

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 понизительной подстанции 35/6 кВ с. Ушаково Нижегородской области

Обучающийся

О. А. Сержантов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.п.н., доц. М. Н. Третьякова

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

Аннотация

Работа посвящена реконструкции электрической части понизительной подстанции 35/6 кВ «Ушаково», расположенной в одноимённом селе Нижегородской области.

На основании проведённого анализа исходных данных, предложена рациональная схема главных электрических соединений закрытого распределительного устройства 35 кВ (далее – ЗРУ-35 кВ) подстанции, вследствие чего выбраны и проверены новые схемные решения.

Осуществлена модернизация выключателей и разъединителей распределительного устройства напряжением 35 кВ, а также выключателей распределительного устройства 6 кВ.

Проведена реконструкция схемы релейной защиты силовых трансформаторов подстанции с выбором новых современных микропроцессорных блоков, позволяющих значительно повысить параметры надёжности, селективности и безопасности на объекте.

Установлено, что внедрённые мероприятия на подстанции позволяют значительно повысить технические и экономические показатели на объекте.

Работа представлена расчётно-пояснительной запиской и графической частью. Расчётно-пояснительная записка объёмом 76 печатных страницы, состоит из введения, трёх основных разделов, заключения, списка используемых источников из 20 наименований. Расчётно-пояснительная записка выполнена в приложении «Microsoft Word», с использованием десяти таблиц и девяти рисунков.

Графическая часть работы выполнена в САПР «AutoCAD» и содержит шесть чертежей, выполненных по основным результатам проведённых исследований.

Источниками для написания работы являются нормативно-правовые документы, учебные пособия, техническая литература, типовые проекты, а также интернет-ресурсы.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных.....	7
1.1 Характеристика схемы электрических соединений и оборудования подстанции ПС-35/6 кВ «Ушаково»	7
1.2 Обоснование мероприятий по реконструкции подстанции	15
2 Реконструкция силовой электрической части подстанции	25
2.1 Реконструкция схемы электрических соединений подстанции.....	25
2.2 Расчёт электрических нагрузок	28
2.3 Проверка силовых трансформаторов подстанции в результате реконструкции	33
2.4 Выбор и проверка проводников	36
2.5 Расчёт токов короткого замыкания	42
2.6 Выбор и проверка электрических аппаратов	51
2.7 Выбор схемы и трансформаторов собственных нужд подстанции	58
3 Реконструкция релейной защиты силовых трансформаторов подстанции .	63
3.1 Выбор основных типов релейной защиты.....	63
3.2 Расчёт уставок релейной защиты силовых трансформаторов подстанции.....	66
Заключение	70
Список используемых источников.....	75

Введение

Трансформаторные подстанции (далее – ПС) в энергосистеме Российской Федерации играют важнейшую роль в обеспечении эффективного и надежного передачи, распределения и трансформации электрической энергии. Трансформаторные подстанции энергосистемы выполняют функцию преобразования напряжения между различными уровнями номинального напряжения электрической сети, обеспечивая эффективное распределение энергоресурсов от генерирующих источников к конечным потребителям.

Одной из основных функций ТП является преобразование напряжения. Высокое напряжение, полученное на генерирующих станциях, трансформируется на ТП в более низкие уровни напряжения для передачи по распределительным сетям к конечным потребителям. Также трансформаторные подстанции позволяют эффективно передавать электроэнергию на большие расстояния. Высокое напряжение, используемое в высоковольтных линиях передачи, уменьшает потери энергии в виде тепла и обеспечивает более эффективную транспортировку электроэнергии.

На подстанциях электроэнергия преобразуется в средние и низкие напряжения, пригодные для использования в домах, на предприятиях и в промышленности. Благодаря современным схемным решениям, трансформаторные подстанции обеспечивают качественное, надёжное и равномерное распределение электрической энергии.

Подстанции также играют важную роль в поддержании стабильности напряжения в электросети. Они компенсируют колебания напряжения, возникающие из-за изменений нагрузки, и обеспечивают постоянную величину напряжения, а также частоты и прочих параметров. Новые потребители всех уровней могут быть легко подключены к существующей электросети с помощью ТП. Таким образом, учитывается связь энергосистемы и потребителей всех уровней, осуществляемая через трансформаторные подстанции. Также трансформаторные подстанции имеют системы защиты,

которые реагируют на короткие замыкания и другие аварийные ситуации, предотвращая возможные повреждения и обеспечивая безопасность как для персонала, так и для оборудования.

В последние годы в Российской Федерации и в мировой электроэнергетике в целом, активно развивается интеграция возобновляемых источников энергии, таких, как солнечные, ветровые и прочие аналогичные типы. Трансформаторные подстанции энергосистемы играют важную роль в этом процессе, позволяя интегрировать электроэнергию, полученную от различных нетрадиционных источников, в общую электроэнергетическую систему. Таким образом, трансформаторные подстанции являются неотъемлемой частью инфраструктуры современной электроэнергетики, обеспечивая эффективное и надежное распределение и передачу электроэнергии от источников её производства к конечным потребителям.

Объектом исследования в данной работе является схема главных электрических соединений нормального режима, а также элементы схемы вторичных цепей (релейной защиты и автоматики) понижающей подстанции ПС-35/6 кВ «Ушаково».

Предметом исследования являются параметры и характеристики надёжности схемы главных электрических соединений нормального режима, а также схемы вторичных цепей (релейной защиты и автоматики) понижающей подстанции ПС-35/6 кВ «Ушаково».

Актуальность исследования обусловлена требованиями нормативных документов, регламентирующих и рекомендуемых проведение всех видов реконструкции и модернизации распределительных устройств понизительных трансформаторных подстанций, с целью повышения их параметров надёжности, бесперебойности электроснабжения, безопасности, селективности, а также пропускной способности [3, 4, 18, 20].

Основной целью работы является повышение показателей надёжности, селективности, экономичности и безопасности силового оборудования и системы релейной защиты и автоматики понижающей подстанции ПС-35/6 кВ

«Ушаково», что достигается путём реконструкции схемы главных электрических соединений объекта исследования.

Данная реконструкция обусловлена, с одной стороны, необходимостью внесения изменений в схему главных электрических соединений подстанции согласно нормативным требованиям основных документов, а с другой – несоответствием установленного оборудования требованиям

«Также внедрены необходимые мероприятия по реконструкции релейной защиты и автоматики подстанции, заключающейся» [8] в замене устаревших и неэффективных устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) на современные микропроцессорные блоки.

Для успешного достижения цели в рамках работы, необходимо выполнить следующие ключевые шаги:

- анализ объекта проектирования с выявлением проблем и соответствия требованиям и рекомендациям нормативных документов;
- разработка технических решений, способных эффективно решить выявленные проблемы на объекте проектирования;
- обоснование и реализация выбранных технических решений для эффективного преодоления проблем на объекте проектирования;
- проверка и оценка эффективности принятых технических решений, предложение окончательного варианта для внедрения на объекте исследования.

С учётом основных поставленных задач в работе было выявлено, что для эффективной разработки проекта реконструкции понизительной подстанции 35/6 кВ «Ушаково» необходимо провести отбор и анализ новых схемных решений для её силовой части и части релейной защиты и автоматики. Этот процесс включает в себя последующий выбор и проверку оборудования, такого как силовые трансформаторы, электрические проводники, аппараты, а также устройства релейной защиты и автоматики. Решение поставленных задач осуществляется в работе на основании принятых расчётных методик с учётом рациональных методов исследований.

1 Анализ исходных данных

1.1 Характеристика схемы электрических соединений и оборудования подстанции ПС-35/6 кВ «Ушаково»

Объектом исследования в данной работе является понизительная подстанция ПС-35/6 кВ «Ушаково».

Рассматриваемая в работе ПС-35/6 кВ «Ушаково» расположена на территории Богородского муниципального округа Нижегородской области.

Данная понизительная подстанция была введена в эксплуатацию в 1989 году.

Она играет важную роль в распределении электроэнергии в энергосистеме Богородского района, обеспечивая питанием городских и районных потребителей (включая коммунальную и промышленную группы) на напряжении 6 кВ.

Территориальное расположение рассматриваемой в работе понизительной подстанции 35/6 кВ «Ушаково» на территории Богородского муниципального округа Нижегородской области, показано в работе на рисунке 1.

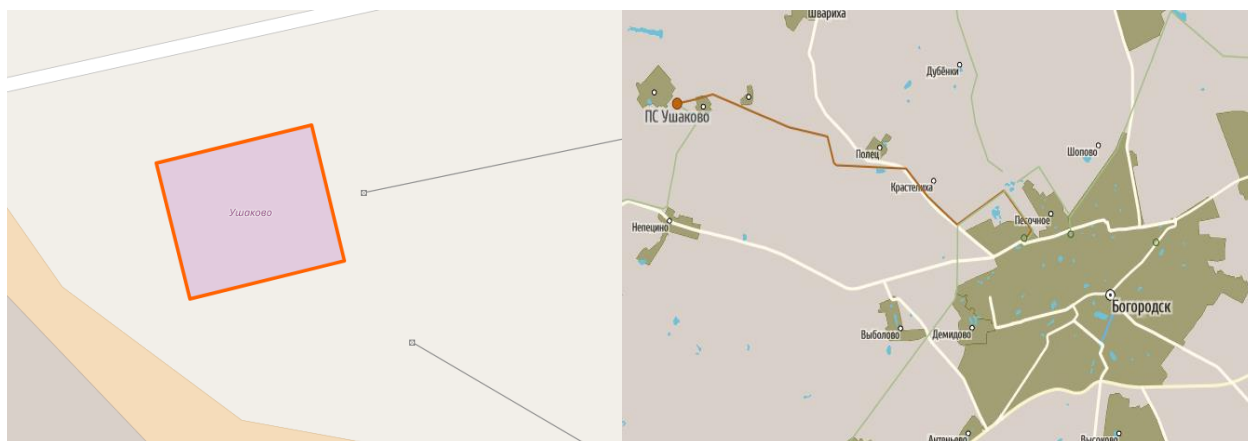


Рисунок 1 – Территориальное расположение рассматриваемой в работе подстанции 35/6 кВ «Ушаково» на территории Богородского муниципального округа Нижегородской области

Как было установлено ранее, данная подстанция является одной из потребительских подстанций Нижегородских региональных электрических сетей.

Рассматриваемая в работе понизительная подстанция 35/6 кВ «Ушаково» снабжает электроэнергией население ближайших населенных пунктов (посёлков, сёл, деревень), а также промышленные и коммунальные потребители.

«Согласно исходной схеме электрических соединений, с учётом расположения в энергосистеме, ПС-35/6 кВ «Ушаково» является двухтрансформаторной подстанцией тупикового типа. Питание подстанции ПС-35/6 кВ «Ушаково» осуществляется одной воздушной линией электропередачи 35 кВ» [19] (ВЛ 35 кВ) с диспетчерским наименованием «Богородская – Ушаково».

Данная линия проходит через районный населённый пункт Богородское, а также через населённые пункты Ченцово и Сляднево, включая рекреационную зону Нижегородской области.

Известно, что в населённых пунктах прокладка воздушных линий электропередачи запрещена. Кроме того, данная линия устарела, в последние годы вследствие этого на ней значительно увеличились аварии, наблюдается систематическое разрушение опор, траверс и изоляторов вследствие выработки их технического ресурса.

Таким образом, установлено, что исходная схема питания подстанции ПС-35/6 кВ «Ушаково» выполнена по типу «одна питающая линия на два силовых трансформатора» [18].

«Такая схема экономичная, однако пригодна только для обеспечения электроснабжения потребителей III категории надёжности исходя из нормативных требований» [18].

Однако, согласно паспорту подстанции 35/6 кВ «Ушаково», от данной подстанции также получают питание потребители I и II категории надёжности, для которых данная схема не допустима вследствие того, что в случае аварии

на единственной питающей линии 35 кВ прекращается питание всех подстанции [17].

При этом в исходной схеме главных электрических соединений подстанции 35/6 кВ «Ушаково» второй источник питания отсутствует, что является недопустимым условием для электроснабжения потребителей надёжности. Следовательно, данная проблема требует немедленного решения в работе. Нормальная «схема главных электрических соединений подстанции 35/6 кВ «Ушаково» до проведения реконструкции представлена на графическом листе 1 [12].

«Рассматриваемая в работе понизительная подстанция 35/6 кВ до внедрения мероприятий и рекомендаций по реконструкции, состояла из следующих элементов» [19], описание которых приводится в работе далее по структурной схеме (рисунок 2).

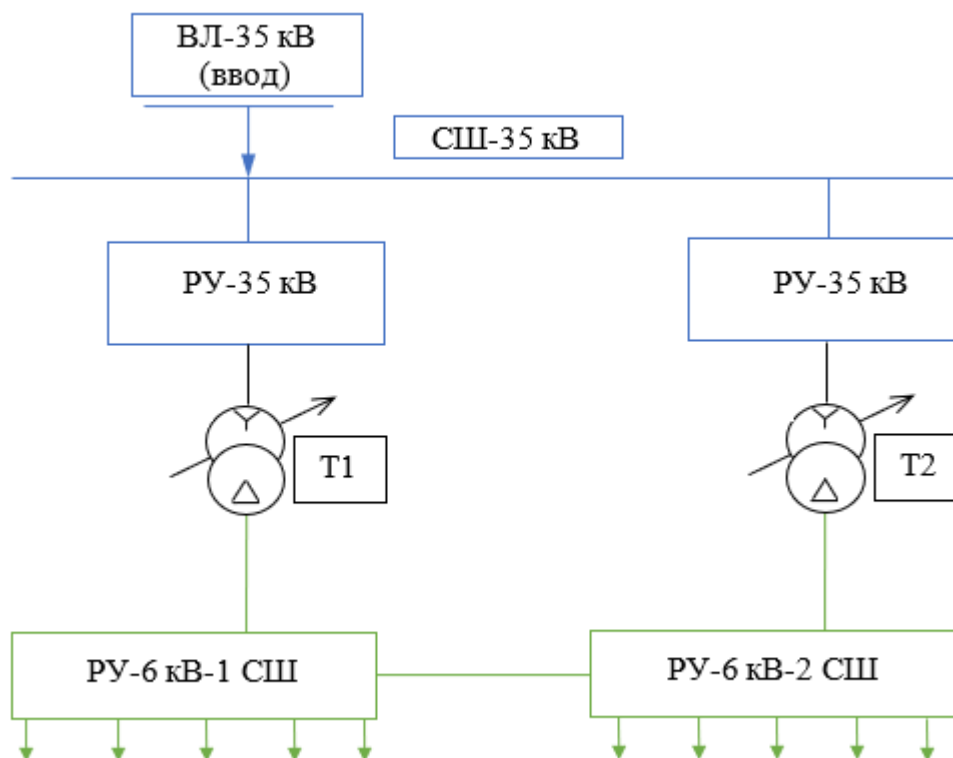


Рисунок 2 – Исходная структурная схема электрических соединений ПС-35/6 кВ «Ушаково»

Далее, исходя из рисунка 2, проводится детальное описание элементов и составляющих исходной структурной схемы ПС-35/6 кВ «Ушаково».

Первым элементом ПС-35/6 кВ «Ушаково» является распределительное устройство закрытого типа высшего напряжения 35 кВ (далее – ЗРУ-35 кВ), показанное на рисунке 2 синим цветом.

На подстанции ЗРУ-35 кВ конструктивно выполнено закрытым без применения автоматического резервирования в виде ремонтной перемычки.

Исходная схема питания подстанции ПС-35/6 кВ «Ушаково» выполнена по типу «одна питающая линия на два силовых трансформатора» [11], [17]. От одной питающей ВЛ 35 кВ «Богородская – Ушаково», напряжение подаётся на общую секцию сборных шин 35 кВ (СШ-35 кВ на рисунке 4), от которой получают питание жёстким шинопроводом две фидерные линии ЗРУ-35 кВ, необходимые для отдельного питания двух силовых трансформаторов подстанции.

«Как было указано ранее, в схеме электрических соединений ЗРУ-35 кВ понизительной подстанции переменного напряжения 35/6 кВ «Ушаково», для питания сборных шин 35 кВ, применяется режим работы без наличия резервирования на стороне 35 кВ подстанции, что также не соответствует схеме для питания потребителей I и II категорий» [10] надёжности.

В исходной схеме электрических соединений «ЗРУ-35 кВ понизительной подстанции переменного напряжения 35/6 кВ «Ушаково», установлены следующие основные защитные и коммутационные аппараты (графический лист 1)» [2]:

- «масляные баковые выключатели марки ВТ-35/630 с пружинным приводом ПП-67 – 3 единицы (год изготовления – 1985, введены в эксплуатацию на подстанции в 1989 году)» [2], [19];
- встроенные в высоковольтные выключатели трансформаторы тока ТВ-35 150/5 – 9 единиц, по 3 единицы на каждый выключатель (изготовлены и введены в эксплуатацию на подстанции вместе с выключателями, в которые они встроены);

- разъединители марки РНДЗ-2-35/630– 4 «единицы (год изготовления – 1986, введены в эксплуатацию на подстанции в 1989 году);
- ограничители перенапряжения ОПНп-35У1 (год изготовления – 2007, год ввода введены в эксплуатацию на подстанции в 2012 году)» [19].

«Следующим элементом в рассматриваемой в работе понизительной подстанции переменного напряжения 35/6 кВ «Ушаково», является два силовых трансформатора 35/6 кВ, обеспечивающих понижение напряжения с 35 кВ до 6 кВ с последующим его распределением в РУ-6 кВ подстанции и, далее, потребителям» [4].

«На рассматриваемой подстанции переменного напряжения 35/6 кВ «Ушаково» установлены два силовых трансформатора марки ТМН-6300/35 (год изготовления – 1986, год ввода введены в эксплуатацию на подстанции» [7] – 1989). В структурной схеме на рисунке 2, силовые трансформаторы обозначены чёрным цветом.

Данные трансформаторы на ПС-35/6 кВ «Ушаково» неоднократно и своевременно проходили текущие и капитальные ремонты. Их техническое состояние на август 2023 года является удовлетворительным.

Далее рассматривается распределительное устройство номинальным напряжением 6 кВ (далее – РУ-6 кВ) ПС-35/6 кВ «Ушаково».

В структурной схеме подстанции на рисунке 2, РУ-6 кВ обозначено зелёным цветом.

«РУ-6 кВ является распределительным устройством низшего напряжения подстанции ПС-35/6 кВ» [7].

«Согласно исходным техническим данным, РУ-6 кВ ПС-35/6 кВ конструктивно выполнено комплектным с применением ячеек внутренней установки (далее – КРУ) стационарного типа (год производства – 1986, введены в эксплуатацию на подстанции в 1989 году)» [19]. Данные ячейки проходили плановую модернизацию в 2012 году.

В исходной схеме электрических соединений РУ-6 кВ ПС-35/6 кВ «Ушаково» предусмотрена рабочая, секционированная выключателем,

система сборных шин с резервированием. Такая схема удовлетворяет требованиям [11] «для питания потребителей I и II категорий надёжности, присутствующих на подстанции» [11].

«На отходящих линиях в РУ-6 кВ понизительной подстанции переменного напряжения 35/6 кВ установлены следующие защитные и коммутационные аппараты (основное оборудование):

- горшковые масляные выключатели марки ВМГ-10/630 с приводом ПП-67 – 21 единица (год изготовления – 1986, год ввода в эксплуатацию на подстанции – 1989);
- измерительные трансформаторы тока: марки ТОЛ-СЭЦ-10 – по 2 единицы во всех присоединениях (вводных, секционном и линейных), применена схема неполной звезды (год изготовления – 1999, введены в эксплуатацию на подстанции в 2002 году);
- измерительные трансформаторы напряжения (ТН) марки НАЛИ-СЭЦ-10 – 2 единицы (год изготовления – 2009, год ввода в эксплуатацию на подстанции – 2012);
- ограничители перенапряжения марки ОПНп-6 У1 (год изготовления – 2009, год ввода в эксплуатацию на подстанции – 2012), установлены на вводах (2 присоединения), а также в ячейках ТН (2 присоединения), по 3 единицы на каждое присоединение (блок)» [2].

«Кроме того, для обеспечения собственных нужд на понизительной подстанции переменного напряжения 35/6 кВ «Ушаково» есть также два трансформатора собственных нужд (ТСН) марки ТМГ-160/6 (произведены в 2008 году, введены в эксплуатацию на подстанции в этом же году)» [8].

К основным потребителям собственных нужд подстанции относятся внешнее (наружное) и внутреннее освещение, обогрев оборудования и помещений диспетчерской в осенне-зимний сезон, система мониторинга и контроля потребления электроэнергии, сигнализация, а также цепи измерения и видеосвязи.

«Все они планомерно и постепенно были введены в работу и эксплуатацию на подстанции в 1989-2022 гг.» [8].

«Также приводится краткая техническая характеристика секций сборных шин подстанции» [18] закрытого типа:

- секция сборных шин ЗРУ-35 кВ: жёсткая ошиновка (шины алюминиевые АТ-100×10 КРН-Ш-10);
- секция сборных шин КРУ-6 кВ: жёсткая ошиновка (шины алюминиевые АТ-60×5 КРН-Ш-10).

«Далее приводится детальная характеристика потребителей подстанции ПС-35/6 кВ» [19].

Рассматриваемая в работе понизительная подстанция 35/6 кВ «Ушаково» снабжает электроэнергией население ближайших населенных пунктов (посёлков, сёл, деревень), а также промышленные и коммунальные потребители.

Основными потребителями ПС-35/6 кВ «Ушаково» являются потребительские трансформаторные подстанции 6/0,4 кВ, получающие питание от сборных шин РУ-6 кВ подстанции.

Рассматриваемая в работе понизительная подстанция 35/6 кВ «Ушаково» обеспечивает электроэнергией блочные комплектные трансформаторные подстанции, которые относятся к I и II категориям надёжности, следовательно, они требуют двух независимых источников питания.

«Совокупная доля потребителей I и II категорий надёжности подстанции, с учётом подключения новых потребителей, по состоянию на август 2023 г. составляет около 70%.

Следовательно, доля потребителей III категории на подстанции будет составлять около» [19] 30%.

К потребителям понизительной подстанции 35/6 кВ «Ушаково», относятся следующие понизительные подстанции 6/0,4 кВ: БКТП-39, БКТП-44, БКТП-61, БКТП-64, БКТП-65.

Все перечисленные подстанции 6/0,4 кВ являются двухтрансформаторными, следовательно, от ТП-35/6 кВ они будут питаться двумя кабельными вводами.

Кроме того, от шин 6 кВ понизительной подстанции 35/6 кВ «Ушаково» также планируется обеспечить питанием новые потребители, изначально не предусмотренные в проекте (перспективная нагрузка): потребители РУ-6 кВ-72 (две линии) и потребители «ОСГВ» (две линии). Для их питания от ТП-6/0,4 кВ также необходим ввод двумя кабельными линиями, так как они относятся ко 2 категории надёжности. Таким образом, установлено, что большинство потребителей подстанции относятся к I и II категориям надёжности, требующие автоматизированного резервирования. Фактические и перспективные максимальные проектные нагрузки потребителей понизительной подстанции 35/6 кВ «Ушаково» представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Фактические и перспективные максимальные проектные нагрузки потребителей понизительной подстанции 35/6 кВ «Ушаково»

Секция сборных шин 6 кВ ТП-6/0,4 кВ	Наименование присоединений потребителей	Категорийность основных потребителей	Максимальная проектная нагрузка потребителей, Рм, кВт
СШ-1 (6 кВ)	БКТП-39	1,2	570
	БКТП-44	1,2	480
	БКТП-61	1,2	460
	БКТП-64	1,2	520
	БКТП-65	1,2	560
	РУ-6 кВ-72 (перспективная нагрузка)	2	640
	ОСГВ (перспективная нагрузка)	2	650
Всего по СШ-1 (6 кВ)	ТП-6/0,4 кВ	1,2	3880
СШ-2 (6 кВ)	БКТП-39	1,2	570
	БКТП-44	1,2	480
	БКТП-61	1,2	460
	БКТП-64	1,2	520
	БКТП-65	1,2	560
	РУ-6 кВ-72 (перспективная нагрузка)	2	640
	ОСГВ (перспективная нагрузка)	2	650
Всего по СШ-2 (6 кВ)	ТП-6/0,4 кВ	1,2	3880
Всего по ТП-6/0,4 кВ		1,2	7760

Таким образом, согласно исходным данным на проектирование, понизительная подстанция 35/6 кВ «Ушаково» в основном питает потребители 1 и 2 категорий надёжности, следовательно, она должна иметь два независимых источника питания в схеме РУ-35 кВ согласно [9].

Также установлено, что суммарная фактическая и перспективная максимальная нагрузка (согласно техническим данным на проектирование), для понизительной подстанции 35/6 кВ «Ушаково» составляет 7760 кВт. При этом нагрузка распределена равномерно на обе секции сборных шин 6 кВ (по 3880 кВт на каждую секцию).

Кроме того, исходя из данных таблицы 1, определено, что к ПС-35/6 кВ «Ушаково» планируется подключить дополнительно по две отходящих линии на каждой секции сборных шин к потребителям 6 кВ (перспективная нагрузка).

Перспективная нагрузка должна быть учтена в работе при планировании и обосновании мероприятий по реконструкции схемы главных электрических соединений подстанции.

На графическом листе 1 представлена описанная в работе исходная схема главных электрических соединений ПС-35/6 кВ «Ушаково» до внедрения мероприятий по её реконструкции.

На основе приведённых исходных технических данных, далее в работе проводится выбор соответствующих решений по разработке проекта реконструкции понизительной подстанции 35/6 кВ «Ушаково» Нижегородской области.

1.2 Обоснование мероприятий по реконструкции подстанции

На первом этапе разработки и обоснований мероприятий по реконструкции подстанции ПС-35/6 кВ «Ушаково», необходимо провести анализ требований, которые предъявляются к реконструкции понизительных трансформаторных подстанций энергосистемы нормативными документами.

Известно, что основной целью реконструкции трансформаторных подстанций энергосистемы является повышение технических параметров и показателей, таких, как надёжность, экономичность, бесперебойность, а также безопасность.

Реконструкция понижающей подстанции может включать в себя совокупность следующих основных целей:

- улучшение надёжности и безопасности: реконструкция может включать замену устаревшего оборудования, улучшение систем, а также внедрение современных инновационных технологий, чтобы увеличить надёжность работы подстанции и обеспечить безопасность персонала;
- повышение эффективности и энергоэффективности: реконструкция подстанции может быть направлена на снижение потерь энергии в процессе передачи и распределения электроэнергии. Этот вариант может включать замену устаревших трансформаторов более эффективными марками и моделями с улучшенными параметрами, а также усовершенствованными системами охлаждения;
- увеличение нагрузочной способности: в случае, если существующая подстанция не способна обеспечить требуемую мощность для растущей нагрузки, реконструкция может включать в себя установку дополнительных трансформаторов, коммутационного и защитного оборудования, дополнительных ячеек распределительных устройств, а также других компонентов и составляющих;
- интеграция возобновляемых источников энергии: реконструкция может быть направлена на адаптацию подстанции для интеграции солнечных, ветровых или других возобновляемых источников электроэнергии в энергосистему;
- улучшение автоматизации и управления: на современных трансформаторных подстанциях рекомендуется внедрение современных систем автоматизации различного типа на базе

современных технологий, а также автоматизированного удаленного мониторинга и управления для более эффективного контроля и оперативного вмешательства при возникновении аварийных ситуаций и нештатных режимов;

- соблюдение нормативных требований: реконструкция может быть необходима для соответствия новым нормативам, стандартам безопасности, экологическим нормам и другим правилам, которые могли появиться с течением времени;
- поддержание технической актуальности: реконструкция подстанции может быть проведена с целью обновления технологической базы, чтобы соответствовать требованиям современных электроэнергетических систем. В данном случае, такая реконструкция сходна с модернизацией.

Таким образом, конечная цель реконструкции подстанций энергосистемы будет зависеть от потребностей региональной энергетической системы, бизнес-целей компании и требований к эффективности и надежности.

Известно, что реконструкция трансформаторных подстанций может быть полной или частичной.

В первом варианте замене подлежит вся схема (узел оборудования).

Второй случай предусматривает частичную замену схемы либо узла (как правило, части его оборудования).

Оба данных варианта рассматриваются при проведении реконструкции подстанций.

Основные нормы и требования, предъявляемые к реконструкции понизительных подстанций энергосистем Российской Федерации, включают следующие основные аспекты:

- безопасность: работы по реконструкции подстанций должны соответствовать нормам и требованиям по безопасности электротехнических установок [10]. Данный аспект включает в себя

- обеспечение защиты персонала при выполнении работ на всех уровнях, предотвращение аварий и соблюдение правил по электробезопасности с целью недопущения несчастных случаев;
- соблюдение технических нормативов и стандартов: реконструкция понизительных подстанций должна соответствовать национальным и международным стандартам и нормам для электроэнергетических установок, таким, как стандарты Международной электротехнической комиссии (далее – МЭК), а также национальным нормативам [14];
 - требования к оборудованию: при реконструкции трансформаторной подстанции необходимо учесть требования к выбору, установке и испытаниям оборудования, включая трансформаторы, выключатели, предохранители, релейную защиту и другие составляющие;
 - энергоэффективность: при реконструкции следует уделять пристальное внимание внедрению более эффективных и энергосберегающих технологий и решений, так как это может улучшить общую эффективность работы подстанции и участка энергосистемы в целом [5];
 - автоматизация и управление: современная реконструкция подстанции должна включать в себя внедрение современных систем автоматизации, удаленного мониторинга и управления, что поможет повысить контроль над процессами и оперативно реагировать на текущие изменения [20];
 - соблюдение экологических норм: мероприятия по реконструкции должны соответствовать нормам и требованиям по охране окружающей среды, включая утилизацию старого оборудования и минимизацию воздействия на природу;
 - учет специфических условий: в проект реконструкции подстанций должны учитываться климатические, географические и другие специфические условия местоположения подстанции [16];

- проектирование и документация: известно, что реконструкция объектов электроэнергетики требует разработки подробного проекта, включая детальные расчёты и проверки, технические чертежи, схемы, спецификации оборудования и другую необходимую документацию [9];
- соблюдение сроков и бюджета: реконструкция должна выполняться в рамках установленных сроков и бюджета, чтобы минимизировать простои и издержки. Данные аспекты по срокам выполнения работ должны быть чётко прописаны в договоре с учётом сметы и капитальных вложений.

Кроме того, при проведении реконструкции понижающих подстанций важно сотрудничать с квалифицированными инженерами и специалистами, которые имеют опыт работы с электроэнергетическими системами и имеют высокую квалификацию.

Таким образом, в результате проведённого анализа литературы по вопросу норм и требований, которые предъявляются к реконструкции понизительных подстанций энергосистем Российской Федерации, установлено, что реконструкция трансформаторных подстанций энергосистемы является чрезвычайно важной, ответственной и необходимой задачей, сопряжённой со значительными техническими и финансовыми издержками.

Далее в работе, основываясь на приведённой технической информации, с учётом проведённого анализа литературы по вопросу норм и требований, которые предъявляются к реконструкции понизительных подстанций энергосистем Российской Федерации, в работе проводится аргументированное обоснование целесообразности применения основных мероприятий по реконструкции ПС-35/6 кВ «Ушаково».

«В данной работе, после проведения анализа, предложены рекомендации по реконструкция электрической части понизительной

подстанции «Ушаково» класса напряжения 35/6 кВ, включающие в себя следующие основные этапы, а именно» [15]:

- «реконструкцию схемы электрических соединений подстанции на стороне 35 кВ, предусматривающей ввод второй питающей линии 35 кВ, так как в связи с изменением категоричности новых потребителей подстанции, большинство из которых относятся к I и II категории надёжности, необходим второй независимый источник питания, а также реконструкция схемы электрических соединений ЗРУ-35 кВ, обусловленных данным фактом» [19]. При этом планируется демонтировать воздушную линию 35 кВ в связи с её техническим износом и недопустимостью прохождения трассы в населённых пунктах Богородское, Ченцово и Сляднево, включая рекреационную зону Нижегородской области. Вместо демонтированной ВЛ-35 кВ планируется использовать питающую кабельную линию напряжением 35 кВ, состоящую из двух силовых кабелей высокого напряжения. Таким образом, проблема надёжного питания потребителей подстанции будет решена с учётом безопасности населения и экологических факторов;
- реконструкцию схемы электрических соединений РУ-6 кВ в виду того, что планируется подключить и ввести в эксплуатацию по две новые отходящие линии (перспективная нагрузка) от каждой из секций сборных шин 6 кВ. Указанную нагрузку планируется подключить на незанятые ячейки «Резерв» первой и второй секции сборных шин 6 кВ (учитывая исходную схему электрических соединений подстанции). Таким образом, вся дополнительная (перспективная) нагрузка будет учтена в проекте с внедрением условий резервирования и надёжности в схеме РУ-6 кВ;
- модернизацию устаревших электрических аппаратов, которые выработали свой технический ресурс: в РУ-35 кВ подстанции (масляных выключателей и разъединителей) и РУ-6 кВ (масляных

выключателей). Данная «модернизация устаревшего оборудования реализуется путём замены их на современные модели и марки, отличающиеся улучшенными техническими и экономическими характеристиками» [3]. Таким образом будет повышена надёжность, экономичность и бесперебойность в системе силового оборудования подстанции;

- реконструкцию и модернизацию системы релейной защиты и автоматики (РЗА) силовых трансформаторов подстанции, обусловленную значительным числом аварийных отключений и ложных срабатываний последней, а также несоответствия устаревшего оборудования системы РЗА современным требованиям по обеспечению надёжности, селективности, быстродействия, бесперебойности и экономичности. Предложено провести замену их устаревших и некачественных устройств РЗА на новые и современные типы, обладающие всеми перечисленными характеристиками. Таким образом, будет повышена надёжность, селективность, быстродействие и бесперебойность работы системы аварийной защиты оборудования силовых трансформаторов и всей релейной защиты подстанции в целом.

«Данные аспекты соответствуют требованиям, которые предъявляются к электрическим схемам подстанций энергосистемы для питания объектов I и II категорий надёжности.

Такая реконструкция обеспечит значительно более высокий уровень надёжности с применением условий резервирования и секционирования, что положительно скажется на бесперебойном электроснабжении потребителей объекта исследования» [10]. Предложенные мероприятия детально рассматриваются и обосновываются расчётным путём на основании принятых методик в работе далее. На основании предложенных основных мероприятий по реконструкции ПС-35/6 кВ «Ушаково», далее в работе проводится аргументированное решение поставленных задач.

Выводы по разделу.

В работе приведены основные технические сведения по исходной схеме главных электрических соединений, основному оборудованию, установленному на ПС-35/6 кВ «Ушаково», а также по источнику питания данной подстанции.

Составлена и описана структурная схема объекта проектирования, детально описаны её основные составляющие.

Установлены проблемы, имеющие место в схеме электрических соединений подстанции.

Приведены значения фактических и перспективных максимальных нагрузок потребителей подстанции ПС-35/6 кВ «Ушаково».

В результате проведённого анализа литературы по вопросу норм и требований, которые предъявляются к реконструкции понизительных подстанций энергосистем Российской Федерации, установлено, что реконструкция трансформаторных подстанций энергосистемы является чрезвычайно важной, ответственной и необходимой задачей, сопряжённой со значительными техническими и финансовыми издержками.

Основываясь на приведённой технической информации, с учётом проведённого анализа литературы по вопросу норм и требований, которые предъявляются к реконструкции понизительных подстанций энергосистем Российской Федерации, «предложены рекомендации по реконструкция электрической части понизительной подстанции «Ушаково» класса напряжения 35/6 кВ, которые включают в себя следующие основные четыре этапа» [19]:

- «первый этап включает реконструкцию схемы электрических соединений подстанции на стороне 35 кВ, предусматривающей ввод второй питающей линии 35 кВ, так как в связи с изменением категоричности новых потребителей подстанции, большинство из которых относятся к I и II категории надёжности, необходим второй независимый источник питания, а также реконструкция схемы

электрических соединений ЗРУ-35 кВ, обусловленных данным фактом» [9]. При этом планируется демонтировать воздушную линию 35 кВ в связи с её техническим износом и недопустимостью прохождения трассы в населённых пунктах Богородское, Ченцово и Сляднево, включая рекреационную зону Нижегородской области. Вместо демонтированной ВЛ-35 кВ планируется использовать питающую кабельную линию напряжением 35 кВ, состоящую из двух силовых кабелей высокого напряжения. Таким образом, проблема надёжного питания потребителей подстанции будет решена с учётом безопасности населения и экологических факторов;

- второй этап предусматривает реконструкцию схемы электрических соединений РУ-6 кВ в виду того, что планируется подключить и ввести в эксплуатацию по две новые отходящие линии (перспективная нагрузка) от каждой из секций сборных шин 6 кВ. Указанную нагрузку планируется подключить на незанятые ячейки «Резерв» первой и второй секции сборных шин 6 кВ (учитывая исходную схему электрических соединений подстанции). Таким образом, вся дополнительная (перспективная) нагрузка будет учтена в проекте с внедрением условий резервирования, секционирования, безопасности и надёжности в схеме РУ-6 кВ подстанции;
- на третьем этапе осуществляется модернизация устаревших электрических аппаратов, которые выработали свой технический ресурс: в РУ-35 кВ подстанции (масляных выключателей и разъединителей) и РУ-6 кВ (масляных выключателей). Таким образом будет повышена надёжность, экономичность и бесперебойность в системе силового оборудования подстанции;
- четвёртый этап предусматривает реконструкцию и модернизацию системы релейной защиты и автоматики (РЗА) силовых трансформаторов подстанции, обусловленную значительным числом аварийных отключений и ложных срабатываний последней, а также

несоответствия устаревшего оборудования системы РЗА современным требованиям по обеспечению надёжности, селективности, быстродействия, бесперебойности и экономичности. Предложено провести замену их устаревших и некачественных устройств РЗА на новые и современные типы, обладающие всеми перечисленными характеристиками. Таким образом, будет повышена надёжность, селективность, быстродействие и бесперебойность работы системы аварийной защиты оборудования силовых трансформаторов и всей релейной защиты подстанции в целом.

В работе расчётным путём, с использованием принятых методик и каталогов заводов-изготовителей, необходимо подтвердить предложенные в разделе технические решения по реконструкции объекта исследования.

Основываясь на краткой исходной характеристике исходной схемы главных электрических соединений, основному оборудованию, установленному на ПС-35/6 кВ «Ушаково», а также по источнику питания данной подстанции, с учётом разработанных рекомендаций по реконструкции объекта проектирования, далее в работе проводится решение поставленных задач.

2 Реконструкция силовой электрической части подстанции

2.1 Реконструкция схемы электрических соединений подстанции

Проводится практическое внедрение мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений подстанции переменного тока ПС-35/6 кВ «Ушаково».

На объекте проектирования (ПС-35/6 кВ «Ушаково»), после проведения реконструкции, качественно изменится структурная схема данной трансформаторной подстанции (рисунок 3).

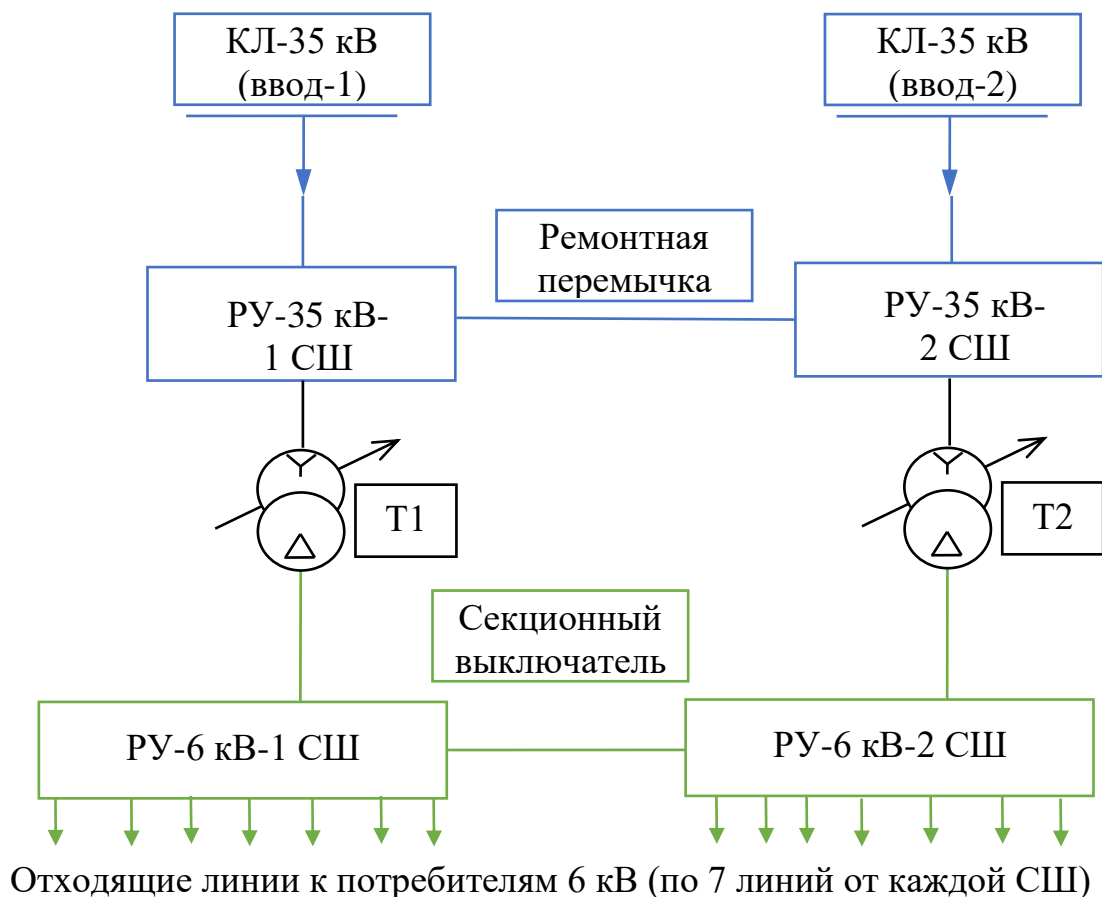


Рисунок 3 – Структурная схема ПС-35/6 кВ «Ушаково», полученная в результате внедрения мероприятий по её реконструкции

Так как большинство потребителей, получающие питание от ПС-35/6 кВ «Ушаково», относятся к 1 и 2 категориям потребителей, значит, в схеме ЗРУ-

35 кВ последней обязательно должны быть два независимых источника питания согласно [9]. Кроме того, на секциях сборных шин 35 кВ ПС-35/6 кВ «Ушаково» должно присутствовать резервирование, которое введено в схему с помощью ремонтной перемычки, установленной между секциями сборных шин 35 кВ (рисунок 3). Эти секции выполнены с разделением на две части и секционированы секционными аппаратами. Таким образом, на подстанции ПС-35/6 кВ «Ушаково» будут выполнены условия для обеспечения надёжности и бесперебойного питания потребителей 1 и 2 категорий.

Питание ТП-35/6 кВ осуществляется от подстанции энергосистемы двумя линиями напряжением 35 кВ. Так как прокладка линий будет осуществляться в населённых пунктах, следовательно, исходя из анализа основных требований, приведённых в работе ранее, в работе после реконструкции выбирается питающая кабельная линия (далее – КЛ), состоящая из двух силовых кабелей напряжением 35 кВ. Сечение и марка данной КЛ-35 кВ выбирается в работе далее.

В работе предлагается соорудить РУ-35 кВ ПС-35/6 кВ «Ушаково» в виде современного закрытого распределительного устройства (далее – ЗРУ-35 кВ), расположенного в отдельном здании на подстанции. При этом применяются инновационные ячейки 35 кВ с соответствующим оборудованием, которое подлежит выбору в работе далее.

Так как проектируемая подстанция ПС-35/6 кВ «Ушаково» по месту расположения в схеме – тупиковая, следовательно, в ЗРУ-35 кВ после реконструкции должна применяться соответствующая схема, обеспечивающая надёжное питание потребителей подстанции с учётом резервирования в схеме.

«Поэтому для применения в РУ-35 кВ ПС-35/6 кВ «Ушаково» после реконструкции применяется схема «Одна рабочая система сборных шин, секционируемая выключателем» [6].

Два силовых трансформатора в схеме ПС-35/6 кВ «Ушаково», должны работать отдельно (каждый питает нагрузку своей секции сборных шин 6 кВ).

Такой режим работы трансформаторов рекомендован требованиями.

Трансформаторы в работе предлагается проверить на допустимую перегрузку в связи с изменением схемы подстанции и внедрения перспективной нагрузки, и при необходимости заменить их на актуальные марки большей номинальной мощности.

В работе предлагается соорудить РУ-6 кВ в виде современного закрытого распределительного устройства (далее – ЗРУ-6 кВ), расположенного в отдельном здании на подстанции.

При этом применяются инновационные ячейки 6 кВ типа КРУ с соответствующим оборудованием, которое подлежит выбору в работе далее.

В РУ-6 кВ должна применяться соответствующая схема, обеспечивающая надёжное питание потребителей подстанции с учётом резервирования в схеме.

Поэтому «применяется схема «Одна рабочая система сборных шин, секционируемая выключателем».

Такая схема очень надёжная, обеспечивая все необходимые условия и требования нормативных документов» [16], поэтому она остаётся без изменений.

Кроме того, данная схема требует минимум обслуживания с применением ячеек типа КРУ, и очень удобна при проведении оперативных переключений на подстанции.

Так как применяются ячейки типа КРУ, разъединители в РУ-6 кВ не устанавливаются.

Данный аспект создаёт дополнительные удобства при ремонте, обслуживании и оперативных переключениях схемы ЗРУ-6 кВ.

При этом, с целью создания требуемого резерва в системе, подключение новых потребителей (перспективной нагрузки подстанции) проводится равномерно на обе секции сборных шин РУ-6 кВ (на незанятые ячейки «Резерв»).

Все качественные изменения, полученные в результате реконструкции ПС-35/6 кВ «Ушаково», показаны на структурной схеме рисунка 3.

Исходя из выбранных решений, далее проводится расчёт параметров и характеристик выбранной схемы ПС-35/6 кВ «Ушаково».

2.2 Расчёт электрических нагрузок

Далее в работе необходимо провести расчёт электрических нагрузок электрической части понизительной подстанции «Ушаково» класса напряжения 35/6 кВ после её реконструкции.

Очевидно, что расчёт электрических нагрузок подстанций является важной задачей в электроэнергетике.

Этот расчёт позволяет определить, какое количество электроэнергии может быть передано через подстанцию без нарушения стабильности работы системы электроснабжения.

Основной целью такого расчёта является обеспечение надёжной и безопасной работы не только подстанции, но и всей электроэнергетической инфраструктуры в целом.

Задачи расчёта максимальных электрических нагрузок подстанций включают следующие аспекты:

- сбор исходных данных. На первом этапе необходимо собрать информацию о всех потребителях, получающих питание от данной подстанции, и определить их энергопотребление, включая как текущее потребление, так и прогнозируемый рост нагрузок;
- определение характера нагрузок: на данном этапе проводится систематизация собранного материала. Известно, что электрические нагрузки могут быть различными по характеру: активными (потребление активной мощности), реактивными (потребление реактивной мощности) и комбинированными (смешанными).

Известно, что определение характера нагрузок важно для правильного расчёта;

- непосредственное определение максимальной мощности нагрузки: с учётом текущих и будущих нагрузок, а также с учётом моментов пикового спроса, необходимо расчётным путём определить максимальную активную и реактивную мощность, которая может быть передана через подстанцию;
- проверочный расчёт допустимых перегрузок: известно, что подстанции могут работать в режиме перегрузки на определённое время, но это должно быть ограничено и контролируемо. Проверочный расчёт должен определить, насколько допустимы перегрузки и как долго они могут продолжаться.

В некоторых случаях дополнительно проводится проверочный расчёт стабильности сети (как правило, в узлах разветвлённой энергосистемы высоких классов напряжения). Известно, что передача слишком больших нагрузок через подстанцию может привести к нестабильности работы всей электрической сети. В таком случае, расчёт нагрузок а подстанции должен учитывать этот аспект и гарантировать стабильную работу системы путём учёта баланса мощностей в энергосистеме, в которую входит подстанция.

Таким образом, основными задачами расчёта максимальных электрических нагрузок подстанций является обеспечение стабильной и надёжной работы электроэнергетической системы, минимизация рисков перегрузок и аварий, а также оптимизация использования энергоресурсов.

Проводится непосредственный расчёт максимальных электрических нагрузок подстанции 35/6 кВ «Ушаково» с учётом двух новых линий перспективной нагрузки, подключаемых ко второй секции сборных шин 6 кВ на незанятые ячейки «Резерв» (таблица 1).

«Активная расчётная нагрузка одиночных присоединений потребителей электрической части подстанции 35/6 кВ» [15]:

$$P_{np} = K_3 \cdot P_m, \text{ кВт}, \quad (1)$$

где « P_m – максимальная активная нагрузка присоединений потребителей подстанции 35/6 кВ, кВт» [11];

K_3 – «коэффициент загрузки потребителей подстанции 35/6 кВ, о.е.» [15].

«Реактивная расчётная нагрузка потребителей электрической части подстанции 35/6 кВ» [15]:

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

где « $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности» [15].

«Полная нагрузка одиночных присоединений потребителей электрической части подстанции 35/6 кВ» [15]:

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

«Расчёт проводится на примере присоединения потребителя 6 кВ «БКТП-39» (ячейка №1 СШ-1 РУ-6 кВ ТП-35/6 кВ)» [15]:

$$P_{np} = 570 \cdot 1 = 570 \text{ кВт}.$$

$$Q_{np} = 570 \cdot 0,4 = 399 \text{ квар}.$$

$$S_{np} = \sqrt{570^2 + 399^2} = 695,8 \text{ кВА}.$$

«Аналогично проведён расчёт электрических нагрузок остальных присоединений потребителей 6 кВ понизительной подстанции ТП-35/6 кВ с приведением результатов расчёта в форме результирующей таблицы 2» [15].

«При расчёте нагрузок в таблице 2 учитывается схема электрических соединений подстанции, полученная после внедрения мероприятий по проектированию подстанции ранее: разделения нагрузок на две секции сборных шин 6 кВ. В таблице 2 результаты расчёта нагрузок для наглядности разделены на секции сборных шин 6 кВ» [9].

Таблица 2 – Результаты расчёта электрических нагрузок присоединений потребителей подстанции 35/6 кВ «Ушаково»

Секция сборных шин 6 кВ ТП-6/0,4 кВ	Наименование присоединений потребителей	$P_{пр.}$, кВт	$Q_{пр.}$, квар	$S_{пр.}$, кВА
СШ-1 (6 кВ)	БКТП-39	570	399,0	695,8
	БКТП-44	480	192,0	517,0
	БКТП-61	460	184,0	495,4
	БКТП-64	520	208,0	560,1
	БКТП-65	560	224,0	603,2
	РУ-6 кВ-72	640	256,0	689,3
	ОСГВ	650	260,0	700,1
Всего по СШ-1 (6 кВ)	ТП-6/0,4 кВ	3880	1723,0	4260,9
СШ-2 (6 кВ)	БКТП-39	570	399,0	695,8
	БКТП-44	480	192,0	517,0
	БКТП-61	460	184,0	495,4
	БКТП-64	520	208,0	560,1
	БКТП-65	560	224,0	603,2
	РУ-6 кВ-72	640	256,0	689,3
	ОСГВ	650	260,0	700,1
Всего по СШ-2 (6 кВ)	ТП-6/0,4 кВ	3880	1723,0	4260,9
Всего по ТП-6/0,4 кВ		7760	3446	8521,8

«Далее определяются значения расчётных нагрузок секций шин РУ-6 кВ и всей подстанции с учётом значения коэффициента одновременности максимума нагрузок (K_o).

В данном случае этот расчёт важен, так как позволяет выбрать и проверить силовые трансформаторы подстанции, которые питают отдельно свои секции сборных шин РУ-6 кВ.

Таким образом, значение расчётной активной нагрузки секций сборных шин РУ-6 кВ и всей ТП-35/6 кВ с учётом коэффициента одновременности максимума нагрузки согласно» [15]:

$$P_{\Sigma} = K_0 \sum_{i=1}^n P_{np}, \quad (4)$$

где K_0 – вероятный коэффициент одновременности максимума нагрузок, о.е. [15];

$$\sum_{i=1}^n P_{np} \text{ – «суммарная активная нагрузка» [15].}$$

«Значение расчётной реактивной нагрузки секций сборных шин РУ-6 кВ и всей электрической части подстанции 35/6 кВ» [15]:

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

где $\sum_{i=1}^n Q_{np}$ – «суммарная реактивная нагрузка» [15].

«Значение расчётной полной нагрузки секций сборных шин 6 кВ подстанции 35/6 кВ» [15]:

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

«Расчёт проводится на примере 1 секции шин РУ-6 кВ ПС-35/6 кВ «Ушаково»» [3]:

$$P_{\Sigma} = 0,9 \cdot 3880 = 3492 \text{ кВт.}$$

$$Q_{\Sigma} = 0,9 \cdot 1723 = 1550,7 \text{ квар.}$$

$$S_{\Sigma} = \sqrt{3492^2 + 1550,7^2} = 4236,0 \text{ кВА.}$$

«Аналогично в работе проведены расчёты активных, реактивных и полных нагрузок второй секций сборных шин РУ-6 кВ и всей подстанции,

выполненные с учётом значения коэффициента одновременности максимума нагрузки, с приведением полученных результатов в форме таблицы 3» [15].

Таблица 3 – «Результаты расчёта нагрузок секций сборных шин РУ-6 кВ и всей подстанции ПС-35/6 кВ «Ушаково» с учётом значения коэффициента одновременности максимума нагрузки» [15]

Наименование секции (ТП)	P_{Σ} , кВт	Q_{Σ} , квар	S_{Σ} , кВА
Всего по I секции шин РУ-6 кВ (с учётом значения K_o)	3942,0	1550,7	4236,0
Всего по II секции шин РУ-6 кВ (с учётом значения K_o)	3942,0	1550,7	4236,0
Всего по подстанции 35/6 кВ «Ушаково» (с учётом значения K_o)	7884,0	3101,4	8472,0

Полученные результаты используются в работе далее для выбора и проверки основного оборудования и сетей подстанции.

2.3 Проверка силовых трансформаторов подстанции в результате реконструкции

Далее в работе необходимо проверить силовые трансформаторы подстанции 35/6 кВ «Ушаково» на допустимую нагрузку в нормальном режиме, с учётом допустимой перегрузки в послеаварийном режиме работы, когда на подстанции остаётся один силовой трансформатор, обеспечивающий питание потребителей 1 и 2 категорий надёжности.

Данная проверка обусловлена внедрением в исходную схему главных электрических соединений двух питающих линий 35 кВ для обеспечения электроснабжения силовых трансформаторов, а также новой перспективной нагрузки в виде двух отходящих линий к потребителям 6 кВ (таблицы 2,3).

Данный факт обуславливает изменение расчётной нагрузки всей подстанции 35/6 кВ «Ушаково».

Как было указано ранее, на подстанции 35/6 кВ «Ушаково» в исходной схеме электрических соединений установлены два силовых трансформатора номинальной мощности 6,3 МВА (марки ТМН-6300/35).

После внедрения мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений подстанции, в работе была обоснована установка второй питающей линии для отдельного питания двух силовых трансформаторов, номинальную мощность которых необходимо выбрать и проверить на основе расчётных электрических нагрузок с учётом подключения перспективной нагрузки. Проводится выбор и проверка силовых трансформаторов подстанции 35/6 кВ «Ушаково» в нормальном и послеаварийном режимах работы по методике [9].

«Расчётная мощность силового трансформатора для установки на подстанции» [9]:

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

где « $S_{\text{max.ПС}}$ – максимальное значение полной расчетной нагрузки трансформаторной подстанции» [9].

Для расчёта выбирается нагрузка подстанции 35/6 кВ «Ушаково» с учётом коэффициента одновременности (таблица 3).

«По условию (7) для силовых трансформаторов, установленных на понижающей подстанции 35/6 кВ» [9]:

$$S_{\text{ном.т.р.}} = 0,7 \cdot 8472 \approx 5930,4 \text{ кВА}.$$

Исходя из полученных результатов расчёта, предварительно выбираются для установки на подстанции переменного напряжения ПС-35/6 кВ «Ушаково» после проведения реконструкции, два силовых трансформатора марки ТМН-6300/35.

«При проверке проводится сравнение номинальной мощности силового трансформатора и полученного значения расчётной мощности трансформатора ПС-35/6 кВ» [9]:

$$S_{\text{ном.т.}} \geq S_{\text{ном.т.р.}}, \text{MBA}, \quad (8)$$

Из результатов расчёта можно сделать вывод, что номинальная мощность силовых трансформаторов, выбранных для установки на подстанции переменного напряжения 35/6 кВ, превышает допустимое расчётное значение нагрузки подстанции:

$$S_{\text{ном.т.}} = 2 \cdot 6300 = 12600 \text{ кВА} \geq S_{\text{ном.т.р.}} = 8472 \text{ кВА}.$$

Далее проводится проверочный расчёт силовых трансформаторов подстанции 35/6 кВ на допустимую перегрузку (аварийную перегрузку) в послеаварийном режиме работы.

«При этом коэффициент загрузки трансформатора в нормальном режиме на подстанции переменного напряжения 35/6 кВ «Ушаково» не должен превышать значения 0,7» [15]:

$$K_{\text{з.н}} = \frac{0,5 \cdot S_{\text{ПС}}}{S_{\text{ном.т}}} \leq 0,7. \quad (9)$$

«Коэффициент загрузки трансформатора подстанции 35/6 кВ в послеаварийном режиме не должен превышать значения 1,4» [15]:

$$K_{\text{з.н}} = \frac{S_{\text{ПС}}}{S_{\text{ном.т}}} \leq 1,4. \quad (10)$$

Принимается допущение, что на каждый из двух силовых трансформаторов подстанции нагрузка распределяется равномерно (таблицы 2,3). Значит, нормативная загрузка силовых трансформаторов в нормальном режиме работы, установленных на ПС-35/6 кВ «Ушаково», соответствует нормативным данным:

$$K_{з.н} = \frac{0,5 \cdot 8472}{6300} = 0,67 \leq 0,7.$$

Таким образом, перегрузка силовых трансформаторов, установленных на ПС-35/6 кВ «Ушаково», в послеаварийном режиме работы, не превышает предельно допустимых нормативных данных, следовательно, марка и тип трансформаторов выбраны правильно:

$$K_{з.н} = \frac{8472}{6300} = 1,34 \leq 1,4.$$

Таким образом, в результате проведения соответствующих расчётов по выбору и проверке силовых трансформаторов на подстанции установлено, что условия всех требуемых проверок соблюдается, следовательно, силовые трансформаторы марки ТМН-6300/35, которые установлены в исходной схеме подстанции 35/6 кВ «Ушаково», после проведения реконструкции подходят для установки на данном объекте с учётом подключения перспективной нагрузки и реконструкции схемы РУ-35 кВ данного объекта.

2.4 Выбор и проверка проводников

Далее в работе необходимо провести выбор и проверку проводников на подстанции 35/6 кВ «Ушаково».

Известно, что выбор и проверка проводников на подстанции являются важным шагом для обеспечения безопасной и эффективной работы как самой подстанции, так и электроэнергетической системы в целом. Основной задачей выбора и проверки проводников на подстанции является эффективная передача электроэнергии с минимальными значениями потерь.

При выборе и проверке проводников на подстанции необходимо провести выбор и обоснование следующих технических решений:

- выбор типа проводников в зависимости от схемы подстанции, величины максимальной нагрузки, условий монтажа и эксплуатации и других факторов. Варианты выбора могут включать алюминиевые или медные проводники, а также различные типы проводников (воздушные, кабельные линии, шинные конструкции);
- выбор сечения проводников, которое рассчитывается и проверяется по условиям максимальной нагрузки с учётом резервирования питания (для потребителей 1 и 2 категорий надёжности);
- проверочный тепловой расчет проводников для подтверждения их работоспособности во всех режимах без перегрева. Это также особенно важно для предотвращения возможных пожаров;
- проверка по механической прочности: особенно важна для проводов воздушных линий электропередачи, так как они подвергаются воздействию ветра, снега и других климатических факторов.
- прочие специфические проверки (проверка на динамическую устойчивость шин к токам короткого замыкания, проверка минимального сечения кабельных линий и другие аналогичные проверки).

Таким образом, выбор и проверка проводников на подстанции 35/6 кВ «Ушаково» является важным заданием, которое требует комплексного подхода.

В работе для установки на подстанции 35/6 кВ «Ушаково» после внедрения мероприятий по реконструкции, проводится непосредственный выбор и проверка следующих проводников:

- питающей сети 35 кВ – для питания двух силовых трансформаторов подстанции от энергосистемы;
- распределительной сети 6 кВ – для обеспечения питания потребителей подстанции, включая две новые линии перспективной нагрузки.

Таким образом, во всех перечисленных случаях принимаются к установке на подстанции 35/6 кВ «Ушаково» проводники кабельных линий электропередачи.

«Выбор сечения проводников напряжением выше 1 кВ по экономической плотности тока» [13]:

$$F_3 = \frac{I_p}{j_3}, \quad (11)$$

где « j_3 – экономическая плотность тока, А/мм²» [13].

«Значение максимального тока ПАВ режима» [13]:

$$I_{p.\max} = 1,4 \cdot \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}} = 1,4 \cdot I_p. \quad (12)$$

где « S_p – расчётная полная нагрузка линии, кВА;

I_p – расчётный ток нормального режима;

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

«Проверка выбранного сечения» [13]:

$$I_{доп} \geq I_p, \quad (13)$$

где « $I_{доп}$ – предельно – допустимое справочное значение тока выбранного проводника линии, А» [13].

Аналогично проводится проверка выбранного сечения кабеля кабельной линии в послеаварийном режиме работы, в которой учтён нагрев кабельной ЛЭП током ПАВ режима [13]:

$$I_{доп} \geq I_{p.\max}, \quad (14)$$

«где $I_{p.\max}$ – максимальный ток послеаварийного режима, А» [13].

Кроме того, по механической прочности проводники кабельных линий должны быть не меньшего сечения чем стандартное минимально-допустимое сечение для данного класса напряжения линии, с учётом выпускаемых изделий отечественной электротехнической промышленности.

«Проверка сечения по механической прочности» [13]:

$$F_{ст} \geq F_{мин}, мм^2. \quad (15)$$

На основе приведённых расчётных формул согласно принятой методики выбора и проверки сечений кабельных линий электропередач, проводится проверка сечения кабеля питающей кабельной линии КЛ-35 кВ ТП-35/6 кВ.

Сечение питающей кабельной линии напряжением 35 кВ выбирается, исходя из номинальной мощности силовых трансформаторов, которые от неё питаются.

Как было указано ранее, на ТП-35/6 кВ в результате внедрения мероприятий по проектированию схемы электрических соединений, предложено установить два силовых трансформатора марки ТМН-6300/35.

В связи с этим, ток нормального режима питающей КЛ-35 кВ для питания каждого трансформатора ТП-35/6 кВ «Ушаково»:

$$I_p = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 35} \approx 103,9 \text{ А.}$$

Расчётное сечение питающей КЛ-35 кВ понизительной подстанции переменного напряжения 35/6 кВ «Ушаково» по условию экономической плотности тока:

$$F_э = \frac{103,9}{1,4} = 74,2 \text{ мм}^2.$$

Исходя из полученных результатов расчёта, для питания силовых трансформаторов подстанции на стороне 35 кВ с учётом их максимальной нагрузки, принимается сечение питающей кабельной линии напряжением 35 кВ с применением двух силовых кабелей марки ПвВнг-LS 3(1×70/25-35).

Допустимый ток длительного режима для данного сечения кабеля вне помещений равен 210 А.

Проверка кабеля по току нормального режима выполняется:

$$210 \text{ А} \geq 130,9 \text{ А}.$$

Максимальный расчётный ток ПАВ режима питающей КЛ-35 кВ для питания каждого трансформатора ТП-35/6 кВ с учётом резервирования в схеме:

$$I_p = 1,4 \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 35} \approx 145,5 \text{ А}.$$

Проверка питающего кабеля напряжением 35 кВ по максимальному току ПАВ режима выполняется:

$$210 \text{ А} \geq 145,5 \text{ А}.$$

Проверка выбранного сечения кабеля питающей КЛ-35 кВ понизительной подстанции ТП-35/6 кВ «Ушаково» по механической прочности, исходя из минимального сечения, также выполняется:

$$70 \text{ мм}^2 \geq 35 \text{ мм}^2.$$

Условия проверок выполняются, следовательно, выбранные кабели марки ПвВнг-LS 3(1×70/25-35) полностью удовлетворяет всем условиям

выбора и проверки и подходят для питающей линии 35 кВ к трансформаторам подстанции ТП-35/6 кВ «Ушаково».

Аналогично выбраны остальные кабельные линии распределительной сети напряжением 6 кВ (таблица 4).

Таблица 4 – Результаты выбора и проверки сечения кабельных линий питающей (35 кВ) и распределительной (6 кВ) сетей ТП-35/6 кВ «Ушаково» после внедрения мероприятий по реконструкции

СШ	Наименование линии	I_p , А	$I_{p,max}$, А	$F_{ст}$, мм ²	Марка кабеля	$I_{доп}$, А
Питающие кабельные линии 35 кВ						
СШ-1 (35 кВ)	КЛ-35 кВ-1Т	130,9	145,5	70,0	ПвВнг-LS 3(1×70/25-35)	210
СШ-2 (35 кВ)	КЛ-35 кВ-2Т	130,9	145,5	70,0	ПвВнг-LS 3(1×70/25-35)	210
Распределительные кабельные линии 6 кВ						
СШ-1 (6 кВ)	КЛ-6 кВ-БКТП-39	67,0	93,8	70	ПвВнг-LS 3(1×70/6-10)	245
	КЛ-6 кВ-БКТП-44	49,7	69,6	50	ПвВнг-LS 3(1×50/6-10)	205
	КЛ-6 кВ-БКТП-61	47,7	66,8	50	ПвВнг-LS 3(1×50/6-10)	205
	КЛ-6 кВ-БКТП-64	53,9	75,5	50	ПвВнг-LS 3(1×50/6-10)	205
	КЛ-6 кВ-БКТП-65	58,0	81,2	50	ПвВнг-LS 3(1×50/6-10)	205
	КЛ-6 кВ-РУ-6 кВ-72	66,3	92,8	70	ПвВнг-LS 3(1×70/6-10)	245
	КЛ-6 кВ-ОСГВ	67,4	94,4	70	ПвВнг-LS 3(1×70/6-10)	245
СШ-2 (6 кВ)	КЛ-6 кВ-БКТП-39	67,0	93,8	70	ПвВнг-LS 3(1×70/6-10)	245
	КЛ-6 кВ-БКТП-44	49,7	69,6	50	ПвВнг-LS 3(1×50/6-10)	205
	КЛ-6 кВ-БКТП-61	47,7	66,8	50	ПвВнг-LS 3(1×50/6-10)	205
	КЛ-6 кВ-БКТП-64	53,9	75,5	50	ПвВнг-LS 3(1×50/6-10)	205
	КЛ-6 кВ-БКТП-65	58,0	81,2	50	ПвВнг-LS 3(1×50/6-10)	205
	КЛ-6 кВ-РУ-6 -72	66,3	92,8	70	ПвВнг-LS 3(1×70/6-10)	245
	КЛ-6 кВ-ОСГВ	67,4	94,4	70	ПвВнг-LS 3(1×70/6-10)	245

Все выбранные кабельные линии как питающей (35 кВ), так и распределительной (6 кВ) сетей подстанции ТП-35/6 кВ «Ушаково», удовлетворяют условиям выбора и проверки, поэтому могут быть применены на данном объекте в результате внедрения мероприятий по реконструкции.

При этом исходная питающая ВЛ-35 кВ полностью демонтируется, так как исчерпала свой технический ресурс и не подлежит восстановлению. Кроме того, воздушные линии запрещено применять в населённых пунктах [11].

Результаты выбора линий питающей (35 кВ) и распределительной (6 кВ) кабельных сетей подстанции показаны в графической части работы.

2.5 Расчёт токов короткого замыкания

Известно, что расчёт токов короткого замыкания на понизительных трансформаторных подстанциях является важной частью проектирования электроэнергетических систем.

Главной целью этого расчёта является обеспечение безопасной и надёжной работы электрооборудования и электрических сетей, минимизация повреждений в случае короткого замыкания, а также определение параметров релейной защиты и автоматики срабатывания защитных устройств.

Основные задачи расчёта токов короткого замыкания включают:

- определение максимальных токов короткого замыкания (далее – КЗ): известно, что расчёт токов короткого замыкания позволяет определить максимальные значения токов, которые могут протекать в системе в случае короткого замыкания (как правило, в максимальном режиме работы системы). Это помогает выбрать и проверить соответствующее электрооборудование, а также электрические сети и уставки максимальной защиты;
- выбор и настройка устройств защиты: расчёт токов КЗ помогает определить параметры и настройки защитных реле, которые воздействуют на привод выключателей, отключающие, в свою очередь, повреждённый участок сети при коротком замыкании и предотвратить, таким образом, распространение и развитие повреждений;
- согласование защиты: результаты расчёта токов короткого замыкания также позволяет произвести координацию (согласование) между различными уровнями защиты в электроэнергетической системе. Это означает, что защитные устройства должны срабатывать в определенной последовательности, чтобы быстро изолировать только тот участок системы, где произошло короткое замыкание,

минимизируя негативное влияние на другие участки (селективность релейной защиты);

- оценка механической устойчивости: величина тока короткого замыкания влияет на механическую устойчивость оборудования подстанции и энергосистемы в целом. Расчёт механической устойчивости к токам КЗ позволяет гарантировать безопасность, надёжность и долговечность оборудования;
- оценка термической устойчивости: токи КЗ оказывают существенное влияние на температурные характеристики оборудования и сетей подстанции, приводя к выходу из строя изоляции и токоведущих частей вследствие резкого увеличения температуры в системе.
- определение влияния на соседние элементы энергосистемы: токи короткого замыкания на подстанции могут влиять на соседние элементы энергосистемы, вызывая падение напряжения, увеличение токов и появление высших гармоник. Расчёт данного влияния позволяет оценить, какие дополнительные меры могут потребоваться для обеспечения нормальной работы энергосистемы.

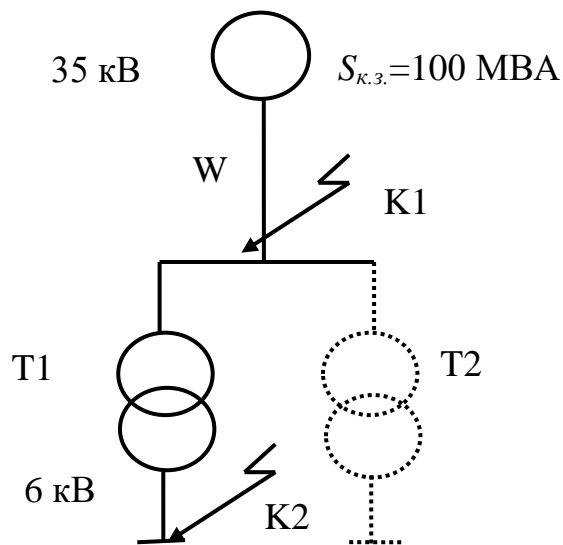
Расчёт токов короткого замыкания включает в себя анализ электрических параметров системы (напряжение, сопротивления, мощности, а в энергосистеме, состоящих из разветвлённых линий высокого напряжения – индуктивности и емкости), выбор типа КЗ (асимметричные или симметричные виды КЗ), выбор методов расчёта (расчётный аналитический, графический, метод упорядоченных диаграмм и другие), а также использование математических моделей для описания поведения подстанции и энергосистемы в случае короткого замыкания и определение результатов, которые затем используются при выборе и проверке основного оборудования и настройке параметров релейной защиты и автоматики.

Расчёт токов КЗ на ПС-35/6 кВ «Ушаково» в работе проводится при использовании расчётного метода, в относительных единицах при приведении к базисным условиям.

При этом в энергосистеме предполагается наличие максимального режима работы при возникновении трёхфазного тока КЗ (симметричный вариант). В таком режиме токи КЗ максимальны.

На первом этапе необходимо составить расчётную схему и схему замещения электрической сети подстанции [20].

«Исходная расчётная схема для расчёта токов КЗ на ПС-35/6 кВ представлена на рисунке 4» [19].

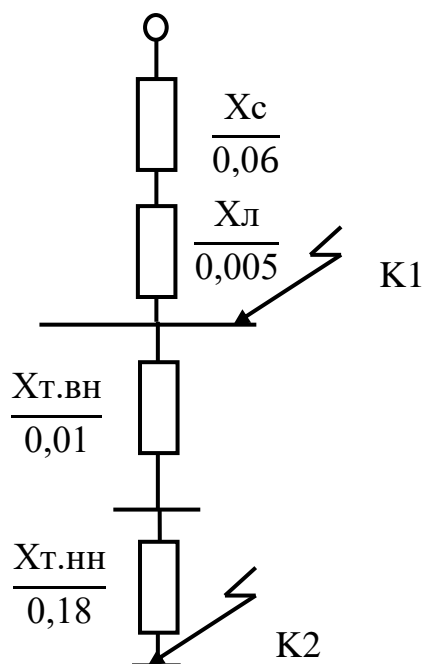


«Рисунок 4 – Исходная схема для расчёта токов КЗ на ПС-35/6 кВ» [12]

Схема замещения представляет собой разновидность принципиальной схемы, в которой все основные элементы замещаются сопротивлениями, индуктивностями и ёмкостями.

Влияние последних двух на параметры схемы минимальны, поэтому их значениями можно пренебречь [13].

«Исходная схема замещения для расчёта токов короткого замыкания на подстанции 35/6 кВ в максимальном режиме представлена на рисунке 5» [13].



«Рисунок 5 – Исходная схема замещения для расчёта токов КЗ» [13]

«В исходной схеме для расчёта токов КЗ необходимо учесть все основные элементы, которые влияют на результаты расчёта своими индуктивными сопротивлениями, которые необходимо учитывать в данных схемах в первую очередь» [13].

«В качестве основной базисной ступени для расчёта в работе выбирается ступень высшего напряжения – 35 кВ» [13].

Вторая ступень трансформации (6 кВ) – не основная, при расчёте токов КЗ полученный результат на ней необходимо умножить на коэффициент трансформации трансформатора подстанции.

«Базисная мощность принимается равной номинальной мощности силового трансформатора ТП-35/6 кВ, оставшегося в работе в послеаварийном режиме (при этом второй трансформатор подстанции отключён, что отображено в расчётной схеме и схеме замещения, а также учтено при расчётах далее)» [13]:

$$S_{\sigma} = 6300 \text{ кВА} = 6,3 \text{ МВА}.$$

«Базисное напряжение схемы определяется с учётом номинального напряжения» [13]:

$$U_{\bar{o}} = 1,05 \cdot U_{ном}, \text{кВ.} \quad (16)$$

«Таким образом, базисные напряжения для двух ступеней трансформации схемы (35 кВ и 6 кВ)» [13]:

$$U_{\bar{o}.1} = 1,05 \cdot 35 = 36,75 \text{кВ,}$$

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

«Базисный ток» [13]:

$$I_{\bar{o}} = \frac{S_{\bar{o}}}{\sqrt{3}U_{\bar{o}}}. \quad (17)$$

«Базисный ток для двух ступеней трансформации схемы (35 кВ и 6 кВ)» [13]:

$$I_{\bar{o}1} = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot 36,75} \approx 0,1 \text{кА,}$$

$$I_{\bar{o}2} = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 0,58 \text{кА.}$$

«Далее проводится расчёт параметров схемы замещения ПС-35/6 кВ «Ушаково» в именованных единицах.

Определяются сопротивления питающей линии, трансформаторов подстанции со стороны 35 кВ и 6 кВ, с учётом обобщённого сопротивления энергосистемы.

Сопrotивление энергосистемы в схеме замещения определяется по известной формуле» [13]:

$$X_c = \frac{S_{\bar{o}}}{S_{\text{кз}}}, \quad (18)$$

«где $S_{\text{кз}}$ - «мощность трёхфазного КЗ на шинах энергосистемы» [12].

«Численное значение обобщённого индуктивного сопротивления системы с учётом мощности КЗ на шинах энергосистемы при приведении к базисным условиям» [13]:

$$X_c = \frac{6,3}{100} \approx 0,06 \text{ Ом.}$$

Сопrotивление питающей кабельной линии напряжением 35 кВ ПС-35/6 кВ «Ушаково» с учётом её длины, в относительных единицах, при приведении к базисным условиям:

$$X_l = X_0 \cdot L \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{U_{\text{ср.ст}}^2}, \quad (19)$$

«где x_0 - удельное сопротивление ВЛ, Ом/км [13];

L - суммарная длина ВЛ, км» [13].

$$X_l = 0,4 \cdot 6,5 \cdot \frac{2,5}{36,75^2} = 0,005 \text{ Ом.}$$

«Далее проводится расчёт индуктивных сопротивлений силового трансформатора ТП-35/6 кВ с учётом паспортных данных, в относительных единицах, при приведении к базисным условиям» [13].

«Для обмотки ВН (35 кВ) трансформатора, оставшегося в работе на ТП-35/6 кВ» [13]:

$$X_{т.вн} = \frac{0,125 \cdot U_{квн\%} S_{б.}}{100 \cdot S_{н.т.}} \quad (20)$$

«Для трансформатора подстанции с учётом приведения к базисным условиям схемы» [13]:

$$X_{т.вн} = \frac{0,125 \cdot 7,5 \cdot 6,3}{100 \cdot 6,3} = 0,0096 \approx 0,01 \text{ Ом.}$$

«Для обмотки НН (6 кВ) трансформатора, оставшегося в работе на ТП-35/6 кВ» [13]:

$$X_{т.нн} = \frac{1,75 \cdot U_{квн\%} S_{б.}}{100 \cdot S_{н.т.}} \quad (21)$$

«Для трансформатора подстанции с учётом приведения к базисным условиям схемы» [13]:

$$X_{т.нн} = \frac{1,75 \cdot 10,5 \cdot 2,5}{100 \cdot 2,5} = 0,18 \text{ Ом.}$$

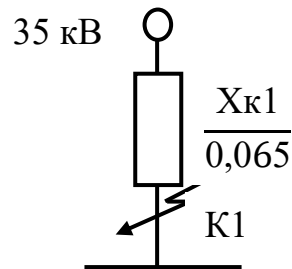
«Начальное значение периодической составляющей тока КЗ, при приведении к базисным условиям, в именованных единица» [13]:

$$I'' = \frac{E''}{x_{рез}^*} \cdot I_{б.}^* \quad (22)$$

где E – ЭДС при питании от энергосистемы, о.е.

«Далее, исходя из определённых ранее индуктивных сопротивлений всех основных элементов схемы замещения, определяются результирующие (эквивалентные) сопротивления к каждой точке КЗ» [13].

«Проводится преобразование исходной схемы замещения с целью расчёта токов КЗ в точке К1 (рисунок 6)» [13].



«Рисунок 6 – Схема замещения, преобразованная для расчёта токов КЗ в расчётной точке К1» [17]

«Результирующее сопротивление к точке К1 в именованных расчётных единицах» [13]:

$$X_{к1} = X_c + X_l. \quad (23)$$

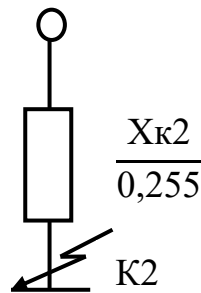
«В числовых именованных значениях» [13]:

$$X_{к1} = 0,06 + 0,005 = 0,065 \text{ Ом.}$$

«Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания в расчётной точке К1, при приведении к базисным условиям, в именованных единицах» [13]:

$$I''_{к1} = \frac{1}{0,065} \cdot 0,1 = 1,54 \text{ кА.}$$

«Схема замещения для расчета тока трёхфазного короткого замыкания в расчётной точке К2 представлена на рисунке 7» [13].



«Рисунок 7 – Схема замещения, преобразованная для расчёта токов КЗ в расчётной точке К2» [13]

«Проводится расчёт результирующих сопротивлений и токов КЗ в расчётной точке К2.

Результирующее сопротивление к точке К2 в именованных расчётных единицах» [13]:

$$X_{к2} = X_c + X_l + X_{т.вн} + X_{т.ин}. \quad (24)$$

$$X_{к2} = 0,06 + 0,005 + 0,01 + 0,18 = 0,255 \text{ Ом.}$$

«Начальное значение периодической составляющей КЗ точке К2» [13]:

$$I''_{к2} = \frac{E}{X_{к2}} \cdot I_{б2} \cdot K_m. \quad (25)$$

$$I''_{к2} = \frac{1}{0,255} \cdot 0,58 \approx 2,27 \text{ кА.}$$

Ударный ток является аperiodической составляющей тока короткого замыкания.

Он определяет мгновенное её значение, по которому проверяется оборудование подстанции [13]:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I''_K, \text{ кА}, \quad (26)$$

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

«Для расчётных точек схемы К1 и К2» [13]:

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 1,6 \cdot 1,54 = 3,48 \text{ кА}.$$

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 2,27 = 4,49 \text{ кА}.$$

Результаты расчёта токов КЗ представлены в таблице 5» [13].

«Таблица 5 – Результаты расчёта токов КЗ на ТП-35/6 кВ» [13]

Параметр	Единица измерения	Ток КЗ в точке К1	Ток КЗ в точке К2
I_K	кА	1,54	3,48
$i_{уд}$	кА	2,27	4,49

Полученные результаты расчета токов КЗ на подстанции 35/6 кВ «Ушаково» Нижегородской области используются в работе далее.

2.6 Выбор и проверка электрических аппаратов

Выбор и проверка электрических аппаратов на трансформаторной подстанции – это важнейший этап проектирования, который направлен на обеспечение надежной и безопасной работы не только самой подстанции, но и всей энергосистемы в целом.

Ранее в работе предложены следующие основные мероприятия по реконструкции схемы главных электрических соединений и модернизацию основного силового оборудования ПС-35/6 кВ «Ушаково», которые обуславливают выбор и проверку новых электрических аппаратов схемы главных электрических соединений объекта проектирования:

- с целью улучшения параметров надёжности схемы энергетического узла Нижегородской области, предлагается провести модернизацию

устаревших электрических аппаратов в РУ-35 кВ и РУ-6 кВ, которая реализуется путём замены их на современные модели и марки, отличающиеся улучшенными техническими и экономическими характеристиками. Таким образом будет повышена надёжность, безопасность и бесперебойность в системе силового оборудования подстанции, а также долговечность оборудования;

- с учётом предложенной реконструкции схемы электрических соединений подстанции на стороне 35 кВ, предусматривающей ввод в эксплуатацию двух кабельных линий 35 кВ для питания трансформаторов, а также реконструкции схемы электрических соединений ЗРУ-35 кВ, обусловленных данным фактом, необходимо ввести в эксплуатацию новые электрические аппараты 35 кВ в схеме главных соединений указанных распределительных устройств объекта проектирования;
- с учётом ввода четырёх новых линий в РУ-6 В (перспективная нагрузка), необходимо выбрать электрические аппараты для защиты и коммутации данных электрических присоединений подстанции на напряжении 6 кВ.

Известно, что наиболее важным высоковольтным электрическим аппаратом на подстанциях переменного напряжения энергосистем является высоковольтный выключатель.

Поэтому в первую очередь проводится их выбор и проверки.

«Выбор выключателей высокого напряжения производится, исходя из следующих условий:

- по номинальному напряжению» [18]:

$$U_{уст} \leq U_n. \quad (27)$$

где « $U_{уст}$, $U_{ном}$ – соответственно напряжения установки и номинальное напряжение выключателя (параметр завода-изготовителя)» [18];

– «по максимальному рабочему току» [16]:

$$I_{\text{раб.макс}} \leq I_n. \quad (28)$$

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

– «проверка выключателя на симметричный ток отключения» [16]:

$$I_{\text{пт}} \leq I_{\text{откн.н}}. \quad (29)$$

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

$I_{\text{откн.н}}$ – номинальный ток отключения выключателя, кА» [16];

– «проверка выключателя на отключение асимметричного тока» [16]:

$$(\sqrt{2} \cdot I_{\text{пт}} + i_{\text{ат}}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{\text{откн.н}} (1 + \beta_n), \quad (30)$$

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

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

τ – наименьшее время от начала короткого замыкания до момента расхождения дугогасительных контактов, определяется так» [7]:

$$t = t_{\text{з.мин}} + t_{\text{с.в}}, \quad (31)$$

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

$t_{\text{с.в}}$ – собственное время отключения выключателя, с» [7];

– «на электродинамическую устойчивость выбранный выключатель проверяется по значению предельного сквозного тока КЗ» [16]:

$$i_y \leq i_{np.c}, \quad (32)$$

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

i_y – ударный ток короткого замыкания в цепи выключателя» [16];

– «проверка выключателя на термическую стойкость по значению теплового импульса» [16]:

$$B_k \leq I_T^2 t_T, \quad (33)$$

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

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

t_T – длительность протекания тока устойчивости, c » [16].

«При этом тепловой импульс с учётом токов короткого замыкания и отключения цепи» [16]:

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a). \quad (34)$$

По условиям (27) – (34) осуществляется выбор и проверка электрических аппаратов для установки на ПС-35/6 кВ «Ушаково».

Выбору подлежат выключатели и разъединители основной силовой цепи схемы главных электрических соединений ПС-35/6 кВ «Ушаково» в результате внедрения мероприятий по модернизации оборудования и реконструкции схемы главных электрических соединений подстанции.

«Результаты выбора и проверки выключателей высокого напряжения для установки в РУ-35 кВ ПС-35/6 кВ «Ушаково», представлены в работе в форме таблицы б» [16].

Таблица 6 – Результаты выбора и проверки высоковольтных выключателей для установки в РУ-35 кВ ПС-35/6 кВ «Ушаково» в результате внедрения мероприятий по модернизации оборудования и реконструкции схемы главных электрических соединений подстанции

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Выключатели ВР35НСМ-20/1600 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 145,5 \text{ А.}$	$I_{ном} = 1600 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 1,54 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 2,27 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 52 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,54^2 \cdot 3 =$ $= 7,11 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$

«Для всех присоединений выбраны выключатели ВР35НСМ-20/1600 УХЛ1. Все выбранные выключатели для установки на вводных, секционном и транзитных соединениях в РУ 35 кВ ПС-35/6 кВ, удовлетворяют всем требуемым условиям выбора и проверки» [3]. Таким образом, они могут быть рекомендованы к установке и дальнейшей эксплуатации на объекте исследования.

«Аналогично выбраны новые выключатели для установки в РУ 6 кВ ПС-35/6 кВ (таблица 7)» [16].

Таблица 7 – Результаты выбора и проверки высоковольтных выключателей для установки в РУ-6 кВ ПС-35/6 кВ «Ушаково» в результате внедрения мероприятий по модернизации оборудования и реконструкции схемы главных электрических соединений подстанции

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Выключатели вакуумные ВРС-10-20/1000 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 6 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 848,7 \text{ А.}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 3,48 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 4,49 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 31,5 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 3,48^2 \cdot 3 =$ $= 36,3 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$

«Все выбранные выключатели РУ-6 кВ подстанции удовлетворяют требуемым условиям» [13].

Следовательно, они могут быть рекомендованы к установке в результате реконструкции подстанции и модернизации её оборудования.

Далее проводится выбор и проверка разъединителей 35 кВ.

«Результаты выбора и проверки новых разъединителей для установки в РУ-35 кВ ПС-35/6 кВ, представлены в таблице 8» [16].

Таблица 8 – Результаты выбора и проверки высоковольтных разъединителей для установки в РУ-35 кВ ПС-35/6 кВ «Ушаково» в результате внедрения мероприятий по модернизации оборудования и реконструкции схемы главных электрических соединений подстанции

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Разъединители РГП-НТ-35-25/1000 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 145,5 \text{ А.}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 2,27 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 25 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,54^2 \cdot 3 = 7,11 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 25^2 \cdot 3 = 1875 \text{ кА}^2\text{с.}$

«Также для установки в схеме главных электрических соединений силовой сети на реконструируемой ТП-35/6 кВ, выбираются ограничители перенапряжения следующих типов и марок:

- для установки в РУ 35 кВ – ОПН типа ОПНп-35 У1;
- для установки в РУ 6 кВ – ОПН типа ОПНп-6» [14].

Ограничители перенапряжения устанавливаются в комплекте с вакуумными выключателями высокого напряжения, выбранными в работе ранее, с целью защиты от внутренних перенапряжений, возникающих при их коммутации. Также ОПН комплектуются трансформаторы напряжения 6 кВ и вводы воздушных линий электропередачи в схеме подстанции (35 кВ и 6 кВ).

Измерительные трансформаторы напряжения и тока выбирают по номинальному напряжению $U_{ном}$, номинальному первичному току $I_{1ном}$, номинальному вторичному току $I_{2ном}$, классу точности.

Измерительные трансформаторы напряжения и тока для установки в РУ-35 кВ и РУ-6 кВ ТП-35/6 кВ, выбираются из условий:

$$U_c \leq U_{ном}, \quad (35)$$

$$S_2 \leq S_{ном}, \quad (36)$$

где S_2 – суммарная мощность, потребляемая катушками приборов и реле, а также РЗиА, получающим питание от измерительных трансформаторов тока и напряжения.

Предполагается, что эта мощность не выйдет за пределы 40 Вт, из расчёта на каждую секцию сборных шин 6 кВ и фидеров РУ-35 кВ, для установки измерительных трансформаторов тока и напряжения в РУ-6 кВ и РУ-35 кВ подстанции.

В результате выбора и проверки измерительных трансформаторов тока и напряжения на стороне 35 кВ ТП-35/6 кВ, выбирается трансформатор напряжения НАЛИ-СЭЩ-35 (ЗАО «ЗЭТО») и трансформатор тока ТФЗМ-СЭЩ-35 (ЗАО «ЗЭТО»).

В результате выбора и проверки измерительных трансформаторов тока и напряжения на стороне 6 кВ ТП-35/6 кВ, выбирается трансформатор напряжения НАЛИ-СЭЩ-10 (ЗАО «ЗЭТО») и трансформатор тока ТОЛ-СЭЩ-10 (ЗАО «ЗЭТО»).

Все измерительные трансформаторы в работе выбираются с классом точности 0,1. Такой класс точности измерительных трансформаторов тока и напряжения рекомендован [10].

Таким образом, установлено, что в результате проведения выбора и проверочных расчётов электрических аппаратов для установки в РУ-35 кВ и РУ-6 кВ ТП-35/6 кВ с целью её проектирования, все выбранные аппараты современные и инновационные, и в полной мере отвечают условиям всех требуемых проверок.

Всё выбранное оборудование проверено на термическую и электродинамическую стойкость к токам короткого замыкания, а также на условие соответствия максимальным рабочим токам сети, рассчитанным в работе. Следовательно, сделан вывод, что их можно использовать для установки в ТП-35/6 кВ «Ушаково» для защиты и коммутации электрических сетей распределительных устройств, кабельных линий, трансформаторов и потребителей.

Таким образом, в работе приняты современные технические решения по выбору и проверке электрооборудования подстанции ТП-35/6 кВ, включающие применение нового современного оборудования, которое характеризуется высокими техническими и экономическими характеристиками.

Исходя из полученных результатов, можно утверждать, что все новые электрические аппараты являются надёжными и могут быть применены на подстанции. Они показаны в графической части работы.

2.7 Выбор схемы и трансформаторов собственных нужд подстанции

На подстанции ТП-35/6 кВ «Ушаково» в качестве источника оперативного постоянного тока используются постоянный оперативный ток с применением свинцово-кислотных аккумуляторных батарей (АБ).

При выборе используются свинцово-кислотные аккумуляторные батареи с рекомбинацией газа. По своим объемным удельным и массовым энергетическим характеристикам аккумуляторы с рекомбинацией газа ESPACE HI значительно превосходят традиционные аккумуляторы.

Отсутствие необходимости в аккумуляторном помещении и принудительной вентиляции значительно сокращает затраты на установку и обслуживание батареи. При выборе зарядно-выпрямительного устройства принимается серия НРТ. Зарядно-выпрямительное устройство в нормальном режиме питает постоянно подключенную нагрузку и подзаряжает батарею.

В соответствии с [17] на всех двухтрансформаторных подстанциях 35 – 750 кВ необходимо устанавливать не менее двух трансформаторов собственных нужд (ТСН).

Поэтому на ТП-35/6 кВ устанавливается два ТСН, которые присоединяются к секциям шин 6 кВ через выключатели.

Данные ТСН устанавливаются в специальных ячейках ЗРУ-6 кВ подстанции. Защита и коммутация ТСН обеспечивается выключателем высокого напряжения, установленного в ЗРУ-6 кВ. На стороне НН предусматривается раздельная работа ТСН, каждого на свою секцию, с АВР на секционной связи. Мощность каждого ТСН для установки на ТП-35/6 кВ должна быть не более 400 кВА [17].

Расчёт нагрузки потребителей СН ТП-35/6 кВ «Ушаково» представлен в таблице 9.

Таблица 9 – Расчёт нагрузки потребителей собственных нужд ТП-35/6 кВ

Наименование потребителя	Число потребителей	Единица измерения	cos φ	Потребляемая мощность		
				Р _{макс} , кВт	Q _{макс} , квар	S _{макс} , квар
Отопление ЗРУ-6 кВ	-	-	1,00	20,00	-	20,00
Подогрев шкафов СН	-	комп.	1,00	5,00	-	5,00
Освещение открытой части ПС	-	-	1,00	35,00	-	35,00
Аварийное освещение	-	-	1,00	3,00	-	3,00
Отопление здания ПС	-	-	1,00	40,00	-	40,00
Освещение здания ПС	-	-	1,00	4,00	-	4,00
Зарядное устройство НРТ40.110	1	шт.	1,00	8,8	-	8,8
Стойки телемеханики, связи и управления	1	комп.	-	3,50	-	3,50
Электроподогреватель душа	1	шт.	1,00	5,00	-	5,00
Мастерская	1	шт.	0,85	2,60	1,6	3,00
Блок реле повторителей	3	шт.	-	0,05	-	0,05
Итого				128,95	1,6	129,35

Наибольшая полная мощность трансформатора собственных нужд подстанции, кВА, определяется с учетом коэффициента разновременности максимумов $k_{р.м}$:

$$S_{\text{макс.сн}} = k_{p.m} \sqrt{\sum_1^n P_{\text{макс}}^2 + \sum_1^n Q_{\text{макс}}^2}, \quad (37)$$

где $P_{\text{макс}}$, $Q_{\text{макс}}$ – соответственно наибольшая активная и реактивная нагрузки потребителей СН, кВт, квар.

При $k_{p.m} = 0,85$ наибольшая полная мощность ТСН:

$$S_{\text{макс.сн}} = 0,85 \sqrt{128,95^2 + 1,6^2} = 109,6 \text{ кВА}.$$

К установке на ТП-35/6 кВ «Ушаково» принимаются два масляных трансформатора ТСН типа ТМГ-160/6 мощностью 160 кВА [2].

Такие трансформаторы выполняются без расширительного бака, что компенсируется их высокой герметичностью.

Они более надёжны и долговечны, чем трансформаторы аналогичных конструкций.

Кроме того, трансформаторы марки ТМГ без расширительного бака гораздо более компактны, чем трансформаторы аналогичных конструкций и классов напряжения, обладающих расширительным баком.

Данный аспект позволяет использовать силовые трансформаторы марки ТМГ-160/6 для установки в специальных ячейках собственных нужд в ЗРУ-6 кВ ТП-35/6 кВ «Ушаково».

Конструкция выбранных ТСН для установки в ЗРУ-6 кВ ТП-35/6 кВ «Ушаково» показана в графической части работы.

Выводы по разделу.

В результате выполнения работы, в связи с мероприятиями по реконструкции схемы электрических соединений подстанции 35/6 кВ «Ушаково», обусловленными вводом в эксплуатацию двух новых питающих кабельных линий, необходимых для питания силовых трансформаторов на напряжении 35 кВ, вводом в эксплуатацию четырёх линий перспективной

нагрузки в РУ-6 кВ, а также необходимости частичной модернизации оборудования РУ-35 кВ и РУ-6 кВ в связи с его износом и неудовлетворительным техническим состоянием, проведены соответствующие технические расчёты и приняты следующие решения:

- рассчитаны максимальные электрические нагрузки подстанции с учётом нового распределения электроэнергии внутри РУ-6 кВ в связи с вводом перспективной нагрузки, а также изменением схемы питающих соединений РУ-35 кВ;
- с учётом необходимости реконструкции схемы электрических соединений на объекте проектирования, проверены силовые трансформаторы подстанции по условиям допустимой нагрузки нормального режима, а также максимальной допустимой перегрузки послеаварийного режима. Установлено, что два силовых трансформатора марки ТМН-6300/35, установленные на подстанции в исходной схеме электрических соединений, удовлетворяют требованиям нормативных документов по всем критериям в связи с мероприятиями по реконструкции подстанции на стороне 35 кВ и ввода дополнительной нагрузки 6 кВ;
- выбраны кабельные линии питающей и распределительной сети ТП-35/6 кВ. Исходя из полученных результатов расчёта, для обеспечения отдельного и надёжного питания силовых трансформаторов подстанции на стороне 35 кВ с учётом максимальной фактической и перспективной нагрузки, принято сечение питающей кабельной линии напряжением 35 кВ с применением двух силовых кабелей марки ПвВнг-LS 3(1×70/25-35). Для отходящих кабельных линий 6 кВ выбраны и проверены сечения кабелей марки ПвВнг-LS 3(1×50/6-10) и ПвВнг-LS 3(1×70/6-10);
- с целью проверки оборудования РУ-35 кВ и РУ-6 кВ на термическую и динамическую стойкость, проведён расчёт токов короткого

замыкания и ударных токов на сборных шинах подстанции в сети 35 кВ и 6 кВ в максимальном режиме работы энергосистемы;

- выбрано и проверено современное оборудование для установки в РУ-35 кВ подстанции, а именно: выключатели высокого напряжения марки ВР35НСМ-20/1600 УХЛ1, разъединители марки РГП-НТ-35-25/1000 УХЛ1, ограничители перенапряжения марки ОПНп-35 У1, трансформаторы напряжения марки НАЛИ-СЭЩ-35, трансформаторы тока марки ТФЗМ-СЭЩ-35;
- выбрано и проверено современное оборудование для установки в РУ-6 кВ подстанции: выключатели высокого напряжения марки ВРС-10-20/1000 УХЛ1; ограничители перенапряжения марки ОПНп-6 У1, трансформаторы напряжения марки НАЛИ-СЭЩ-10, трансформаторы тока марки ТОЛ-СЭЩ-10;
- выбран оперативный ток и трансформаторы собственных нужд марки ТМГ-160/6 для питания системы СН подстанции.

Показано, что внедрённые практические мероприятия по проектированию ТП-35/6 кВ позволят значительно повысить надёжность схемы электрических соединений подстанции и потребителей в целом.

Таким образом, по результатам расчётов можно сделать вывод, что предложенные мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений подстанции 35/6 кВ «Ушаково», обусловленными вводом в эксплуатацию новых питающих кабельных линий 35 кВ для обеспечения отдельного электроснабжения двух силовых трансформаторов, вводом в эксплуатацию четырёх линий перспективной нагрузки в РУ-6 кВ, а также необходимости частичной модернизации оборудования РУ-35 кВ и РУ-6 кВ в связи с его износом и неудовлетворительным техническим состоянием, являются технически обоснованными и могут быть рекомендованы на объекте исследования.

3 Реконструкция релейной защиты силовых трансформаторов подстанции

3.1 Выбор основных типов релейной защиты

Как отмечено ранее в работе, учитывая учащиеся случаи аварийных отключений и ложных срабатываний релейной защиты и автоматики (далее – РЗА) силовых трансформаторов подстанции 35/6 кВ «Ушаково», предлагается заменить устаревшие и ненадежные устройства РЗА на новые современные модели с повышенной надежностью, бесперебойной работой и селективностью. В рамках этого предложения рекомендуется внедрить новые виды защиты для трансформаторов и выбрать современные микропроцессорные блоки РЗА для выполнения соответствующих функций.

Известно, что для защиты районных силовых трансформаторов на подстанциях 35/6 кВ, применяются такие виды РЗА:

- дифференциальная защита (ДЗ) – является высокочувствительной РЗА трансформатора от всех видов короткого замыкания и прочих повреждений, рекомендуется применение продольной ДЗ на микропроцессорной основе [1];
- максимальная токовая защита (МТЗ) – является основной защитой силового трансформатора от внутренних и внешних коротких замыканий, рекомендуется установка двух комплектов МТЗ (на стороне ВН и на стороне НН трансформатора) [1];
- защита от перегрузки (ЗП) – защищает силовой трансформатор от токов перегрузки, работает на сигнал [1];
- газовая защита – единственный вид РЗА, реагирующий на внутренние короткие замыкания и явление «пожара стали» в трансформаторе [1];
- защита от однофазных КЗ на землю (ЗОЗ) – защищает силовой трансформатор от коротких замыканий на землю [1].

Помимо релейной защиты, в схеме подстанции 35/6 кВ «Ушаково» необходимо предусмотреть также устройства автоматики и сигнализацию.

Все принятые в работе дополнительные виды РЗиА при их внедрении способны значительно повысить надёжность релейной защиты, её быстродействие, селективность (избирательность), что в конечном итоге позволит значительно снизить риск аварий в схеме главных электрических соединений всей подстанции.

Для реализации всех перечисленных функций, с целью качественной защиты силовых трансформаторов подстанции, предлагается принять микропроцессорный блок релейной защиты марки МІСОМ Р-643[2], [3], [4].

Внешний вид, функционал и конструктивное выполнение микропроцессорных блоков РЗиА марки МІСОМ Р-643 представлены на рисунке 8.



Рисунок 8 – Внешний вид, функционал и конструктивное выполнение микропроцессорных блоков РЗиА для защиты силовых трансформаторов подстанции марки МІСОМ Р-643

Монтажные и габаритные размеры микропроцессорных блоков РЗиА для защиты силовых трансформаторов подстанции марки МІСОМ Р-643 показаны на рисунке 9.



Рисунок 9 – Монтажные и габаритные размеры микропроцессорных блоков РЗиА для защиты силовых трансформаторов подстанции марки МІСОМ Р-643

Такие блоки РЗиА марки имеют ряд существенных преимуществ:

- высокая надежность: блоки релейной защиты марки МІСОМ разрабатываются с учетом высокой степени надежности для обеспечения защиты силовых трансформаторов и линий от коротких замыканий, перегрузок и других аварийных режимов;
- быстрое действие: блоки РЗиА марки МІСОМ способны быстро обнаруживать и реагировать на повреждения в электрических цепях силовых трансформаторов и линий, что позволяет предотвратить их повреждения оборудования и обеспечить безопасность работы всей энергосистемы;
- простота и удобство монтажа, ремонта и эксплуатации, доступный интерфейс, что упрощает их установку и обслуживание.

Таким образом, выбор микропроцессорных блоков РЗиА марки МІСОМ, для непосредственного применения на подстанции 35/6 кВ «Ушаково» в результате проведения реконструкции её релейной защиты и автоматики, обоснован.

3.2 Расчёт уставок релейной защиты силовых трансформаторов подстанции

Далее в работе необходимо провести непосредственный расчёт уставок релейной защиты силовых трансформаторов, установленных на ПС-35/6 кВ «Ушаково».

Рабочие токи и токи максимального режима силовых трансформаторов ПС-35/6 кВ «Ушаково» рассчитаны в работе ранее.

«В качестве защиты трансформаторов подстанции 35/6 кВ от межфазных КЗ, используется продольная дифференциальная токовая защита с абсолютной селективностью» [1].

«Ток срабатывания этой защиты определяется путём отстройки от тока небаланса» [1]:

$$I_{с.з} \geq K_n \cdot (I_{раб.макс.НН} - I_{раб.макс.ВН}), \quad (38)$$

где $I_{раб.макс.НН}$, $I_{раб.макс.ВН}$ – «соответственно максимальный рабочий ток на сторонах НН и ВН силового трансформатора с учётом коэффициента запаса» [1];

K_n – коэффициент надёжности» [1].

«Коэффициент чувствительности дифференциальной токовой защиты должен удовлетворять условию» [1]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{K_{\text{сх}}^{(\kappa)}}{K_{\text{сх}}^{(3)}} \cdot \frac{I_{\text{к.нач.мин}}}{I_{\text{с.з}}} \geq 1,5. \quad (39)$$

«Ток срабатывания продольной дифференциальной токовой защиты трансформатора подстанции 35/6 кВ» [1]:

$$I_{c.з} \geq 1,5 \cdot (848,7 - 145,5) \approx 1054,8 \text{ A.}$$

«Коэффициент чувствительности продольной дифференциальной токовой защиты трансформаторов подстанции 35/6 кВ удовлетворяет требованиям» [1]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{1}{1} \cdot \frac{1540}{1054,8} = 1,5 = 1,5.$$

«Для микропроцессорных блоков защит, защита от перегрузки отстраивается от максимального рабочего тока на стороне ВН силового трансформатора» [1]:

$$I_{c.з} \geq K_n \cdot I_{\text{раб.макс.ВН}}, \quad (40)$$

где K_n – «коэффициент надёжности» [1].

«Ток срабатывания защиты от перегрузки трансформатора подстанции 35/6 кВ» [1]:

$$I_{c.з} \geq 1,05 \cdot 145,5 \approx 152,8 \text{ A.}$$

«Ток срабатывания МТЗ силового трансформатора должен удовлетворять условию» [1]:

$$I_{c.з} \geq K_{\text{отс}} \cdot K_{\text{сзн}} \cdot I_{\text{раб.макс}}, \quad (41)$$

где $K_{\text{отс}}$ – «коэффициент отстройки» [1];

$K_{\text{сзн}}$ – «коэффициент самозапуска» [1].

«Коэффициент чувствительности МТЗ определяется по формуле» [2]:

$$K_q = \frac{K_{cx}^{(k)}}{K_{cx}^{(3)}} \cdot \frac{I_{к.мин}^{(k)}}{I_{с.з}} \geq 1,2, \quad (42)$$

«где $I_{к мин}^{(k)}$ - минимальный ток при КЗ в конце защищенной линии» [2];

« $K_{cx}^{(3)}$ - коэффициент схемы соединения ТТ и реле» [2];

« $K_{cx}^{(k)}$ - коэффициент схемы соединения ТТ и реле при КЗ» [2];

« $I_{с.з}$ - ток срабатывания защиты» [2].

«Для комплекта МТЗ силового трансформатора на стороне ВН (35 кВ) значение тока срабатывания защиты» [1]:

$$I_{с.з} \geq 1,1 \cdot 1,6 \cdot 145,5 \approx 256,1 \text{ A.}$$

«Коэффициент чувствительности МТЗ трансформаторов подстанции на стороне ВН удовлетворяет требованиям» [1]:

$$K_q = \frac{1}{1} \cdot \frac{1540}{256,1} \approx 6,0 > 1,2.$$

«Аналогично проводится расчёт уставки тока срабатывания комплекта МТЗ силового трансформатора на стороне НН (6 кВ)» [1]:

$$I_{с.з} \geq 1,1 \cdot 1,6 \cdot 848,7 \approx 1493,7 \text{ A.}$$

«Коэффициент чувствительности МТЗ трансформатора на стороне НН удовлетворяет требованиям» [1]:

$$K_q = \frac{1}{1} \cdot \frac{3480}{1493,7} = 2,3 > 1,2.$$

«В качестве газовой защиты силовых трансформаторов, установленных на подстанции 35/6 кВ, в работе используются усовершенствованные газовые реле типа РГТ-80» [2]. Такие газовые реле имеют современный функционал с несколькими поплавками, которые резервируют друг друга и повышают надёжность защиты. Чувствительная мембрана обеспечивает практически безотказную работу газового реле.

«Принимается в работе для ЗОЗ трансформаторов подстанции $I_{c.з} = 5 \text{ А}$, $t_{c.з} = 0 \text{ с}$ (без выдержки времени)» [1].

В работе для защиты силовых трансформаторов принимаются все защиты мгновенного действия (ДЗ, МТЗ, ЗОЗ), работающие на «отключение». Защита от перегрузки выполняется с действием на сигнал, информируя оператора (диспетчера) о явлении перегрузки в цепи трансформатора и необходимости разгрузки системы. Результаты выбора уставок РЗиА силовых трансформаторов ПС-35/6 кВ «Ушаково» представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Результаты выбора типа защит и уставок РЗиА силовых трансформаторов ПС-35/6 кВ «Ушаково»

Тип РЗиА	$I_{c.з.}, \text{ А}$	$t_{c.з.}, \text{ с}$	Работа защиты
ДЗ	1054,8	-	отключение
ЗП	152,8	5,0	сигнал
МТЗ (ВН)	256,1	1,0	отключение
МТЗ (НН)	1493,7	1,5	отключение
ЗОЗ	5,0	-	отключение
ГЗ	-	-	отключение

Все уставки РЗиА проверены по условиям чувствительности.

Выводы по разделу.

В работе проведена реконструкция релейной защиты силовых трансформаторов подстанции 35/6 кВ «Ушаково». Для реализации всех перечисленных функций, с целью качественной защиты силовых трансформаторов подстанции, предложено применить микропроцессорный блок релейной защиты марки МІСОМ Р-643. Осуществлён расчёт уставок релейной защиты силовых трансформаторов подстанции 35/6 кВ «Ушаково» на базе данного блока РЗиА.

Заключение

В работе проведена реконструкция схемы главных электрических соединений, а также элементов схемы вторичных цепей (релейной защиты и автоматики) понижающих трансформаторов подстанции ПС-35/6 кВ «Ушаково». Данная реконструкция обусловлена, с одной стороны, необходимостью внесения изменений в схему главных электрических соединений подстанции согласно нормативным требованиям основных документов, а с другой – несоответствием установленного оборудования требованиям надёжности, селективности, экономичности и безопасности вследствие его износа и аварийного технического состояния.

В работе приведены основные технические сведения по исходной схеме главных электрических соединений, основному оборудованию, установленному на ПС-35/6 кВ «Ушаково», а также по источнику питания данной подстанции. Составлена и описана структурная схема объекта проектирования, детально описаны её основные составляющие. Установлены проблемы, имеющие место в схеме электрических соединений подстанции. Приведены значения фактических и перспективных максимальных нагрузок потребителей подстанции ПС-35/6 кВ «Ушаково».

В результате проведённого анализа литературы по вопросу норм и требований, которые предъявляются к реконструкции понизительных подстанций энергосистем Российской Федерации, установлено, что реконструкция трансформаторных подстанций энергосистемы является чрезвычайно важной, ответственной и необходимой задачей, сопряжённой со значительными техническими и финансовыми издержками. Основываясь на приведённой технической информации, с учётом проведённого анализа литературы по вопросу норм и требований, которые предъявляются к реконструкции понизительных подстанций энергосистем Российской Федерации, предложены рекомендации по реконструкция электрической

части понизительной подстанции «Ушаково» класса напряжения 35/6 кВ, которые включают в себя четыре этапа:

- первый этап включает реконструкцию схемы электрических соединений подстанции на стороне 35 кВ, предусматривающей ввод второй питающей линии 35 кВ, так как в связи с изменением категоричности новых потребителей подстанции, большинство из которых относятся к I и II категории надёжности, необходим второй независимый источник питания, а также реконструкция схемы электрических соединений ЗРУ-35 кВ, обусловленных данным фактом. При этом планируется демонтировать воздушную линию 35 кВ в связи с её техническим износом и недопустимостью прохождения трассы в населённых пунктах Богородское, Ченцово и Сляднево, включая рекреационную зону Нижегородской области. Вместо демонтированной ВЛ-35 кВ планируется использовать питающую кабельную линию напряжением 35 кВ, состоящую из двух силовых кабелей высокого напряжения. Таким образом, проблема надёжного питания потребителей подстанции будет решена с учётом безопасности населения и экологических факторов;
- второй этап предусматривает реконструкцию схемы электрических соединений РУ-6 кВ в виду того, что планируется подключить и ввести в эксплуатацию по две новые отходящие линии (перспективная нагрузка) от каждой из секций сборных шин 6 кВ. Указанную нагрузку планируется подключить на незанятые ячейки «Резерв» первой и второй секции сборных шин 6 кВ (учитывая исходную схему электрических соединений подстанции). Таким образом, вся дополнительная (перспективная) нагрузка будет учтена в проекте с внедрением условий резервирования, секционирования, безопасности и надёжности в схеме РУ-6 кВ подстанции;
- на третьем этапе осуществляется модернизация устаревших электрических аппаратов, которые выработали свой технический

ресурс: в РУ-35 кВ подстанции (масляных выключателей и разъединителей) и РУ-6 кВ (масляных выключателей). Данная модернизация устаревшего оборудования реализуется путём замены их на современные модели и марки, отличающиеся улучшенными техническими и экономическими характеристиками. Таким образом будет повышена надёжность, экономичность и бесперебойность в системе силового оборудования подстанции;

- четвёртый этап предусматривает реконструкцию и модернизацию системы релейной защиты и автоматики (РЗА) силовых трансформаторов подстанции, обусловленную значительным числом аварийных отключений и ложных срабатываний последней, а также несоответствия устаревшего оборудования системы РЗА современным требованиям по обеспечению надёжности, селективности, быстродействия, бесперебойности и экономичности. Предложено провести замену их устаревших и некачественных устройств РЗА на новые и современные типы, обладающие всеми перечисленными характеристиками. Таким образом, будет повышена надёжность, селективность, быстродействие и бесперебойность работы системы аварийной защиты оборудования силовых трансформаторов и всей релейной защиты подстанции в целом.

В результате выполнения работы, в связи с мероприятиями по реконструкции схемы электрических соединений подстанции 35/6 кВ «Ушаково», обусловленными вводом в эксплуатацию двух новых питающих кабельных линий, необходимых для питания силовых трансформаторов на напряжении 35 кВ, вводом в эксплуатацию четырёх линий перспективной нагрузки в РУ-6 кВ, а также необходимости частичной модернизации оборудования РУ-35 кВ и РУ-6 кВ в связи с его износом и неудовлетворительным техническим состоянием, проведены соответствующие технические расчёты и приняты следующие решения:

- рассчитаны максимальные электрические нагрузки подстанции с учётом нового распределения электроэнергии внутри РУ-6 кВ в связи с вводом перспективной нагрузки, а также изменением схемы питающих соединений РУ-35 кВ;
- с учётом необходимости реконструкции схемы электрических соединений на объекте проектирования, проверены силовые трансформаторы подстанции по условиям допустимой нагрузки нормального режима, а также максимальной допустимой перегрузки послеаварийного режима. Установлено, что два силовых трансформатора марки ТМН-6300/35, установленные на подстанции в исходной схеме электрических соединений, удовлетворяют требованиям нормативных документов по всем критериям в связи с мероприятиями по реконструкции подстанции на стороне 35 кВ и ввода дополнительной нагрузки 6 кВ;
- выбраны кабельные линии питающей и распределительной сети ТП-35/6 кВ. Исходя из полученных результатов расчёта, для обеспечения отдельного и надёжного питания силовых трансформаторов подстанции на стороне 35 кВ с учётом максимальной фактической и перспективной нагрузки, принято сечение питающей кабельной линии напряжением 35 кВ с применением двух силовых кабелей марки ПвВнг-LS 3(1×70/25-35). Для отходящих кабельных линий 6 кВ выбраны и проверены сечения кабелей марки ПвВнг-LS 3(1×50/6-10) и ПвВнг-LS 3(1×70/6-10);
- с целью проверки оборудования РУ-35 кВ и РУ-6 кВ на термическую и динамическую стойкость, проведён расчёт токов короткого замыкания и ударных токов на сборных шинах подстанции в сети 35 кВ и 6 кВ в максимальном режиме работы энергосистемы;
- выбрано и проверено современное оборудование для установки в РУ-35 кВ подстанции, а именно: выключатели высокого напряжения марки ВР35НСМ-20/1600 УХЛ1, разъединители марки РГП-НТ-35-

- 25/1000 УХЛ1, ограничители перенапряжения марки ОПНп-35 У1, трансформаторы напряжения марки НАЛИ-СЭЩ-35, трансформаторы тока марки ТФЗМ-СЭЩ-35;
- выбрано и проверено современное оборудование для установки в РУ-6 кВ подстанции: выключатели высокого напряжения марки ВРС-10-20/1000 УХЛ1; ограничители перенапряжения марки ОПНп-6 У1, трансформаторы напряжения марки НАЛИ-СЭЩ-10, трансформаторы тока марки ТОЛ-СЭЩ-10;
 - выбран оперативный ток и трансформаторы собственных нужд марки ТМГ-160/6 для питания системы СН подстанции.

Проведена реконструкция релейной защиты силовых трансформаторов подстанции 35/6 кВ «Ушаково». Для реализации всех перечисленных функций, с целью качественной защиты силовых трансформаторов подстанции, предложено применить микропроцессорный блок релейной защиты марки МІСОМ Р-643. Осуществлён расчёт уставок релейной защиты силовых трансформаторов подстанции 35/6 кВ «Ушаково» на базе данного блока РЗиА.

Показано, что внедрённые практические мероприятия по проектированию ТП-35/6 кВ позволят значительно повысить надёжность схемы электрических соединений подстанции и потребителей в целом.

Таким образом, по результатам расчётов можно сделать вывод, что предложенные мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений подстанции 35/6 кВ «Ушаково», обусловленными вводом в эксплуатацию новых питающих кабельных линий 35 кВ для обеспечения отдельного электроснабжения двух силовых трансформаторов, вводом в эксплуатацию четырёх линий перспективной нагрузки в РУ-6 кВ, а также необходимости частичной модернизации оборудования РУ-35 кВ и РУ-6 кВ в связи с его износом и неудовлетворительным техническим состоянием, являются технически обоснованными и могут быть рекомендованы на объекте исследования.

Список используемых источников

1. Андреев В. А. Релейная защита систем электроснабжения в примерах и задачах. [Электронный ресурс]: URL: <http://lib.ulstu.ru/venec/disk/2012/Andreev.pdf> (дата обращения: 21.11.2023).
2. Блок защиты трансформаторов MICOM P-63 [Электронный ресурс]: URL: <https://www.rza.by/catalog/rza/se/micom/p40/micom-p643/> (дата обращения: 21.11.2023).
3. Высоковольтное электрооборудование. Школа для электрика. [Электронный ресурс]: URL: <https://electricalschool.info/main/visokovoltny/> (дата обращения: 21.11.2023).
4. ГОСТ 29322-2014. «Напряжения стандартные» [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200115397> (дата обращения: 21.11.2023).
5. ГОСТ 32144-2013. «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301> (дата обращения: 21.11.2023).
6. 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: 21.11.2023).
7. Захаров О.Г. Цифровые устройства релейной защиты электродвигателей, алгоритмы и уставки (часть 1). [Электронный ресурс]: URL: <https://obuchalka.org/20220730146195/cifrovie-ustroistva-releinoi-zaschiti-elektrodvigatelei-algoritmi-i-ustavki-chast-i-zaharov-o-g-2012.html> (дата обращения: 21.11.2023).
8. Захаров О.Г. Цифровые устройства релейной защиты электродвигателей, алгоритмы и уставки (часть 2). [Электронный ресурс]:

URL: <https://olgezaharov.narod.ru/2013/2013-01.pdf> (дата обращения: 21.11.2023).

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

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

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

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

13. 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: 21.11.2023).

14. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок [Электронный ресурс]: URL: <https://staff.tiiame.uz/storage/users/351/books/nBNx7IKdrD9CBS1Lob2Dek9z12OIKBM9FDsTBnR8.pdf> (дата обращения: 21.11.2023).

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

16. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2022. 365 с.

17. СТО 56947007- 29.240.30.047-2010. «Рекомендации по применению типовых принципиальных электрических схем распределительных устройств подстанций 35 - 750 кВ». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.twirpx.com/file/2616342/> (дата обращения: 21.11.2023).

18. СТО 56947007-29.240.30.010-2008. «Схемы принципиальные

электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.twirpx.com/file/24666/> (дата обращения: 21.11.2023).

19. Схема ЛЭП ПС-35/6 кВ «Ушаково». Нижегородская область [Электронный ресурс]: URL: <https://frexosm.ru/power/#12.71/56.11723/43.46973> (дата обращения: 21.11.2023).

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