эксплуатации оборудования и снижением потерь электроэнергии.

Реализация автоматизированной информационно-измерительной системы технического учёта электроэнергии (АИИС ТУЭ) является технически целесообразным решением, отвечающим современным требованиям и обеспечивающим комплексное решение перечисленных поставленных задач.

В качестве базового технического решения, способного удовлетворить поставленные задачи, в работе предлагается внедрить систему учёта электроэнергии с применением современных многотарифных электронных счётчиков электрической энергии марок Альфа А1802RAL-GB-DW и СЭТ-4ТМ.03.М на базе шкафа серии ШАИИС-МТ» [19].

Структурная схема такой системы АИИС ТУЭ представлена в работе на рисунке 6.

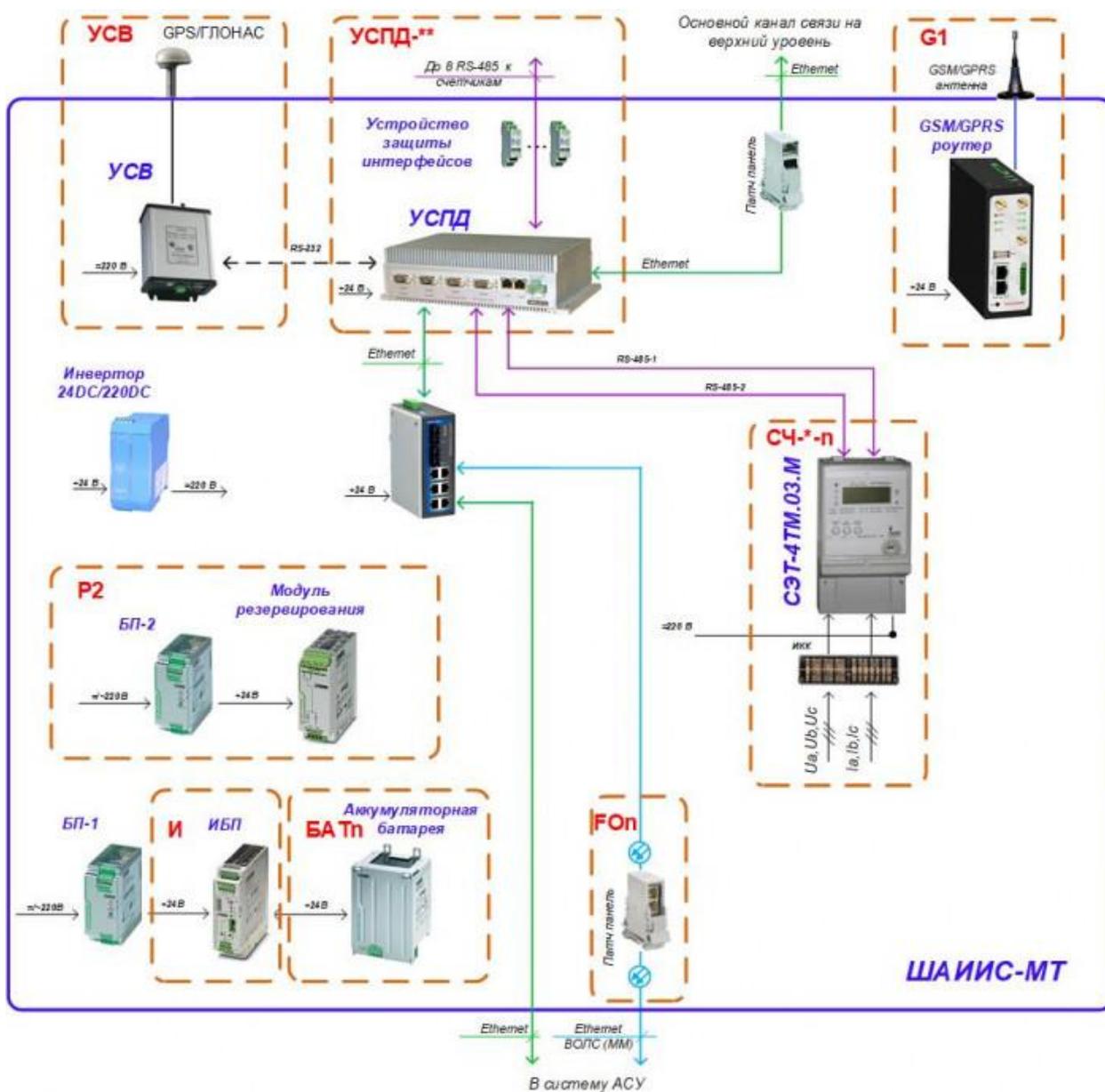


Рисунок 6 – Структурная схема выбранного шкафа серии ШАИИС-МТ для реализации АИИС ТУЭ на подстанции 35/6 кВ «Пашшорская»

Данные устройства отличаются высоким уровнем метрологических характеристик, надёжностью работы в широком диапазоне климатических и эксплуатационных условий, а также наличием развитых коммуникационных интерфейсов, позволяющих интегрировать их в единую систему управления и контроля подстанции.

Счётчики Альфа А1802RAL-GB-DW характеризуются высокой точностью измерения активной и реактивной энергии, широким динамическим диапазоном и возможностью работы с несколькими тарифами, что особенно важно при проведении анализа и оптимизации режимов потребления электроэнергии.

Приборы учёта типа СЭТ-4ТМ.03.М, в свою очередь, обладают высокой устойчивостью к помехам, надёжностью и обеспечивают непрерывный мониторинг технических параметров электрической сети, что значительно упрощает оперативное выявление неисправностей, прогнозирование аварийных ситуаций и оптимизацию режимов энергопотребления.

Для интеграции выбранных устройств учёта электроэнергии в единый комплекс автоматизированного учёта и контроля предлагается использовать специализированный шкаф серии ШАИИС-МТ. Шкафы данного типа разработаны специально для эксплуатации в составе современных автоматизированных систем учёта электроэнергии, обеспечивая централизованный сбор, хранение и передачу данных от счётчиков и других устройств измерения.

Шкафы серии ШАИИС-МТ оснащены всем необходимым оборудованием и коммуникационными интерфейсами для сбора информации, её предварительной обработки и передачи на верхний уровень управления энергосистемой.

Данная конструкция позволяет обеспечивать не только точный учёт электроэнергии, но и оперативную диагностику и техническое обслуживание оборудования системы учёта, что минимизирует затраты на эксплуатацию и увеличивает надёжность работы системы.

Выводы по разделу.

В результате выполнения анализа и обоснования решений по выбору систем релейной защиты и автоматики (РЗА) и автоматизированной информационно-измерительной системы технического учёта электроэнергии (АИИС ТУЭ) на реконструируемой подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» выбраны современные комплексы оборудования, отвечающие требованиям высокой надёжности, точности, технологичности и эффективности эксплуатации.

Применение микропроцессорного блока защиты и автоматики ввода МР741 обеспечит своевременное выявление и устранение аварийных режимов, минимизирует риски повреждений оборудования и увеличит стабильность работы подстанции.

Использование АИИС ТУЭ на базе многотарифных счётчиков Альфа А1802RAL-GB-DW и СЭТ-4ТМ.03.М в сочетании с комплексным решением на основе шкафа ШАИИС-МТ обеспечит высокую точность измерения и учёта электроэнергии, позволит оптимизировать режимы эксплуатации электрооборудования, выявлять и сокращать потери электроэнергии, повысить оперативность управления и значительно снизить эксплуатационные затраты.

Совместное применение данных решений является рациональным и полностью соответствует современным требованиям, предъявляемым к подстанциям энергосистемы.

## Заключение

В работе проведена разработка технических и организационных мероприятий, способных обеспечить надлежащее качество и надёжность электроснабжения потребителей при минимальных рисках аварий при проведении реконструкции электрической части ПС 35/6 кВ «Пашшорская».

Определено, что в качестве объекта исследования в работе рассматривается одна из понизительных подстанций 35/6 кВ «Пашшорская» ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ». Установлено, что основная сфера деятельности предприятия охватывает эксплуатацию и модернизацию подстанций, линий электропередачи и высоковольтных узлов, задействованных при снабжении промышленных объектов группы «ЛУКОЙЛ». Показано, что объём финансовых вложений на предприятии позволит провести планируемую реконструкцию подстанции.

Установлено, что по расположению в энергосистеме предприятия, рассматриваемая подстанция 35/6 кВ «Пашшорская» является узловой, обеспечивая транзит и резервирование мощностей в энергосистеме организации, а также перераспределение мощностей в узлах системы. Известно, что такой тип подстанций является важнейшим в региональных электрических сетях всех типов. Проведено описание схемных решений, принятых на узловой подстанции 35/6 кВ «Пашшорская». Установлено, что на объекте исследования расположены два распределительных устройства (35 кВ и 6 кВ), а также два силовых трехобмоточных трансформатора марки ТМН-6300/35 (Т1) и ТМН-6300/35 (Т2). Таким образом, в результате проведения анализа исходных данных, установлено следующее:

- все схемные решения, принятые на ПС-35/6 кВ «Пашшорская», являются стабильной основой для построения гибкой и надёжной сети, обеспечивая достаточное резервирование и повышая уровень управляемости, что отвечает требованиям долгосрочной

- эксплуатации в условиях непрерывного роста потребления электроэнергии;
- всё оборудование подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» - новое и современное, не требующее замены;
  - центральное место среди потребителей подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» занимают два типа электроустановок: блочные комплектные трансформаторные подстанции напряжением 6/0,4 кВ, понижающие напряжение до уровня 0,4 кВ для питания оборудования на номинальном напряжении 0,38/0,22 кВ (БКТП-6/0,4 кВ), а также блочные кустовые насосные станции (БКНС-6 кВ), которые необходимы для перекачивания жидкостей с помощью мощных насосов;
  - реконструкция схемы главных электрических соединений подстанции обусловлена увеличением нагрузки нефтяных месторождений (в связи с открытием новых и расширением существующих). Данный аспект обуславливает необходимость проведения реконструкции подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» путём подключения новых потребителей на незанятые ячейки ЗРУ-6 кВ;
  - определено, что перспективная нагрузка потребителей в результате реконструкции подстанции увеличилась на 1600 кВт, таким образом, суммарная нагрузка подстанции с учётом данного факта составила 4840 кВт.

Получены результаты расчётов максимальных нагрузок подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» в результате внедрения мероприятий по её реконструкции: отдельных присоединений 6 кВ, секций сборных шин 6 кВ, суммарной нагрузки подстанции. При расчёте нагрузки подстанции применялся рекомендованный метод коэффициента спроса с применением коэффициентов максимума одновременности максимумов нагрузки.

В результате проведённых расчётов и анализа нагрузочной способности силовых трансформаторов Т-1 и Т-2 марки ТМН-6300/35 подстанции 35/6 кВ

«Пашшорская», было установлено, что указанные трансформаторы полностью отвечают требованиям к нормальному режиму работы, сохраняя необходимый запас по мощности. Также установлено, что трансформаторы способны кратковременно выдерживать послеаварийную перегрузку в пределах допустимых нормативных значений.

Следовательно, установленные на подстанции трансформаторы ТМН-6300/35 не нуждаются в замене, что подтверждает обоснованность их дальнейшей эксплуатации после реконструкции объекта и увеличения нагрузки.

Показано, что проведённый расчёт токов короткого замыкания на выводах силового трансформатора подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» после её реконструкции, позволяет подтвердить соответствие выбранных элементов энергосистемы требованиям по термической и электродинамической стойкости к возможным аварийным воздействиям, создавая условия для бесперебойного электроснабжения потребителей данной подстанции.

Выбраны следующие типы и марки проводников:

- проверено на соответствие увеличившейся нагрузке в результате внедрения мероприятий по реконструкции подстанции, сечение провода питающей воздушной линии марки АС-95/16 для обеспечения электроснабжения двух силовых трансформаторов марки ТМН-6300/35 на стороне 35 кВ;
- на двух транзитных линиях 35 кВ принято сечение проводников марки АС-95/16, так как мощность транзита не может превышать питающую мощность подстанции;
- выбраны силовые кабели напряжением 6 кВ марки ПВВнГ-LS-6-3×95/16 для применения на новых кабельных линиях, введённых в эксплуатацию в ходе мероприятий по реконструкции подстанции;
- проверены силовые кабели марки ПВВнГ-LS-6-3×95/16 для применения на существующих кабельных линиях напряжением 6 кВ, отходящих к потребителям подстанции.

Показано, что применение существующих типов и марок кабельных линий и проводов на подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» после реконструкции оправдано с точки зрения технических характеристик, надёжности и экономичности принятых решений, а также существенно снижает объёмы капитальных вложений и общие затраты на выполнение мероприятий реконструкции. Показано, что применение на подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» указанных аппаратов в составе ячеек КРУ СЭЩ-63 полностью оправдано с точки зрения обеспечения высокой надёжности и безопасности электроснабжения потребителей в условиях увеличения нагрузки после реконструкции, при этом технические характеристики выбранного оборудования полностью соответствуют предъявляемым к современным энергетическим объектам требованиям.

В результате выполнения анализа и обоснования решений по выбору систем РЗА и АИИС ТУЭ на реконструируемой подстанции 35/6 кВ «Пашшорская» выбраны современные комплексы оборудования, отвечающие требованиям высокой надёжности, точности, технологичности и эффективности эксплуатации. Применение микропроцессорного блока защиты и автоматики ввода МР741 обеспечит своевременное выявление и устранение аварийных режимов, минимизирует риски повреждений оборудования и увеличит стабильность работы подстанции. Использование АИИС ТУЭ на базе многотарифных счётчиков Альфа А1802RAL-GB-DW и СЭТ-4ТМ.03.М в сочетании с комплексным решением на основе шкафа ШАИИС-МТ обеспечит высокую точность измерения и учёта электроэнергии, позволит оптимизировать режимы эксплуатации электрооборудования, выявлять и сокращать потери электроэнергии, повысить оперативность управления и значительно снизить эксплуатационные затраты. Совместное применение данных решений является рациональным и полностью соответствует современным требованиям, предъявляемым к подстанциям энергосистемы.

## Список используемых источников

1. Агафонов А.И., Бростилова Т. Ю., Джазовский Н. Б. Современная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем: учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 300 с.

2. ВВУ-СЭЩ 10 кВ [Электронный ресурс]: URL: <https://www.electroshield.ru/catalog/vakuumnie-vykluchateli/vvu-seshch-10-kv/> (дата обращения: 21.03.2025).

3. ГОСТ 14209–85 Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки (с Изменением № 1). [Электронный ресурс]: URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200012414> (дата обращения: 21.03.2025).

4. ГОСТ Р 59279-2020 «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств от 35 до 750 кВ подстанций». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177281> (дата обращения: 21.03.2025).

5. Допустимые длительные токовые нагрузки на неизолированные провода [Электронный ресурс]: URL: <http://electro.narod.ru/tables/4.1.9.htm> (дата обращения: 21.03.2025).

6. Кабель ПвВнг(А)-LS 3×95/16 [Электронный ресурс]: URL: <https://elmarkets.ru/catalog/pvvng-a--ls/pvvng-a--ls-1x95-16-6/> (дата обращения: 21.03.2025).

7. Каталог Электрощит Самара. КРУ-СЭЩ-70 35кВ [Электронный ресурс]: URL: [https://www.elec.ru/viewer?url=/files/2019/01/15/%D0%9A%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3\\_%D0%9A%D0%A0%D0%A3-%D0%A1%D0%AD%D0%A9-70\\_35%D0%BA%D0%92.pdf](https://www.elec.ru/viewer?url=/files/2019/01/15/%D0%9A%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3_%D0%9A%D0%A0%D0%A3-%D0%A1%D0%AD%D0%A9-70_35%D0%BA%D0%92.pdf) (дата обращения: 21.03.2025).

8. КРУ СЭЩ-63 6, 10 кВ [Электронный ресурс]: URL: <https://www.electroshield.ru/catalog/komplektnye-raspredelitelnye-ustroystva/kru->

sesch-63-6-10-kv/ (дата обращения: 21.03.2025).

9. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.

10. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 174 с.

11. ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ» [Электронный ресурс]: URL: <https://es.lukoil.ru/ru> (дата обращения: 21.03.2025).

12. ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ» [Электронный ресурс]: URL: <https://saby.ru/profile/5260230051-770901001?anchor=finance> (дата обращения: 21.03.2025).

13. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. Изд-во ЦентрМаг, 2022. 584 с.

14. РД 153-34.0-20.527-98 «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования» [Электронный ресурс]: URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294817/4294817179.htm> (дата обращения: 21.03.2025).

15. Реле микропроцессорное защиты и автоматики ввода МР741 [Электронный ресурс]: URL: <https://export.by/product/15206> (дата обращения: 21.03.2025).

16. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учебное пособие. М.: Форум, 2021. 383 с.

17. Трансформаторы ТМН 6300 35(20)/11-6,3 кВ [Электронный ресурс]: URL: <https://elkabtrans.ru/catalog/tmn/tmn-6300-35-20-11-6-3-kv/> (дата обращения: 21.03.2025).

18. Требования, предъявляемые к электрическим аппаратам. [Электронный ресурс]: URL: <https://electricalschool.info/spravochnik/apparaty/2154-trebovaniya-predyavlyaemye-k-elektricheskim-apparatam.html> (дата обращения: 21.03.2025).

19. Шкаф АИИС КУЭ ШАИИС-МТ [Электронный ресурс]: URL: <https://www.mtrele.ru/shop/shkafyi-asu-tp-i-aiis-kue/aiis-kue-mt/shaiis-mt.html> (дата обращения: 21.03.2025).

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