

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 подстанции «Портовая» 110/6 кВ

Обучающийся

М. В. Храмцов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., И. В. Горохов

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

Тольятти 2023

## Аннотация

В работе проведена реконструкция схемы главных электрических соединений, внедрённая с учётом модернизации основного оборудования распределительных устройств 110 кВ и 6 кВ ПС-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области, которая осуществляется путём замены некоторых устаревших электрических аппаратов, морально и технически устаревших, на современные марки и модели, обладающие высокими критериями надёжности, экономичности, экологичности, быстродействия, селективности (избирательности), электробезопасности и прочими аналогичными показателями.

«На основе проведённого анализа схемы электрических соединений и характеристик» [4] ПС-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области, «осуществлён выбор и проверка нового оборудования, нуждающегося в замене, а также аргументированное расчётное обоснование оборудования, которое не требует замены» [4].

Результатом «работы является разработка, проверка и реализация технических решений, позволяющих внедрить качественные мероприятия по модернизации электрооборудования в схеме электрических соединений» [7] ПС-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области.

С целью наглядной визуализации материала в работе использовано 9 рисунков и 10 таблиц.

## Содержание

Введение.....	4
1 Исходная характеристика подстанции.....	6
1.1 Краткая характеристика подстанции .....	6
1.2 Требования нормативных документов к трансформаторным подстанциям энергосистем .....	14
1.3 Обоснование предложений по реконструкции подстанции.....	19
2 Реконструкция электрической части подстанции .....	23
2.1 Расчёт электрических нагрузок .....	23
2.2 Проверка силовых трансформаторов подстанции по фактическому графику электрических нагрузок .....	29
2.3 Выбор и проверка проводников подстанции .....	35
2.4 Расчёт токов короткого замыкания на подстанции.....	42
2.5 Выбор нового оборудования для модернизации подстанции .....	49
3 Организация электромонтажных работ по реконструкции подстанции .....	60
Заключение .....	64
Список используемых источников.....	67

## Введение

Электрификация промышленных предприятий и учреждений гражданской инфраструктуры является необходимым условием для обеспечения их функционирования. «Применение электрической энергии является важнейшей частью современной цивилизации, позволяя, таким образом, значительно улучшить жизненные блага людей» [8], особенно, незащищённых и уязвимых слоёв населения, блага, удобства и материальное обеспечение которых обеспечивается государственными программами. Кроме того, электрическая энергия непосредственно используется в промышленности для изготовления всех видов продукции.

Наряду с этим, реконструкция и техническое перевооружение изношенного и морально устаревшего оборудования систем электроснабжения объектов промышленной и гражданской инфраструктуры рассматриваются как приоритетные направления инвестиционной политики в современных системах электроснабжения [5]. Основными составляющими современных трансформаторных подстанций является совокупность силовых трансформаторов и распределительных устройств. Именно благодаря их слаженной работе обеспечиваются условия надёжности, электробезопасности, быстродействия и селективности (избирательности). Известно, что такими показателями обладают современные разработки электрических аппаратов, активно внедряющихся в последнее время для применения в распределительных устройствах трансформаторных подстанций энергосистемы всех типов и классов напряжения. Таким образом, установлено, что применение современных электрических аппаратов в распределительных устройствах трансформаторных подстанций энергосистемы всех типов создаёт необходимые условия для обеспечения нормальной и надёжной работоспособности не только самой подстанции, но и всей электрической сети и, как результат, - всей энергосистемы в целом. Поэтому реконструкция схем электрических соединений и модернизация

оборудования современных трансформаторных подстанций и электростанций энергосистемы всех типов является актуальным заданием современной электроэнергетики.

Основной целью данной работы является реконструкция понизительной подстанции переменного тока ПС-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области, которая осуществляется путём внесения изменений в схему главных нормальных электрических соединений подстанции с параллельным осуществлением практической модернизации основного оборудования распределительных устройств объекта, которое не отвечает современным критериям надёжности, электробезопасности и экономичности, экологичности, быстродействия, селективности (избирательности), а также прочим аналогичным критериям.

Объектом исследования в работе является электрооборудование схемы электрических соединений ПС-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области.

«Предметом исследования являются схема электрических соединений, а также электрические сети и аппараты напряжением 110 кВ и 6 кВ» [14] подстанции ПС-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области.

Актуальность работы обусловлена необходимостью реконструкции схем главных электрических соединений понизительных подстанций и электростанций, а также проведения модернизации основного оборудования распределительных устройств трансформаторных подстанций [1].

В работе на основе проведённого анализа схемы электрических соединений и характеристик потребителей электрической части ПС-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области, осуществлён выбор и проверка нового оборудования, нуждающегося в замене. Результатом «работы является разработка, проверка и реализация практических решений реконструкции схемы электрических соединений» [7] ПС-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области при неукоснительном соблюдении основополагающих документов электроэнергетики и законодательных актов [7].

## **1 Исходная характеристика подстанции**

### **1.1 Краткая характеристика подстанции**

Приводится исходная характеристика схемы электрических соединений и оборудования подстанции ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области.

Рассматриваемая в работе ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области является одной из потребительских подстанций региональных электрических сетей, обеспечивая электроснабжение портового терминала, а также прочих промышленных, бытовых и коммунальных потребителей электроэнергии. Данная подстанция ТП-110/6 кВ «Портовая» территориально расположена в Самарской области, в городском округе Тольятти, г. Тольятти, на улице Санаторной, 39.

По месту расположения в энергосистеме г. Тольятти Самарской области, ТП-110/6 кВ «Портовая» является узловой подстанцией.

Она выполняет важнейшую роль в резервировании потребления электроэнергии в системе электроснабжения всего региона, выполняя роль также транзитной подстанции для питания узлов г. Тольятти Самарской области на напряжении 110 кВ. Рассматриваемая подстанция находится на балансе ПАО «МРСК Волги» (Самарские РС), которая выполняет роль в обслуживании и ремонта оборудования на данном объекте.

Питание ТП-110/6 кВ «Портовая» осуществляется от РУ-110 кВ ПС 220/110 кВ «Левобережная», являющейся крупной распределительной подстанцией не только г. Тольятти и его промышленного района, а и всей Самарской области. Питание ТП-110/6 кВ «Портовая» от РУ-110 кВ ПС 220/110 кВ «Левобережная» осуществляется двuceпной воздушной линией электропередачи с применением провода марки 2АС-150/7,84 (линия «Портовая»). Расположение ТП-110/6 кВ «Портовая» и питающей двухцепной

воздушной линии 110 кВ «Портовая» на карте г. Тольятти представлено на рисунке 1.

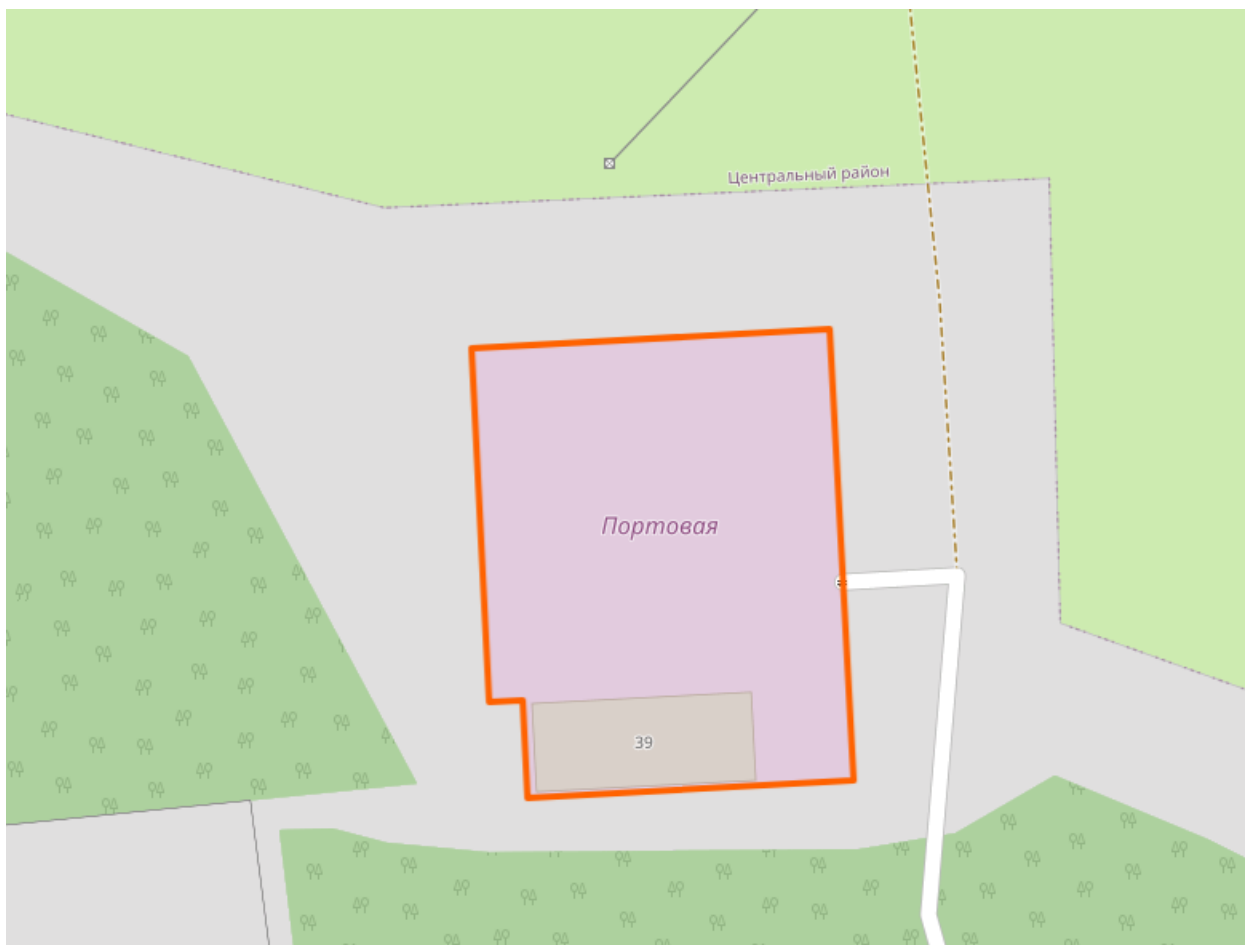


Рисунок 1 – Расположение понизительной ТП-110/6 кВ «Портовая» и питающей двухцепной воздушной линии 110 кВ «Портовая» на карте г. Тольятти Самарской области

Кроме того, от РУ-110 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» осуществляется транзит мощности по двум направлениям, резервируя схемы тяговых подстанций г. Тольятти Самарской области:

- первое направление резервирования и транзита (провод марки АС-150/7,84) – резервное питание тяговых подстанций ТП-110/35/6 кВ «Комсомольская» (трансформатор Т2) и ПС-110/35/6 кВ «Восточная» (трансформатор Т1): реализуется с помощью воздушной линии электропередачи напряжением 110 кВ, включаемой в рассечку (отпайку) указанных подстанций;

– второе направление резервирования и транзита (провод марки АС-150/7,84) – резервное питание тяговой подстанции ТП-110/35/6 кВ «Ягодное» (трансформатор Т2): реализуется с помощью воздушной линии электропередачи напряжением 110 кВ, включаемой на силовой трансформатор Т2 данной подстанции.

Таким образом, можно сделать вывод, что рассматриваемая в работе ТП-110/6 кВ «Портовая» осуществляется транзит мощности по двум направлениям, резервируя схемы тяговых подстанций г. Тольятти Самарской области. На объекте проектирования (ТП-110/6 кВ «Портовая») находятся следующие основные конструктивные составляющие, описание которых представлено ниже (рисунок 2).

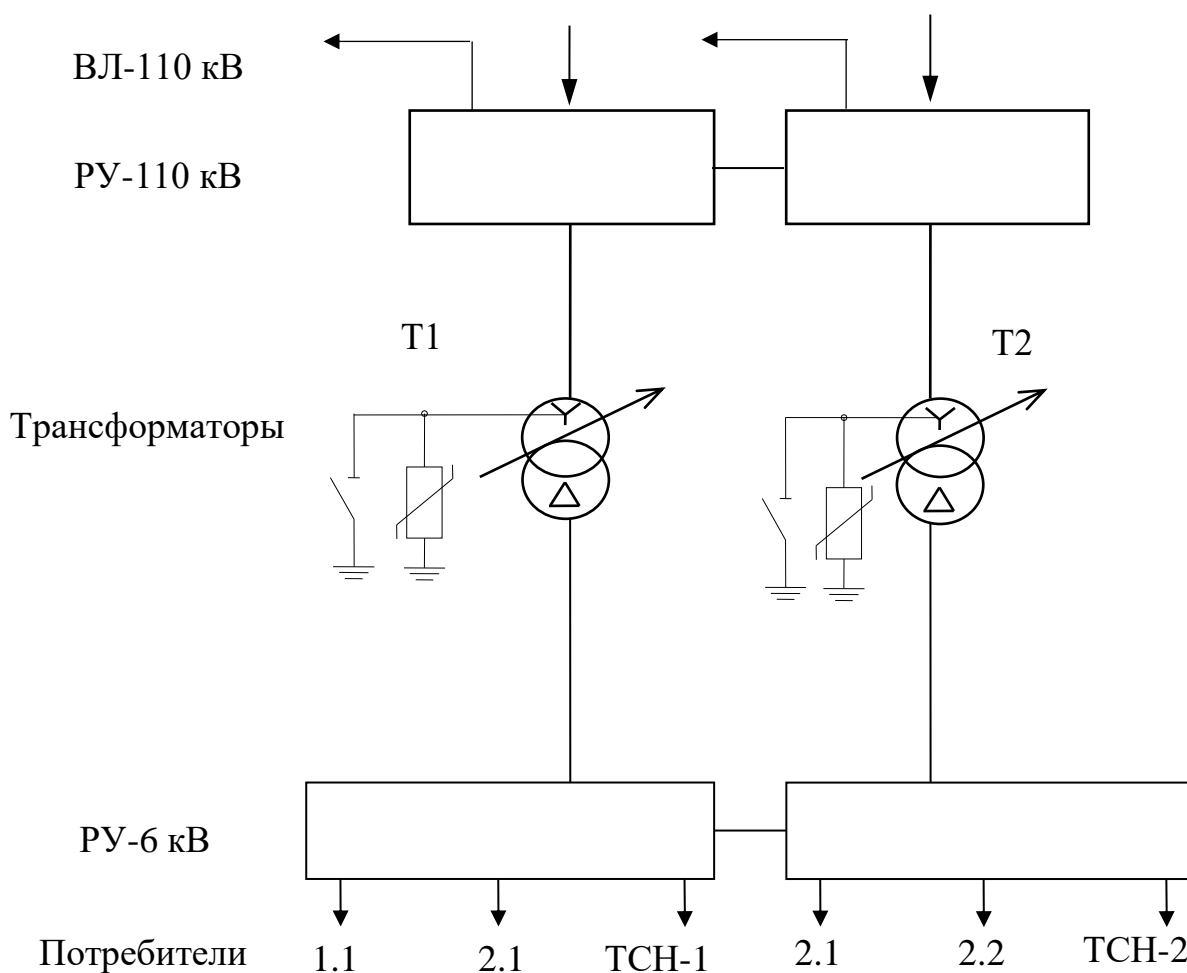


Рисунок 2 – Структурная схема ПС-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области



Первым основным конструктивным элементом ТП-110/6 кВ «Портовая» выступает распределительное устройство высшего напряжения (110 кВ). Оно необходимо для приёма и распределения электроэнергии по двум направлениям: на силовые трансформаторы подстанции и на транзит тяговых подстанций г. Тольятти Самарской области.

Так как подстанция ТП-110/6 кВ «Портовая» по месту расположения в схеме – узловая, следовательно, в РУ-110 кВ должна применяться соответствующая схема, обеспечивающая, с одной стороны, надёжное питание потребителей подстанции, а с другой стороны обеспечивая надёжный транзит мощности с учётом резервирования в схеме. В РУ-110 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» применяется схема «Двух рабочих систем сборных шин, секционируемых выключателем». Такая схема очень надёжная, обеспечивая все необходимые условия и требования нормативных документов.

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

Однако данная схема РУ 110 кВ не обеспечивает полного отключения потребителей при выводе в ремонт оборудования одновременно с двух секций сборных шин 110 кВ, либо при аварийном режиме на двух секциях сборных шин 110 кВ одновременно. Таким образом, будет потеряна надёжность и работоспособность схемы и потребители не смогут получить нужное количество электроэнергии. Данную задачу планируется решить в работе далее.

В РУ-110 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая», установлены следующие защитные и коммутационные аппараты (графический лист 1):

- масляные баковые выключатели марки МКП-110-630-10 БУ1 (со встроенными измерительными трансформаторами тока) – всего семь

вводных и линейных выключателей, а также один секционный выключатель;

- разъединители марки SONK 12-31,5;
- измерительные трансформатор напряжения марки НАМИ-110;
- вентильные разрядники РВС-110.

Исходя из краткой характеристики оборудования РУ-110 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая», можно сделать краткий вывод о том, что последняя модернизация оборудования подстанции была проведена в 2012 году и включала модернизацию вторичных цепей с заменой трансформаторов напряжения на новые, более современные модели и марки. Также была заменена и перестроена релейная защита 110 кВ на встроенных ТТ выключателей.

При этом последняя модернизация силового оборудования в РУ-110 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» была проведена в 1989 году.

С тех пор многие аппараты изнашивались и устарели, поэтому данный вопрос требует срочного решения, так как в системе электроснабжения РУ-110 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» в последние годы участились аварии, вызванные потерей надёжности в связи с износом силового оборудования.

Следующим основным элементом РУ-110 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» являются силовые трансформаторы 110/6 кВ.

Они получают питание от рабочих секций сборных шин РУ-110 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области.

В схеме РУ-110 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области применяется отдельный режим работы указанных фидеров 110 кВ с наличием резервирования на стороне 110 кВ подстанции.

Два силовых трансформатора марки ТДН-10000/110 работают параллельно (каждый на свою нагрузку) и питаются каждый от своей рабочей секции сборных шин РУ-110 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области.

Оба силовые трансформатора на понизительной подстанции переменного напряжения ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области на данный момент находятся в рабочем исправном состоянии и периодически проходили регламентные текущие и капитальные ремонты.

Они были заменены в результате комплексной плановой реконструкции, проведённой на подстанции в 2002 году.

Следующим основным элементом ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области является распределительное устройство низшего напряжения 6 кВ (РУ НН).

В исходной схеме ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области РУ 6 кВ выполнено комплектным с применением ячеек наружной установки типа КРУН производственной единой серии К-59.

Таким образом, РУ-6 кВ является распределительным устройством низшего напряжения подстанции, выполняющим роль приёма и распределения электроэнергии между потребителями на напряжении 6 кВ.

«На отходящих линиях в РУ-6 кВ понизительной подстанции переменного напряжения ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области установлены следующие защитные и коммутационные аппараты» [2]:

- «масляные горшковые выключатели марки» [12] ВМПЭ-10/630;
- разъединители внутреннего исполнения марки РВФ-10/630;
- измерительные трансформаторы тока марки ТПОЛ-10;
- измерительные трансформаторы напряжения марки НТМИ-10;
- вентильные разрядники марки РВО-10.

Исходя из краткой характеристики оборудования РУ-6 кВ понизительной подстанции переменного напряжения ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области, можно сделать краткий вывод о том, что последняя модернизация оборудования подстанции была проведена в 2012 году и включала модернизацию вторичных цепей с заменой трансформаторов тока и напряжения.

Модернизация остального силового оборудования РУ-6 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области проводилась в 1994 году (согласно технической документации). С тех пор многие аппараты изнашивались и устарели, поэтому данный вопрос требует срочного решения, так как в системе электроснабжения РУ-6 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» в последние годы участились аварии, вызванные потерей надёжности в связи с износом силового оборудования. Следовательно, решение данного вопроса носит актуальный характер.

«Для обеспечения собственных нужд, ТП-110/6 кВ «Портовая» установлены два трансформатора собственных нужд (далее – ТСН)» [14] марки ТМ-40/10. От них получают питания цепи собственных нужд, включающие автоматику, телеизмерения, сигнализацию, а также освещение территории и здания подстанции, освещение диспетчерской, цепи управления электроснабжением подстанции. ТСН были установлены на ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области в 2002 году вместе с проведением других мероприятий по модернизации и реконструкции оборудования подстанции, описанных выше.

Система СН подстанции выполнена с использованием гибких и жёстких шинопроводов марки ШАТ различных сечений. Они проверяются в работе далее.

Для питания потребителей ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области в РУ-6 кВ предусмотрены следующие ячейки, приведённые далее.

«От первой секции сборных шин РУ-6 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области получают питание следующие потребители (согласно диспетчерских наименований)» [18]:

- «ячейка 3 – «Порт-1»» [18];
- «ячейка 4 – «Бытовой сектор-1»» [4].

«От второй секции сборных шин РУ-6 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области получают питание следующие потребители (согласно диспетчерских наименований)» [18]:

- «ячейка 7 – «Порт-2»» [18];
- «ячейка 8 – «Бытовой сектор-2»» [18].

«Технические данные нагрузки потребителей подстанции (включая нагрузку собственных нужд) ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области, представлены в таблице 1» [5]. Кроме того, так как ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области – узловая, следовательно, для дальнейшего расчёта нагрузок следует привести также и максимальные мощности транзита (таблица 1).

Таблица 1 – Технические данные нагрузки потребителей ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области

Секция шин РУ-6 кВ	Номер ячейки	Наименование присоединения	$P_m$ , кВт
I СШ	3	Порт-1	1800
	4	Бытовой сектор-1	800
	-	ТСН-1	30
Всего по I секции шин РУ-6 кВ			2630
II СШ	7	Порт-2	1000
	8	Бытовой сектор-2	2200
	-	ТСН-2	30
Всего по II секции шин РУ-6 кВ			3230
Всего по ТП-110/6 кВ «Портовая»			5860
Транзит через ТП-110/6 кВ «Портовая»			12000
Всего по ТП-110/6 кВ «Портовая» с учётом транзита			17860

Таким образом, в работе было приведено описание и анализ исходной схемы электрических соединений «ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области, с анализом технических данных нагрузки потребителей и собственных нужд» [15], а также максимальных транзитных мощностей подстанции. «Исходная схема электрических соединений ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области до проведения» [18] её реконструкции схемы первичных соединений и модернизации оборудования, приведена на графическом листе 1.

## **1.2 Требования нормативных документов к трансформаторным подстанциям энергосистем**

Известно, что к современным трансформаторным понизительным подстанциям предъявляются жёсткие требования по следующим техническим критериям, а именно:

- условия надёжности питания потребителей соответствующих категорий согласно [7], [3];
- принцип бесперебойности передачи электроэнергии потребителям соответствующих категорий надёжности согласно принятых схем нормальных режимов;
- нормы электробезопасности при выполнении электромонтажных, ремонтных работ и работ по обслуживанию и осмотру всего оборудования подстанций;
- применение резервирования на всех ответственных участках распределительной, питающей сети и потребителей подстанции, отказ от системы «холодного» резерва (оборудование не находится в работе в нормальной схеме подстанции);
- применение секционирования на всех звеньях электрической сети в распределительных устройствах подстанции (как правило, применяется секционирование систем сборных шин распределительных устройств);
- применение стандартных разработанных схем распределительных устройств и подстанций, в которые изменения должны быть обоснованы только расчётным технико-экономическим путём;
- обеспечения коммутационной способности оборудования распределительных устройств подстанции (путём установки коммутационной аппаратуры в распределительных устройствах подстанций);
- обеспечение динамической устойчивости системы (проверяется

- соответствующими расчётами и моделированием всей системы, в которую входит подстанция);
- обеспечение транзита и резерва мощностей для питания других объектов (применяется для узловых и транзитных подстанций);
  - соблюдение баланса мощностей во всех режимах, включая баланс по реактивной мощности, применение компенсирующих устройств реактивной мощности (при необходимости);
  - обеспечение защиты всех важнейших узлов и ветвей цепи подстанции, а также важнейшего оборудования (например, трансформаторов), для чего применяются аппараты защиты с установленными на их приводах устройствами релейной защиты;
  - использование термически устойчивого оборудования, способного выдерживать длительные сквозные токи короткого замыкания;
  - автоматизация силового, контрольного, измерительного оборудования путём внедрения средств и устройств автоматики в схемы нормальных режимов подстанций;
  - применение современных средств автоматизации на всех уровнях и звеньях подстанций: телеизмерений, автоматизированных систем учёта и контроля электроэнергии, автоматизированных систем управления режимами, систем управления электроснабжением подстанций;
  - ремонтнопригодность всего оборудования схемы нормальных соединений подстанции;
  - «живучесть» основных узлов, систем и оборудования трансформаторных подстанций;
  - возможность дальнейшего расширения, модернизации и реконструкции схемы главных соединений распределительных устройств подстанций;
  - применение блочных конструкций;
  - использование современного оборудования распределительных

устройств подстанций (приоритет отдаётся устройствам с элегазовой и вакуумной изоляцией);

- минимальные стоимости эксплуатации и ремонта при максимальном технико-экономическом эффекте.

Трансформаторные подстанции являются важнейшим звеном при передаче и распределении электроэнергии при использовании «классической схемы» (рисунок 3).

Они являются связующим звеном при передаче электроэнергии между источником её производства и потребителями.

Место трансформаторных подстанций в классической схеме производства и передачи электроэнергии показано на рисунке 3.

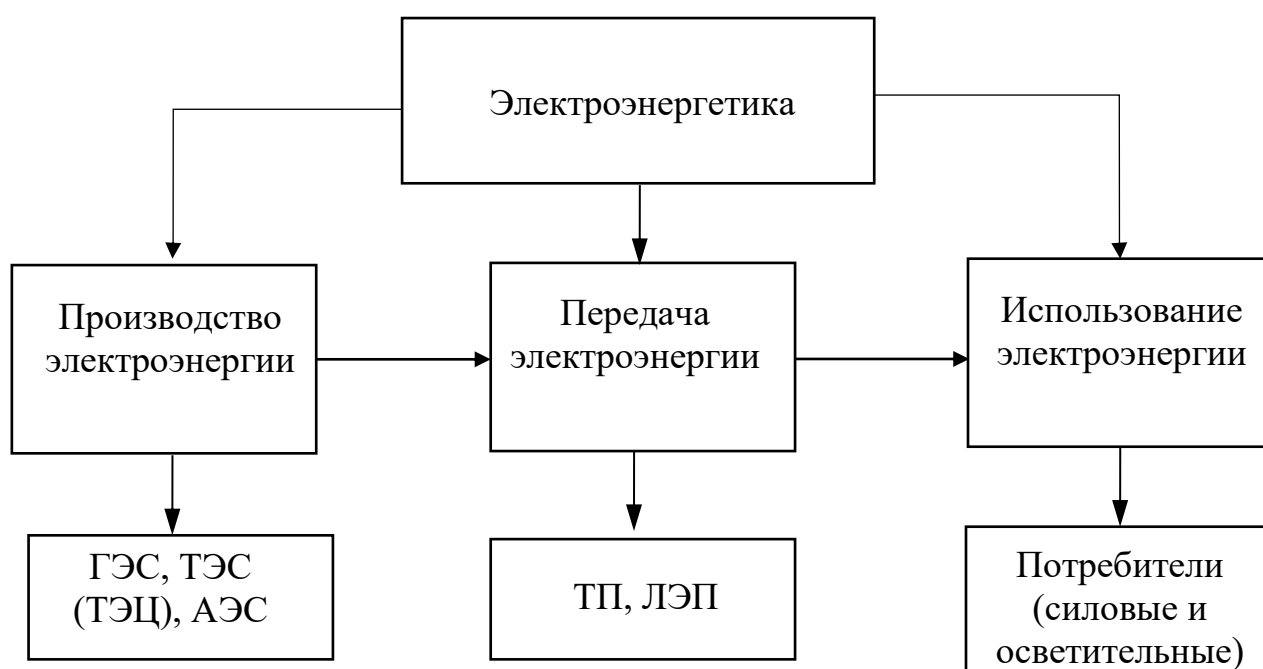


Рисунок 3 – Место трансформаторных подстанций в классической схеме производства и передачи электроэнергии

Как известно, данному типу систем электроснабжения характерны основные принципы построения, детально представленные в [17], [21].

Следовательно, исходя из перечисленных основных требований к подстанциям и электростанциям энергосистемы, «на трансформаторных подстанциях энергосистем должна быть предусмотрена отдельная система



(подсистема) электроснабжения для питания отдельно каждого вида потребителей на переменном токе» [16].

Питание потребителей подстанций и их самих осуществляется в зависимости от категории надёжности объекта (потребителя) по классификации [11], представленной на рисунке 4.

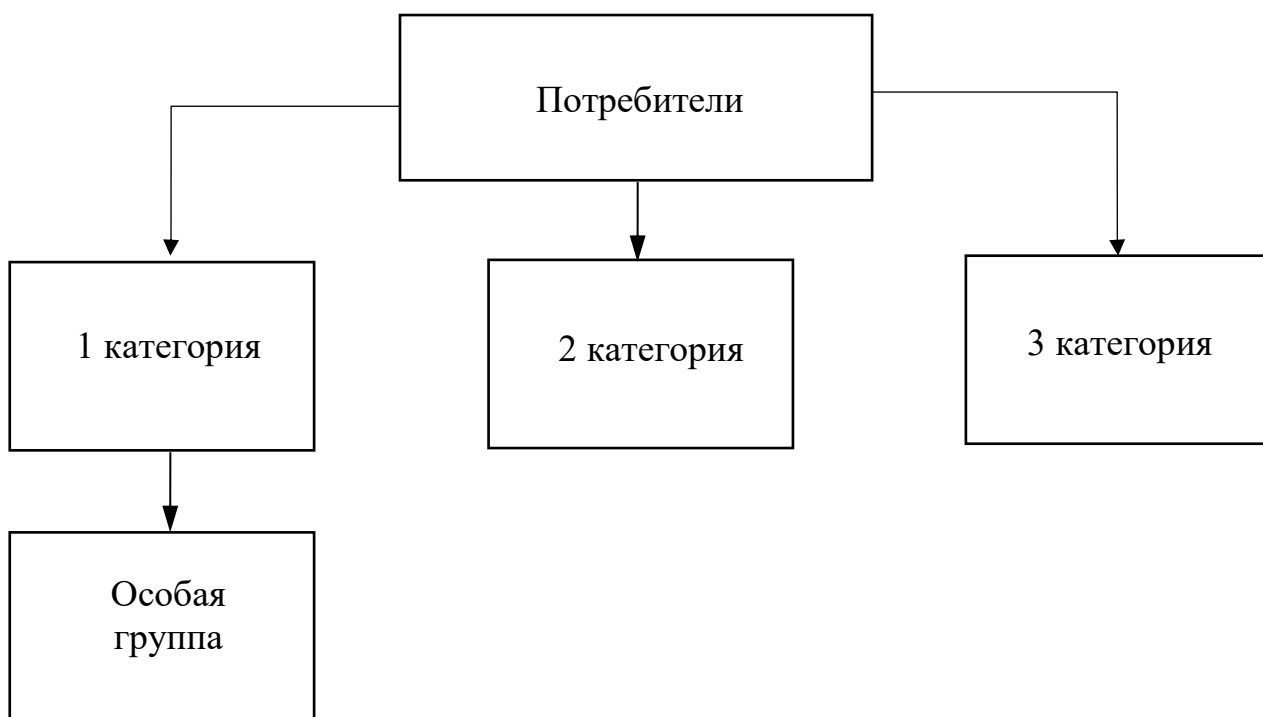


Рисунок 4 – Классификация потребителей трансформаторных подстанций по категории надёжности

При этом принципы резервирование потребителей в зависимости от категории надёжности, иллюстрируется в виде требуемых схем, представленных в нормативно-справочной литературе [3], [6].

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

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

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

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

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

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

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

Также при разработке схемных решений следует учесть критерии по электробезопасности.

В таких случаях используются только изолированные проводники (кабельные линии, провода СИП и другие аналогичные разработки проводникового материала).

Все приведённые требования должны быть учтены при дальнейшей разработке рекомендаций по реконструкции схемы электрических соединений нормального режима и модернизации основного оборудования данного объекта.

### 1.3 Обоснование предложений по реконструкции подстанции

«Далее в работе проводится аргументированный выбор и обоснование рекомендаций по реконструкции электрической части» [19] ТП-110/6 кВ «Портовая».

Так как подстанция ТП-110/6 кВ «Портовая» по месту расположения в схеме – узловая, следовательно, в РУ-110 кВ должна применяться соответствующая схема, обеспечивающая, с одной стороны, надёжное питание потребителей подстанции, а с другой стороны обеспечивая надёжный транзит мощности с учётом резервирования в схеме.

Установлено, что в исходной схеме соединений нормального режима РУ-110 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» применяется схема «Двух рабочих систем сборных шин, секционируемых выключателем». Такая схема очень надёжная, обеспечивая все необходимые условия и требования нормативных документов. Однако данная схема РУ 110 кВ не обеспечивает полного отключения «потребителей при выводе в ремонт оборудования одновременно с двух секций сборных шин 110 кВ, либо при аварийном режиме на двух секциях сборных шин 110 кВ» [18] одновременно. Таким образом, будет потеряна надёжность и работоспособность схемы и потребители не смогут получить нужное количество электроэнергии.

Таким образом, учитывая проведённый анализ схемных решений и требований нормативных документов, предъявляемых к понизительным трансформаторным подстанциям, В РУ-110 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» предложена к применению новая схема «Двух рабочих систем сборных шин, секционируемых выключателем, с применением обходной системы сборных шин». Такая схема гораздо более надёжная, обеспечивая все необходимые условия и требования нормативных документов. Обходная система сборных шин в РУ-110 кВ применяется для ремонта одной из рабочих секций сборных шин, без отключения потребителей. Также обходная секция сборных шин РУ-

110 кВ используется при транзите мощности, позволяя контролировать и распределять электроэнергию по требуемым направлениям.

Однако предложение по реконструкции схемы электрических соединений РУ 110 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» также должно быть дополнено предложениями по модернизации оборудования подстанции.

Далее в работе, на основании систематизации технических данных подстанции и анализа требований и норм к проектированию типичных объектов, проводится обоснование необходимости проведения модернизации ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области.

В данной работе, после проведения анализа, предложены рекомендации по модернизации электрической части понизительной подстанции ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области, включающие в себя следующие основные мероприятия по замене некоторого силового оборудования на объекте исследования.

«В результате проведения анализа было установлено, что в силовой части РУ-110 кВ и РУ-6 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области, находятся некоторые морально и технически устаревшие и выработавшие свой ресурс электрические аппараты, которые необходимо заменить на новые современные аппараты соответствующих марок» [20].

Эти аппараты предлагается в работе заменить их на новые, современные модификации, отличающиеся повышенными критериями надёжности, экономичности, безопасности, а также быстродействием и селективностью. Данный вопрос требует срочного решения, так как в системе электроснабжения РУ-6 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» в последние годы участились аварии, вызванные потерей надёжности в связи с износом силового оборудования. Следовательно, решение данного вопроса актуально.

Такая замена будет иметь значительный технико-экономический эффект, так как позволит предотвратить возникновение аварий оборудования электрической части ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области, а в случае возникновения – быстро их локализовать, значительно снизить

денежные затраты на монтаж, обслуживание и ремонт нового оборудования, так как практически на все новейшие модификации завод-изготовитель даёт расширенную гарантию не менее 15-20 лет. В итоге значительно снизится перерыв в электроснабжении потребителей ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области, что также принесёт эффект как технический, так и экономический.

В конечном итоге, модернизация оборудования проводится параллельно с внедрением изменений в схеме электрических соединений объекта, что значительно упрощает задачу, экономит денежные средства и ускоряет данный технологический процесс. Следовательно, мероприятия по замене устаревшего силового оборудования в электрической части ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области является актуальным и обоснованным.

Кроме того, в работе, для подтверждения работоспособности реконструированной схемы электрических соединений, а также комплексного обоснования принятых решений по модернизации основного оборудования ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области, также предлагается:

- проверить целесообразность установки на подстанции силовых трансформаторов принятых марок, с учётом их нагрузочной способности в нормальном режиме работы, и допустимой перегрузки в послеаварийном режиме работы с учётом резервирования схемы;
- проверочным путём обосновать целесообразность применения на ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области проводников питающей воздушной линии 110 кВ и отходящих линий 6 кВ.

Таким образом, далее в работе необходимо решить комплексную задачу по внедрению предложенных мероприятий по реконструкции схемы главных электрических соединений нормального режима и модернизации оборудования ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области с учётом приведённых дополнительных аспектов. Предложенные мероприятия реализуются в работе далее и подтверждаются расчётным путём.

Выводы по разделу.

В работе было приведено описание и анализ исходной схемы электрических соединений «ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области, с анализом технических данных нагрузки потребителей и собственных нужд» [13], а также максимальных транзитных мощностей подстанции. Проведён анализ основных требований, предъявляемых к схемам главных электрических соединений нормального режима и основному оборудованию понизительных подстанций энергосистемы.

На основании полученных аналитических данных проведённого анализа, установлено, что в работе рекомендуется внедрить следующие мероприятия по реконструкции схемы главных электрических соединений нормального режима и модернизации основного оборудования ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области:

- в РУ-110 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» предложена к применению новая схема «Двух рабочих систем сборных шин, секционируемых выключателем, с применением обходной системы сборных шин». Такая схема гораздо более надёжная, обеспечивая все необходимые условия и требования нормативных документов. Обходная система сборных шин в РУ-110 кВ применяется для ремонта одной из рабочих секций сборных шин, без отключения потребителей. Также обходная секция сборных шин РУ-110 кВ используется при транзите мощности, позволяя контролировать и распределять электроэнергию по требуемым направлениям;
- в РУ-110 кВ и РУ-6 кВ рекомендовано заменить устаревшее оборудование на новое, таким образом, проведя его модернизацию согласно современным условиям и требованиям.

Все приведённые требования документов должны быть учтены при дальнейшей разработке рекомендаций по реконструкции схемы главных электрических соединений нормального режима и модернизации основного оборудования данного объекта.

## 2 Реконструкция электрической части подстанции

### 2.1 Расчёт электрических нагрузок

Для достижения поставленной цели в работе следует провести расчёт электрических нагрузок, которые далее будут использованы для расчёта максимальных рабочих токов с последующими выбором и проверкой силовых трансформаторов, проводников линий, сборных шин, а также нового основного оборудования электрической части ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области.

В работе расчёту подлежат значения активной, реактивной и полной расчётных нагрузок одиночных присоединений потребителей подстанции, систем сборных шин, а также всей подстанции ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области.

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

Активная расчётная нагрузка одиночных присоединений потребителей электрической части ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области [11]:

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

где  $P_m$  – максимальная активная нагрузка присоединений потребителей напряжением 6 кВ электрической части ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области, кВт (по данным энергосистемы);  
 $K_3$  – коэффициент загрузки потребителей напряжением 6 кВ электрической части ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области, о.е. [6].

Реактивная расчётная нагрузка одиночных присоединений потребителей электрической части ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области [11]:

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

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

Реактивная полная нагрузка одиночных присоединений потребителей электрической части ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области [11]:

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

Расчётный ток нормального режима одиночных присоединений потребителей электрической части ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области [11]:

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

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

На основании известных выражений (1) – (4) для расчёта электрических нагрузок, проводится практический расчёт активной, реактивной, полной нагрузок, а также расчётного тока нагрузки нормального режима, для всех



одиночных присоединений потребителей ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области.

Таким образом, проводится расчёт нагрузки одиночных присоединений подстанции на примере первого присоединения одиночных потребителей «Порт-1» ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области.

По условию (1) расчётная активная нагрузка первого присоединения одиночных потребителей «Порт-1» ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области:

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

По условию (2) расчётная реактивная нагрузка первого присоединения одиночных потребителей «Порт-1» ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области:

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

По условию (3) расчётная полная нагрузка первого присоединения одиночных потребителей «Порт-1» ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области:

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

По условию (4) расчётное значение тока нагрузки нормального режима первого присоединения одиночных потребителей «Порт-1» ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области:

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

«Аналогично проведён расчёт электрических нагрузок остальных присоединений потребителей 6 кВ понизительной подстанции ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области с приведением результатов расчёта в форме таблицы 2» [16].

«Также в таблице 2 расчёт суммарной нагрузки секций сборных шин 6 кВ и всей подстанции ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области проводится с учётом коэффициента одновременности максимума нагрузки согласно» [14].

«Таким образом, значение расчётной активной нагрузки секций сборных шин РУ-6 кВ и всей модернизируемой электрической части подстанции ТП-110/6 кВ» [11] «Портовая» г. Тольятти Самарской области:

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

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

получающих питание от секций сборных шин электрической части подстанции;

« $K_0$  – коэффициент одновременности максимумов нагрузки в РУ-6 кВ ТП-110/6 кВ» [1] «Портовая» г. Тольятти Самарской области.

Принимается с вероятностью не менее 95%  $K_0 = 0,8$  [14].

«Значение расчётной реактивной нагрузки секций сборных шин РУ-6 кВ и всей модернизируемой электрической части ТП-110/6 кВ» [11] «Портовая» г. Тольятти Самарской области [11]:

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

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

получающих питание от секций сборных шин электрической части ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области.

«Значение расчётной полной нагрузки секций сборных шин РУ-6 кВ и всей реконструируемой и модернизируемой электрической части ТП-110/6 кВ» [11] «Портовая» г. Тольятти Самарской области [11]:

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

Значение расчётного рабочего тока нормального режима секций сборных шин РУ-6 кВ и всей реконструируемой и модернизируемой ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области [11]:

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

Также в таблице 2 проведён расчёт нагрузок для двух транзитных линий реконструируемой и модернизируемой ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области по выражениям (1) – (5) с учётом номинального напряжения 110 кВ, на котором данный транзит мощности осуществляется согласно схемы электрических соединений подстанции:

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

«Согласно исходным техническим данным, на каждое транзитное присоединение (линию) ТП-110/6 кВ» [10] «Портовая» г. Тольятти Самарской области, приходится половина транзитной нагрузки, следовательно, для каждого из двух транзитных одиночных присоединений:

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

Таким образом, транзитная активная нагрузка для каждой транзитной линии одиночных транзитных присоединений 110 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области по условию (9):

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

Результаты нагрузок транзитных присоединений 110 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» используются в работе далее для выбора сечения проводников и электрических аппаратов транзитных присоединений (на выбор трансформатора на ТП-110/6 кВ «Портовая», согласно схеме, она не влияет).

Таблица 2 – Результаты расчёта электрических нагрузок ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области с учётом транзита мощности

Секция шин/номер ячейки	Наименование присоединения	$P_{пр.}$ , кВт	$Q_{пр.}$ , квар	$S_{пр.}$ , кВА	$I_{пр.}$ , А
Нагрузка подстанции (6 кВ)					
I/3	Порт-1	1800,0	720,0	1938,7	111,9
I/4	Бытовой сектор-1	800,0	320,0	861,6	49,8
-	ТСН-1	30,0	12,0	32,3	1,9
Всего нагрузки СШ I 6 кВ		2104,0	841,6	2266,0	131,0
II/7	Порт-2	1000,0	400,0	1077,0	62,3
II/8	Бытовой сектор-2	2200,0	880,0	2369,5	137,0
-	ТСН-2	30,0	12,0	32,3	1,9
Всего нагрузки СШ II 6 кВ		2584,0	1033,6	2783,1	160,9
Всего нагрузки ТП-110/6 кВ «Портовая»		4688,0	1875,2	5049,1	291,9
Транзитная нагрузка (110 кВ)					
Транзит через ТП-110/6 кВ «Портовая» (к Т2 ТП-110/35/10 кВ «Комсомольская»)		6000,0	2400,0	6462,2	33,9
Транзит через ТП-110/6 кВ «Портовая» (к Т2 ТП-110/35/10 кВ «Ягодное»)		6000,0	2400,0	6462,2	33,9
Всего транзит через ТП-110/6 кВ «Портовая»		9600,0	3840,0	10340,0	54,3
Суммарная нагрузка подстанции с учётом транзита					
Всего по ТП-110/6 кВ «Портовая» с учётом транзита		14288	5715,2	15389	-

Результаты расчёта электрических нагрузок одиночных присоединений потребителей и транзитных присоединений понизительной подстанции ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области, используются в работе далее.

## **2.2 Проверка силовых трансформаторов подстанции по фактическому графику электрических нагрузок**

Как было указано ранее, на рассматриваемой в работе подстанции переменного напряжения ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области установлены два силовых трансформатора ТДН-10000/110.

Оба силовые трансформатора на понизительной подстанции переменного напряжения ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области находятся в рабочем исправном состоянии и периодически проходили регламентные текущие и капитальные ремонты.

Они были заменены в результате реконструкции, проведённой в ячейках трансформаторов подстанции в 2002 году.

Проводится предварительная проверка правильности выбора силовых трансформаторов ТП-110/6 кВ «Портовая», исходя из значения максимальной нагрузки подстанции.

Расчётная мощность силового трансформатора для установки на подстанции определяется по известной формуле [12]:

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

где  $S_{\text{расч}}$   $S_{\text{max.ПС}}$  – максимальное значение полной расчетной нагрузки трансформаторной подстанции ТП-110/6 кВ «Портовая» без учёта транзита мощности (таблица 2)  $S_{\text{расч}}$ .

По условию (10) для силовых трансформаторов, установленных на ТП-110/6 кВ «Портовая»:

$$S_{ном.т} = 0,7 \cdot 5049,1 = 3534,4 \text{ кВА.}$$

При проверке проводится сравнение номинальной мощности силового трансформатора и полученного значения расчётной мощности трансформатора ТП-110/6 кВ «Портовая»:

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

Таким образом, предварительные условия проверки силовых трансформаторов, установленных на ТП-110/6 кВ «Портовая», по условию (11) выполняются:

$$S_{ном.т} = 10000 \text{ кВА} \geq S_{ном.т.р} = 3534,4 \text{ кВА.}$$

Значит, исходя из результатов предварительной проверки, силовые трансформаторы марки ТДН-10000/110, установленные на ТП-110/6 кВ «Портовая», подходят для установки на данной подстанции.

«Для проверки трансформаторов марки ТДН-10000/110, установленных на подстанции ТП-110/6 кВ «Портовая» на загрузочную способность, в работе используется упрощенный суточный трёхступенчатый график нагрузок активной нагрузки потребителей подстанции, представленный на рисунке 5» [9].

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

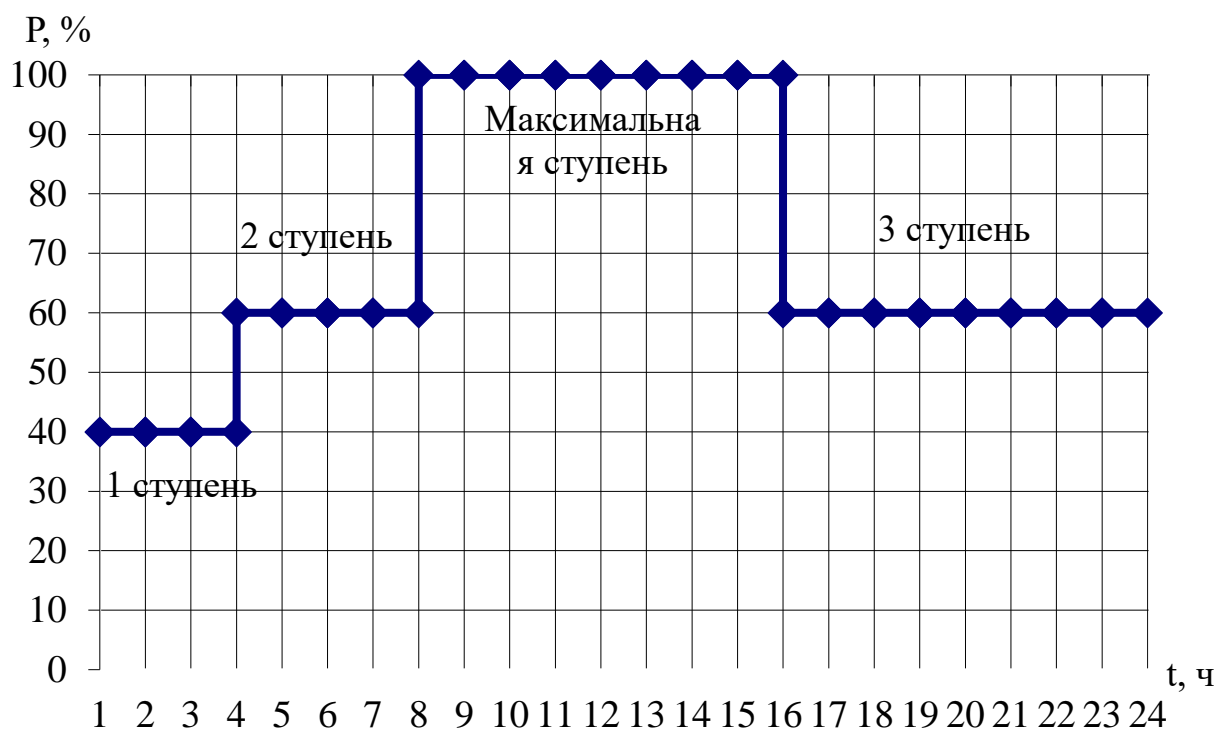


Рисунок 5 – Упрощенный суточный график нагрузок ТП-110/6 кВ «Портовая»

Условия проверки силовых трансформаторов ТП-110/6 кВ «Портовая» на перегрузочную способность, согласно суточному графику нагрузок [12]:

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

где  $K_2$  – расчетный коэффициент аварийной перегрузки суточного графика нагрузки трансформатора ТП-110/6 кВ «Портовая»;

$K_{2\text{доп}}$  – коэффициент допустимой аварийной перегрузки суточного графика нагрузки трансформатора ТП-110/6 кВ «Портовая».

В конечном итоге, с учётом допустимых коэффициентов и мощности (расчётной и номинальной) трансформаторов, установленных на ТП-110/6 кВ «Портовая»:

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

Проводится анализ и расчёт основных параметров данного графика нагрузок.

«Исходя из фактического значения максимальных значений активной мощности подстанции, с использованием коэффициента активной мощности на шинах ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области (с учётом компенсации реактивной мощности), рассчитывается значение максимального значения полной мощности суточного графика, которая соответствует максимальной ступени суточного графика нагрузки» [13]:

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

Для трансформаторов ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области максимальное значение полной мощности по суточному графику нагрузки по (14):

$$S_{\max} = \frac{4,688}{0,93} = 5,04 \text{ MVA.}$$

Для всех остальных ступеней суточного графика нагрузки силовых трансформаторов ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области используется следующая пропорция по (14):

$$5,04 \text{ MVA} = 100 \% .$$
$$S_{1cm} = 30 \% .$$

Исходя из соотношения пропорции, определяется пропорциональная нагрузка ступеней графика нагрузок ТП-110/6 кВ «Портовая». Для первой ступени суточного графика нагрузки силовых трансформаторов ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области по (14):



$$S_{1см.} = \frac{5,04 \cdot 30}{100} \approx 1,51 \text{ МВА.}$$

Для второй и третьей ступеней нагрузки силовых трансформаторов ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области по (14):

$$S_{2,3см.} = \frac{5,04 \cdot 60}{100} \approx 3,02 \text{ МВА.}$$

Осуществляется преобразование суточного графика нагрузки силовых трансформаторов ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области в эквивалентный график нагрузки.

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

Значение коэффициента начальной нагрузки  $K_1$  эквивалентного графика нагрузки силовых трансформаторов ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области определяется так:

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

По условию (15) для силовых трансформаторов ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области:

$$K_1 = \frac{1}{10} \sqrt{\frac{1,51^2 \cdot 4 + 3,02^2 \cdot 4 + 3,02^2 \cdot 8}{16}} \approx 0,27.$$

Значение расчётного коэффициента допустимой аварийной перегрузки  $K'_2$  эквивалентного графика нагрузки силовых трансформаторов ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области определяется, исходя из условия:

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

По условию (16) для силовых трансформаторов ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области:

$$K'_2 = \frac{1}{10} \sqrt{\frac{5,04^2 \cdot 8}{8}} \approx 0,5.$$

Все полученные числовые значения эквивалентного графика нагрузки силовых трансформаторов ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области, включая значения расчётных коэффициентов нормальной нагрузки  $K_1$  и допустимой перегрузки  $K_2$ , показаны на рисунке 6.

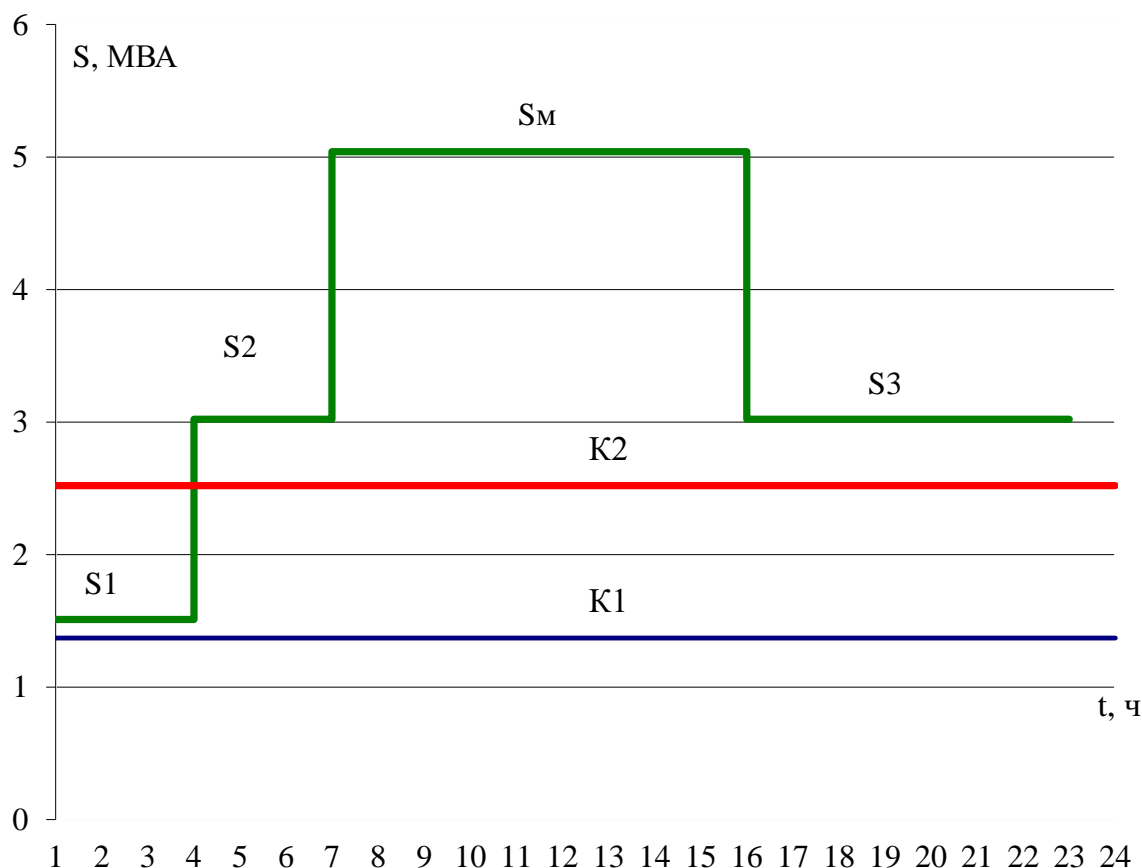


Рисунок 6 – Значения эквивалентного графика нагрузки силовых трансформаторов ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области

Для допустимых аварийных перегрузок силового трансформатора при системе охлаждения типа Д,  $\theta_{охл} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $K_1 = 0,27$ ,  $h = 8 \text{ ч}$  [12] определяется  $K_{2\text{дон}} \approx 1,25$ , что превышает значение расчётного коэффициента фактической перегрузки силовых трансформаторов  $K_2 = 0,5$ .

Условие проверки соблюдается.

Проверка условия (13) для силовых трансформаторов подстанции ТП-110/6 кВ «Портовая»:

$$S_{\max} = 5,04 \text{ МВА} \leq 10 \cdot 1,25 = 12,5 \text{ МВА}.$$

«Условие проверки соблюдается» [17].

«Следовательно, оба силовых трансформатора марки ТДН-10000/110, установленные на ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области, удовлетворяют условиям всех требуемых проверок, согласно данным суточного графика нагрузки подстанции» [17].

«По этой причине они не нуждаются в замене в связи с планируемыми мероприятиями по модернизации оборудования распределительных устройств» [11].

### **2.3 Выбор и проверка проводников подстанции**

Далее в работе необходимо провести проверочный расчёт проводников на питающей подстанции 110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области.

В работе выбираются провода воздушных линий 110 кВ и 6 кВ, а также ошиновка, применяемая в данных РУ.

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

Известно, что выбор сечений проводников напряжением выше 1 кВ (питающей воздушной линии напряжением 110 кВ и распределительных воздушных линий напряжением 6 кВ) ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области, осуществляется по известному условию экономической плотности тока [11]:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{\text{р.}}}{j_{\text{э}}}, \quad (17)$$

где  $j_{\text{э}}$  – «экономическая плотность тока, А/мм<sup>2</sup>» [10].

Для проверки выбранного сечения проводников воздушных линий на понизительной подстанции ТП-110/6 кВ «Портовая», необходимо рассчитать их максимальный ток послеаварийного режима работы с учётом условий резервирования в схеме.

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

$$I_{\text{р.макс}} = 1,4 \cdot \frac{S_{\text{р}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}} = 1,4 \cdot I_{\text{р.}} \quad (18)$$

«где  $S_{\text{р}}$  – расчётная полная нагрузка воздушной линии, кВА» [2];

« $I_{\text{р}}$  – расчётный ток нормального режима воздушной линии электропередачи (таблица 2)» [15];

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

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

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

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

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

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

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

Кроме того, провод должен быть проверен по механической прочности, а также условиям коронирующего разряда (для ВЛ-110 кВ).

Данное условие проверяется по следующему соотношению:

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

Для воздушных линий, выполненные с применением стандартных проводников марки АС:

- для ВЛЭП 110 кВ – 95 мм<sup>2</sup>;
- для ВЛЭП 6 (10) кВ – 25 мм<sup>2</sup>.

На основе приведённых расчётных формул согласно принятой методики выбора и проверки проводов воздушных линий электропередач, проводится проверка сечения провода питающей воздушной линии ВЛ-110 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области. Питание ТП-110/6 кВ «Портовая» от источника питания осуществляется двuceпной воздушной линией электропередачи с применением провода марки АС-150/7,84.

Как было указано ранее, на ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области установлены два силовых трансформатора марки ТДН-10000/110. По условию (8):

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

«Расчётное сечение питающей ВЛ-110 кВ понизительной подстанции переменного напряжения 110/6 кВ» [9] «Портовая» по условию экономической плотности тока:

$$F_9 = \frac{52,5}{1,1} = 47,7 \text{ мм}^2.$$

Таким образом, установлено, что сечение провода на питающей ВЛ-110 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» с применением провода марки АС-150/7,84, соответствует условиям выбора и совпадает с фактическими сечениями проводов питающей линии 110 кВ.

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

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

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

Значение максимального тока ПАВ режима провода ВЛ-110 кВ понизительной подстанции ТП-110/6 кВ «Портовая» с учётом резервирования в схеме:

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

Проверка провода ВЛ-110 кВ понизительной подстанции ТП-110/6 кВ «Портовая» по максимальному току ПАВ режима выполняется:

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

По условию (21):

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

Следовательно, в работе путём проведения соответствующих расчётов и проверок установлено, что сечение провода на питающей ВЛ-110 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» с применением провода марки АС-150/7,84, соответствует условиям выбора и совпадает с фактическими сечениями проводов питающей линии 110 кВ в реальных условиях.

Выбор и проверка сечений проводов отходящих линий напряжением 6 кВ, а также транзитных линий, применяемых на ТП-110/6 кВ «Портовая», выполнены по аналогичной методике с приведением полученных результатов в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты проверочного расчёта проводников питающей и распределительных воздушных линий, а также транзитных линий, на ТП-110/6 кВ «Портовая»

Линия	$I_p, \text{ А}$	$F_{\Sigma}, \text{ мм}^2$	$F_{ст}, \text{ мм}^2$	$I_{p, \text{max}}, \text{ А}$	Марка провода	$I_{доп}, \text{ А}$
Питающая ВЛ-110 кВ						
ВЛ-110 кВ-Т1	52,5	47,7	150	73,5	АС-150/7,84	450
ВЛ-110 кВ-Т2	52,5	47,7	150	73,5	АС-150/7,84	450
Распределительные ВЛ-6 кВ						
СШ I 6 кВ						
РУ 6 кВ-Порт-1	111,9	101,7	120	156,7	АС-120/19	390
РУ 6 кВ-4-Бытовой сектор-1	49,8	45,3	50	69,7	АС-50/8	210
СШ II 6 кВ						
РУ-6 кВ-Порт-2	62,3	56,8	50	87,2	АС-50/8	210
РУ-6 кВ-Бытовой сектор-2	137,0	124,5	120	191,8	АС-120/19	390
Транзитные ВЛ-110 кВ						
ВЛ-110 кВ - Т2 ТП-110/35/10 кВ «Комсомольская»	33,9	30,8	150	47,5	АС-150/7,84	450
ВЛ-110 кВ - Т2 ТП-110/35/10 кВ «Ягодное»	33,9	30,8	150	47,5	АС-150/7,84	450

Таким образом, в работе расчётным путём, используя принятую методику выбора и проверки, подтверждены все сечения проводников питающей 110 кВ и распределительных воздушных линий 6 кВ, а также транзитных линий 110 кВ, применяемых на ТП-110/6 кВ «Портовая».

Выбор сборных шин распределительных устройств 110 кВ и 6 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» проводится по максимальному рабочему току по приведённому ранее условию (20).

Применяются следующие виды ошиновки на подстанции ТП-110/6 кВ «Портовая»:

- в ОРУ-110 кВ – гибкая ошиновка из проводов марки АС-150/7,84;
- в ЗРУ-6 кВ – жёсткая ошиновка из сборные алюминиевых шин марки ШАТ (основная) и ответвительная ошиновка марки ОЖ-СЭЦ.

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

Проводится проверка выбранной гибкой ошиновки из проводов марки АС-150/7,84 для установки в ОРУ-110 кВ по максимальному рабочему току по приведённому ранее условию (20):

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

Условие проверки выполняется, следовательно, в качестве ошиновки в ОРУ-110 кВ применяется гибкая ошиновка, выполненная с применением провода марки АС-150/7,84 с допустимым током  $I_{дон}=450 \text{ A}$ .

В работе для установки в ЗРУ-6 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» принимаются основная жёсткая ошиновка: сборные алюминиевые шины прямоугольного сечения марки ШАТ, размер – 100×6 мм, три полосы (трёхполосные шины), допустимый ток  $I_{дон} = 1425 \text{ A}$  [7].

Условие выбора шин установки в ЗРУ-6 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» выполняется:

$$1425 \text{ A} \geq 191,8 \text{ A}.$$

В качестве ответвительной жёсткой ошиновки (для присоединения электрических аппаратов трансформаторных вводов, отходящих линий к



сборным шинам ЗРУ 6 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая», а также вводов 6 кВ к ТСН), принимается современная жёсткая ошиновка марки ОЖ-СЭЦ-6/2000 с  $I_{don} = 2000 \text{ A}$  [7].

Условие выбора ошиновки в ЗРУ 6 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» выполняется (с учётом того, что максимальный рабочий ток трансформаторных вводов 6 кВ, с учётом условий резервирования, на объекте равен  $I_m = 1456 \text{ A}$ ):

$$2000 \text{ A} \geq 1456 \text{ A}.$$

Таким образом, для другого трансформаторного ввода и отходящих линий ЗРУ 6 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая», на которых рабочий ток будет меньше, это условие также будет выполнено.

Исходя из поставленной задачи, в работе выбраны и проверены сечения проводников:

- питающей (110 кВ) и отходящих (6 кВ) воздушных линий ТП-110/6 кВ «Портовая» (провода марки АС разных сечений);
- гибкая ошиновка из проводов марки АС-150/7,84 для применения в ОРУ-110 кВ с допустимым током  $I_{don}=450 \text{ A}$ ;
- основная жёсткая ошиновка из сборных алюминиевых шин в ЗРУ-6 кВ (выбраны трёхполосные шины ШАТ – 100×6 мм с допустимым током  $I_{don}=1425 \text{ A}$ );
- ответвительная жёсткая ошиновка для присоединения электрических аппаратов трансформаторных вводов и отходящих линий, а также вводов ТСН, к сборным шинам ЗРУ 6 кВ (принята современная жёсткая ошиновка марки ОЖ-СЭЦ-6/2000 с  $I_{don} = 2000 \text{ A}$ ).

Все выбранные проводники ТП-110/6 кВ «Портовая» соответствуют требуемым условиям выбора и проверки.

## 2.4 Расчёт токов короткого замыкания на подстанции

Далее в работе проводится расчёт значения максимального тока трёхфазного короткого замыкания на сборных шинах ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области, по которому будут проверены на термическую и электродинамическую стойкость электрические аппараты и шинные конструкции, выбранные для установки в соответствующих распределительных устройствах подстанции.

Значения токов КЗ в системе ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области будут использованы при выборе и проверке нового оборудования распределительных устройств в работе далее.

«Исходная расчётная схема для расчёта токов КЗ на понизительной подстанции ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области представлена на рисунке 7» [11].

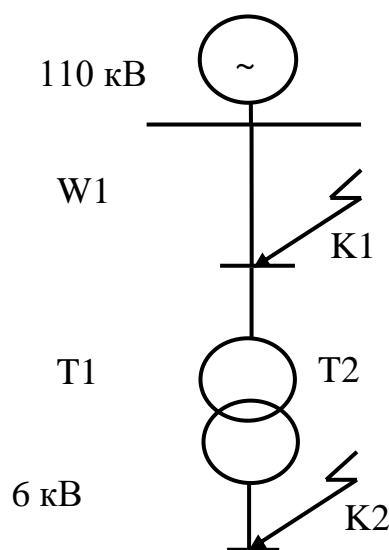


Рисунок 7 – Исходная расчётная схема для расчёта токов КЗ в системе ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области

Для составления схемы замещения, каждый элемент замещается эквивалентным сопротивлением. Как правило, в сети напряжением выше 1 кВ решающее значение имеют индуктивные сопротивления элементов.

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

«Исходная схема замещения для расчёта токов КЗ на понизительной подстанции ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области в работе представлена на рисунке 8» [15].

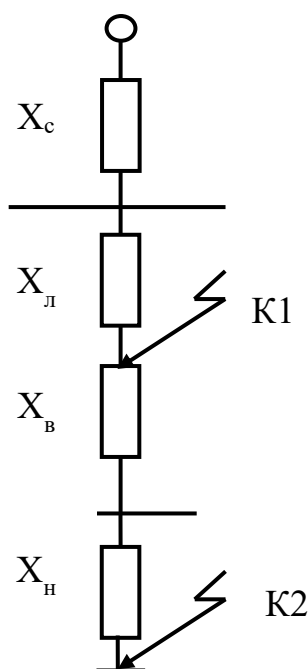


Рисунок 8 – Исходная схема замещения для расчёта токов КЗ на понизительной подстанции ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области

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

«В качестве основной базисной ступени для расчёта в работе выбирается ступень высшего напряжения – 110 кВ» [5].

Вторая ступень 6 кВ будет неосновной ступенью напряжения.

Базисная мощность принимается равной номинальной мощности силового трансформатора ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области, оставшегося в работе в послеаварийном режиме (при этом второй

трансформатор подстанции отключён, что отображено в расчётной схеме и схеме замещения, а также учтено при расчётах далее) [12]:

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

Базисные напряжения для двух ступеней трансформации схемы (110 кВ и 6 кВ) ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области принимаются равными напряжениям на шинах подстанции в максимальном режиме работы. Они определены ниже с учётом данного факта.

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

$$U_{\sigma 1} = 115 \text{ кВ}.$$

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

$$U_{\sigma 2} = 6,3 \text{ кВ}.$$

Базисный ток на ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области рассчитывается по известной формуле:

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

Базисный ток для двух ступеней трансформации схемы (110 кВ и 6 кВ) ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области определён ниже по условию (22).

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

$$I_{б1} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,05 \text{ кА.}$$

Базисный ток для ступени напряжения 6 кВ (неосновная ступень):

$$I_{б1} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 0,52 \text{ кА.}$$

Далее проводится расчёт параметров схемы замещения ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области в относительных единицах, с последующим приведением их к именованным.

«Сопротивление энергосистемы определяется по формуле» [18]:

$$x_{c*} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{\kappa}}, \text{ о.е.}, \quad (23)$$

«где  $S_{\kappa}$  - полная мощность трёхфазного КЗ на шинах энергосистемы (по данным энергосистемы)» [18].

По условию (23):

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

Сопротивление питающей ВЛ-110 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области с учётом её длины, в относительных единицах, при приведении к базисным условиям:

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

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

«L- суммарная длина ВЛ, км» [15].

«Согласно условия (24), индуктивное значение сопротивления» [3] для питающей ВЛ-110 кВ:

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

Далее проводится расчёт индуктивных сопротивлений силового трансформатора ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области с учётом паспортных данных, в относительных единицах, при приведении к базисным условиям [12].

Для обмотки ВН (110 кВ) трансформатора, оставшегося в работе на ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области:

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

Согласно условия (25):

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

Для обмотки НН (6 кВ) трансформатора, оставшегося в работе на ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области в результате ПАВ режима:

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

Согласно условия (26):

$$X_n = \frac{1,75 \cdot 10,5 \cdot 10}{100 \cdot 10} = 0,18 \text{ o.e.}$$

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

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

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

«Результирующее сопротивление к точке К1 в относительных расчётных единицах» [12]:

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

«Согласно условия (28)» [12]:

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

«Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания в расчётной точке К1, при приведении к базисным условиям, в именованных единицах по (27)» [12]:

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

«Результирующее сопротивление к точке К2 в относительных расчётных единицах» [12]:

$$x_{рез} = x_c + x_l + x_g + x_H, \text{ o.e.} \quad (29)$$

\*       \*       \*       \*       \*

«Согласно условия (29)» [12]:

$$x_{рез} = 0,02 + 0,0018 + 0,01 + 0,18 \approx 0,2118 \text{ o.e.}$$

\*

«Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания в расчётной точке К2, при приведении к базисным условиям, в именованных единицах по (27)» [12]:

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

«Значение ударного тока в расчётных точках схемы или начального значения апериодической составляющей тока КЗ в максимальном режиме» [12]:

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

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

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

– в точке К1:



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

– в точке К2:

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

Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчёта токов КЗ на шинах 110 кВ и 6 кВ в максимальном режиме работы ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области

Параметр	Расчётная точка КЗ	
	Точка К1	Точка К2
$I_k$ , кА	2,29	2,46
$i_{уд}$ , кА	5,51	4,87

Результаты токов КЗ на шинах 110 кВ и 6 кВ в максимальном режиме работы ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области, используются в работе для соответствующих проверок выбранного нового оборудования распределительных устройств подстанции.

## 2.5 Выбор нового оборудования для модернизации подстанции

Далее в работе, на основании технических данных подстанции и полученных расчётных результатов электрических нагрузок, рабочих и максимальных токов, а также токов трёхфазного КЗ, проводится непосредственный выбор и проверка основного оборудования распределительных устройств с целью проведения модернизации ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области. На рассматриваемой подстанции ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области находятся такие устаревшие аппараты: «масляные баковые и горшковые выключатели» [12], «разъединители» [12], «вентильные разрядники» [12].

Перечисленные аппараты предлагается в работе заменить на новые, современные модификации, отличающиеся повышенными критериями надёжности, экономичности, безопасности, а также быстродействием и селективностью. При этом модернизация оборудования проводится параллельно с практическим внедрением изменений в схеме электрических соединений объекта, что значительно упрощает задачу и ускоряет данный технологический процесс. Предварительно выбранные электрические аппараты для их установки в РУ-110 кВ и РУ 6 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области далее в работе необходимо проверить на соответствие параметрам сети, в которую они установлены (таблица 5).

Таким образом, обоснование модернизации оборудования в РУ-110 кВ и РУ 6 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области будет проведено в работе расчётным путём.

Таблица 5 – Предварительный выбор марок электрических аппаратов

Тип аппарата и напряжение установки	Марка аппарата	Завод-изготовитель
Выключатель 110 кВ	ВР110НСМ	ООО «НТЭАЗ Электрик»
Разъединитель 110 кВ	РГП-НТ-110-25/1000 УХЛ1	ООО «НТЭАЗ Электрик»
Ограничитель перенапряжения 110 кВ	ОПН-110/40,5/10/450 УХЛ1	НИИ «Защитных аппаратов и изоляторов»
Выключатель 6 кВ	ВРС-10	ООО «НТЭАЗ Электрик»
Разъединитель 6 кВ	РВ-10/630УХЛ2	ООО «НТЭАЗ Электрик»
Ограничитель перенапряжения 6 кВ	ОПНп-6/6,9/10/500	НИИ «Защитных аппаратов и изоляторов»

Далее на основании расчётов необходимо проверить предварительно выбранное новое оборудование для установки на подстанции ТП-110/6 кВ «Портовая».

Для защиты и коммутации оборудования в ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области в РУ-110 кВ и РУ 6 кВ устанавливаются высоковольтные выключатели.

Известно, что выключатели высокого напряжения – это основные аппараты для защиты и коммутации электрической сети и единственные

аппараты на подстанции, которыми можно отключать сеть под нагрузкой, а также они отключают сеть при возникновении ненормальных режимов (в частности, токов КЗ). Поэтому к выключателям предъявляются повышенные требования по коммутационной способности, а также по стойкости к сквозным токам КЗ и ударным токам.

Известно, что выбор выключателей высокого напряжения производится, исходя из следующих условий [18]:

- по номинальному напряжению:

$$U_{уст} \leq U_n \quad (31)$$

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

- по максимальному рабочему току:

$$I_{раб.макс} \leq I_n \quad (32)$$

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

- «проверка выключателя на симметричный ток отключения» [12]:

$$I_{пт} \leq I_{откн} \quad (33)$$

«где  $I_{пт}$  – значение периодической составляющей тока короткого замыкания в момент начала расхождения дугогасительных контактов» [12];

« $I_{откн.н}$  – номинальный ток отключения выбранного выключателя, кА» [12];

- «проверка выключателя на отключение асимметричного тока КЗ» [7]:

$$(\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{отк.н} (1 + \beta_n), \quad (34)$$

«где  $i_{ат}$  – значение аperiodической составляющей тока короткого замыкания в момент расхождения контактов» [12];

« $\beta_n$  – номинальное значение относительного содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе КЗ» [12];

« $\tau$  – наименьшее время от начала короткого замыкания до момента расхождения дугогасительных контактов, определяется так» [12]:

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}, \quad (35)$$

«где  $t_{з.мин}$  – минимальное время действия релейной защиты, с» [12];

« $t_{с.в}$  – собственное время отключения выключателя, с» [12];

– «на электродинамическую устойчивость выбранный выключатель проверяется по значению предельного сквозного тока КЗ» [18]:

$$i_y \leq i_{нр.с}, \quad (36)$$

«где  $i_{нр.с}$  – действующее значение предельного сквозного тока КЗ» [12];

« $i_y$  – ударный ток короткого замыкания в цепи выключателя» [12];

– «проверка выключателя на термическую стойкость по значению теплового импульса» [18]:

$$B_k \leq I_T^2 t_T, \quad (37)$$

«где  $B_k$  – тепловой импульс по расчёту,  $A^2 \cdot c$ » [12];

« $I_T$  – предельный ток термической устойчивости,  $A^2 \cdot c$ » [12];

« $t_T$  – длительность протекания тока термической устойчивости, с» [12].

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

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a). \quad (38)$$

По приведённым выше условиям, с учётом рассчитанных параметров электрической сети 110 кВ и 6 кВ, далее в работе необходимо осуществить выбор выключателей высокого напряжения для их установки в соответствующих распределительных устройствах на реконструируемой и модернизируемой ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области.

Предварительно принимается для установки на объекте проектирования выключатель высокого напряжения вакуумный, нового образца и модификации, для установки в РУ 110 кВ, марки ВР110НСМ (завод-изготовитель – ООО «НТЭАЗ Электрик»).

Исходя из расположения в схеме ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области, высоковольтные выключатели напряжением 110 кВ подразделяются на следующие типы:

- высоковольтные выключатели ввода (вводные высоковольтные выключатели) – две единицы, служат для приёма электроэнергии от энергосистемы с последующей её передачей на два силовых трансформатора подстанции;
- высоковольтные выключатели секционного соединения (секционные выключатели) – одна единица, необходим для обеспечения резервирования в схеме РУ 110 кВ на подстанции, автоматически включая питание оборудования от второй системы сборных шин 110 кВ (либо от обходной системы сборных шин 110 кВ на подстанции);
- высоковольтные выключатели транзитных линий (линейные выключатели) – две единицы, необходимы для обеспечения защиты и коммутации транзитных линий 110 кВ подстанции.

Исходя из этого, необходимо учесть расположение выключателей в схеме, так как параметры сети в различных узлах системы подстанции будут также различными.

Выбор и проверка высоковольтных выключателей для установки в РУ 110 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области, проводится по приведённым выше условиям.

Результаты выбора новых выключателей высокого напряжения для установки в РУ 110 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области, представлены в работе в форме таблицы 6.

Таблица 6 – Результаты выбора новых выключателей высокого напряжения для установки в РУ 110 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области

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

Для всех присоединений выбраны выключатели ВР110НСМ-20/1600 УХЛ1. Все выбранные выключатели для установки на вводных, секционном и

транзитных соединениях в РУ 110 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области, удовлетворяют всем требуемым условиям выбора и проверки. Аналогично выбраны новые выключатели для установки в РУ 6 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области (таблица 7).

Таблица 7 – Результаты выбора новых выключателей высокого напряжения для установки в РУ 6 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Вводные выключатели: ВРС-10-20/1000 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 6 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 809,2 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 1000 \text{ А.}$
	$I_{п.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{п.т} = 2,46 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном.} = 20 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 4,87 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 31,5 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,46^2 \cdot 3 =$ $= 18,2 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$
Секционные выключатели: ВРС-10-20/1000 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 6 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 809,2 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 1000 \text{ А.}$
	$I_{п.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{п.т} = 2,46 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном.} = 20 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 4,87 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 31,5 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,46^2 \cdot 3 =$ $= 18,2 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$
Линейные выключатели: ВРС-10-20/630 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 6 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 191,8 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 1000 \text{ А.}$
	$I_{п.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{п.т} = 2,46 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном.} = 20 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 4,87 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 31,5 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,46^2 \cdot 3 =$ $= 18,2 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$

Все выбранные выключатели РУ 6 кВ удовлетворяют требуемым условиям.

Далее проводится выбор новых разъединителей для установки в РУ 110 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области.

Разъединитель – это аппарат для обеспечения видимого разрыва с целью безопасного проведения работ в электроустановках.

В работе для установки в РУ 110 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области выбирается новый разъединитель марки РГП-НТ-110-25/1000 УХЛ1 (завод-изготовитель - ООО «НТЭАЗ Электрик»).

Так как разъединители не отключают цепь под нагрузкой, они, в отличие от выключателей высокого напряжения, не проверяются на коммутационную способность при отключении токов КЗ согласно [12].

Результаты выбора и проверки новых разъединителей для установки в РУ 110 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области, представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты выбора новых разъединителей для установки в РУ 110 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области

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

Окончательно для установки в РУ 110 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области выбираются новые разъединители марки РГП-НТ-110-25/1000 УХЛ1, удовлетворяющие всем требованиям выбора и проверок.



ОПН устанавливаются на места, где ранее были установлены вентильные разрядники (на воздушных линиях – защита от атмосферных перенапряжений), а также в ячейках современных распределительных устройств напряжением 6(10)-110 кВ с воздушными, кабельными и шинными вводами (для защиты от внутренних перенапряжений).

ОПН выбирают по номинальному напряжению сети, в которую они устанавливаются, а также по максимальному рабочему току и соответствию термической и динамической стойкости [13]. Для установки в ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области выбираются ограничители перенапряжения следующих типов и марок (таблица 9):

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

Таблица 9 – Результаты выбора новых ОПН ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области

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

Все выбранные аппараты являются новыми и современными разработками электротехнической промышленности, обеспечивая высокую надёжность при их применении в схемах распределительных устройств подстанций.

Следовательно, сделан вывод, что их можно использовать для установки в ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области для защиты и коммутации электрических сетей.

Выводы по разделу.

В работе, для подтверждения работоспособности схемы электрических соединений, а также комплексного обоснования принятых решений по модернизации основного оборудования ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области, проверена целесообразность установки на подстанции силовых трансформаторов марки ТДН-10000/110, с учётом их нагрузочной способности в нормальном режиме работы, а также допустимой перегрузки в послеаварийном режиме работы с учётом резервирования схемы. Проверка проведена с учётом суточного графика нагрузки подстанции.

Проверочным путём обоснованы и подтверждены все сечения проводников воздушных линий напряжением 110 кВ и 6 кВ для их применения на ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области. Исходя из поставленной задачи, в работе выбраны и проверены сечения проводников на ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области:

- питающей (110 кВ) и отходящих (6 кВ) воздушных линий ТП-110/6 кВ «Портовая» (провода марки АС разных сечений);
- гибкая ошиновка из проводов марки АС-150/7,84 для применения в ОРУ-110 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области с допустимым током  $I_{don}=450$  А;
- основная жёсткая ошиновка из сборных алюминиевых шин в ЗРУ-6 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области (выбраны трёхполосные шины ШАТ – 100×6 мм с допустимым током  $I_{don}=1425$  А);

- ответвительная жёсткая ошиновка для присоединения электрических аппаратов трансформаторных вводов и отходящих линий, а также вводов ТСН, к сборным шинам ЗРУ 6 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области (принята современная жёсткая ошиновка марки ОЖ-СЭЩ-6/2000 с  $I_{дон} = 2000$  А).

Все выбранные проводники ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области соответствуют требуемым условиям выбора и проверки.

В рамках модернизации подстанции, выбрано и проверено новое современное оборудование РУ-110 кВ и РУ-6 кВ объекта проектирования.

Таким образом, в работе расчётно-аналитическим путём решена комплексная задача по внедрению предложенных мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений нормального режима и модернизации оборудования ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области с учётом приведённых дополнительных аспектов по проверке силовых трансформаторов и линий.

Далее в работе будут разработаны и описаны мероприятия по электромонтажным работам на подстанции ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области в результате реконструкции её схемы и модернизации оборудования распределительных устройств (с частичной заменой последнего).

### **3 Организация электромонтажных работ по реконструкции подстанции**

Ранее в работе были обоснованы и выбраны рекомендации по реконструкции схемы главных электрических соединений нормального режима и модернизации основного оборудования ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области:

- в РУ-110 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» предложена к применению новая схема «Двух рабочих систем сборных шин, секционируемых выключателем, с применением обходной системы сборных шин». Такая схема гораздо более надёжная, обеспечивая все необходимые условия и требования нормативных документов. Обходная система сборных шин в РУ-110 кВ применяется для ремонта одной из рабочих секций сборных шин, без отключения потребителей. Также обходная секция сборных шин РУ-110 кВ используется при транзите мощности, позволяя контролировать и распределять электроэнергию по требуемым направлениям;
- в РУ-110 кВ и РУ-6 кВ рекомендовано заменить устаревшее оборудование на новое, таким образом, проведя его модернизацию согласно современным условиям и требованиям. Установлено, что к таким аппаратам в РУ-110 кВ и РУ-6 кВ на рассматриваемой подстанции ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области относятся: устаревшие выключатели высокого напряжения, разъединители, а также вентильные разрядники. «В результате выполнения работы, они были заменены на такие типы и марки: выключатели высокого напряжения марки ВР110НСМ, разъединители марки РГП-НТ-110-25/1000 УХЛ1, ограничители перенапряжения ОПН-110/40,5/10/450 УХЛ1, выключатели высокого напряжения марки ВРС-10, разъединители РВ-10/630УХЛ2, ОПНп-6/6,9/10/500 УХЛ1» [4].

Далее в работе, основываясь на приведённых выше полученных результатах, необходимо разработать и описать мероприятия по практическому проведению электромонтажных работ на подстанции ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области в результате её реконструкции и модернизации.

При этом модернизация оборудования проводится параллельно с практическим внедрением изменений в схеме электрических соединений объекта, что значительно упрощает задачу и ускоряет данный технологический процесс [1].

Основные этапы проведения электромонтажных работ на ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области, связанных с реконструкцией схемы электрических соединений подстанции, с учётом модернизации оборудования распределительных устройств, представлены на рисунке 9.

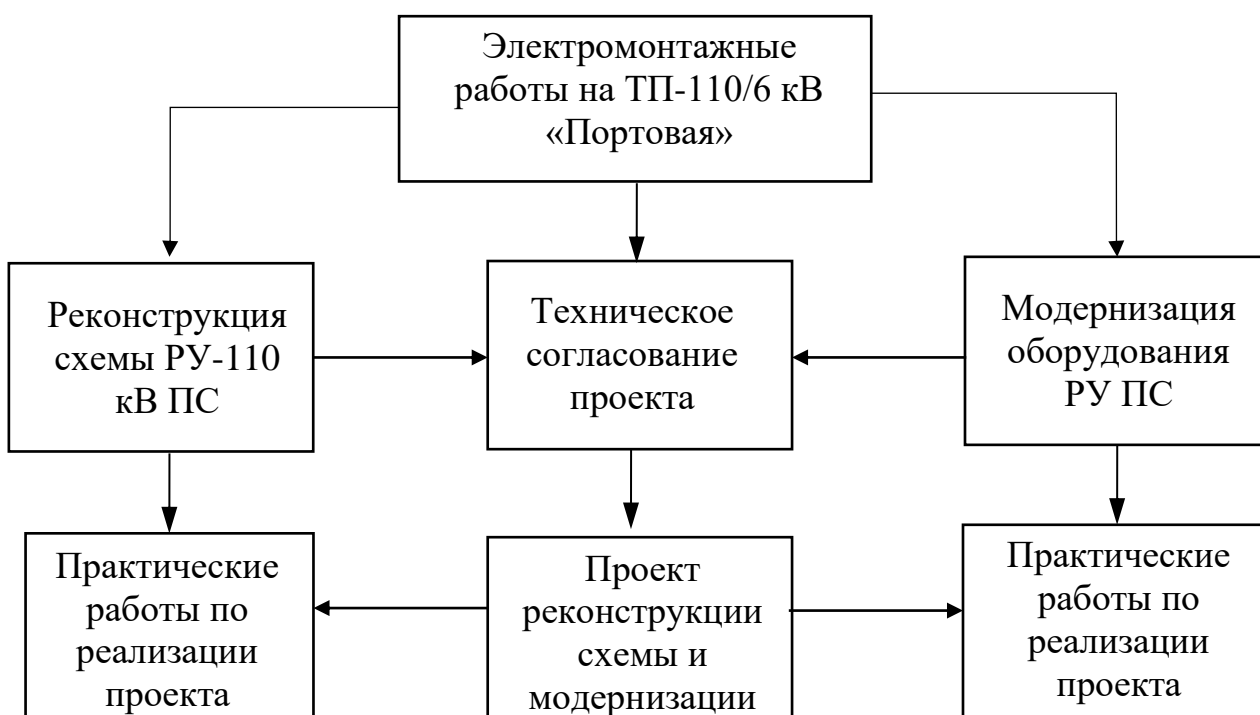


Рисунок 9 – Основные этапы проведения электромонтажных работ на ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области, связанных с реконструкцией схемы электрических соединений подстанции, с учётом модернизации оборудования распределительных устройств

Таким образом, в работе предложено совместить электромонтажные

работы по реконструкции схемы РУ-110 кВ ПС и модернизация оборудования РУ ПС. Внедрения такого совмещения работ принесёт значительную экономию времени, ресурсов, позволит быстрее и надёжнее ввести принятые технические решения в эксплуатацию [1].

Совокупность электромонтажных работ по принятым в работе решениям, с учётом совмещения технических процессов, предлагается выполнить в последовательности, представленной в таблице 10.

Таблица 10 – Последовательность выполнения электромонтажных работ по принятым в работе решениям, с учётом совмещения технических процессов на ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области

Наименование этапа электромонтажных работ	Реконструкция схемы РУ-110 кВ	Модернизация электрических аппаратов РУ-110 кВ и РУ-6 кВ	Примечания
Электромонтажные работы в РУ-110 кВ			
Демонтаж старого оборудования в РУ-110 кВ	-	+	Демонтаж старых выключателей, разъединителей и разрядников 110 кВ
Монтаж нового оборудования в РУ-110 кВ	+	+	Установка системы ОСШ – 110 кВ. Монтаж новых выключателей, разъединителей и ОПН 110 кВ
Электромонтажные работы в РУ-6 кВ			
Демонтаж старого оборудования в РУ-6 кВ	-	+	Демонтаж старых выключателей, разъединителей и разрядников 6 кВ
Монтаж нового оборудования в РУ-6 кВ	-	+	Монтаж новых выключателей, разъединителей и ОПН 6 кВ

После практического проведения электромонтажных работ по принятым в работе решениям, необходимо также провести следующие необходимые мероприятия:

- проверить фазировку шин и оборудования;
- выполнить монтаж и наладку вторичных цепей (цепи измерений,

- релейной защиты, сигнализации, автоматики, телеметрии);
- провести комплексные пуско-наладочные работы и испытания;
- внедрить необходимые технические и организационные мероприятия по технике безопасности на объекте;
- сдать соответствующим служебным лицам выполненную работу, составить акт выполненных работ;
- составить акт приёмки в эксплуатацию;
- провести пробное включение в работу оборудования;
- ввести оборудование и схему целиком в работу (эксплуатацию).

Предложенные этапы проведения электромонтажных работ, а также последовательность внедрения мероприятий по принятым в работе решениям, с учётом совмещения технических процессов, предлагается принять к сведению.

Выводы по разделу.

В работе, основываясь на приведённых выше полученных результатах, разработаны и описаны мероприятия по практическому проведению электромонтажных работ на подстанции ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области в результате её реконструкции и модернизации.

При этом модернизация оборудования проводится параллельно с практическим внедрением изменений в схеме электрических соединений объекта, что значительно упрощает задачу и ускоряет данный технологический процесс.

Разработаны и предложены к практическому использованию этапы проведения электромонтажных работ, а также последовательность внедрения мероприятий по принятым в работе решениям, с учётом совмещения технических процессов на подстанции ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области в результате её реконструкции и модернизации.

Предлагается принять к сведению разработанные решения по выполнению электромонтажных работ на объекте исследования.

## Заключение

В результате выполнения работы, проведена реконструкция схемы электрических соединений нормального режима трансформаторной подстанции ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области, с модернизацией некоторого устаревшего силового оборудования распределительных устройств данной подстанции.

В работе было приведено описание и анализ исходной схемы электрических соединений ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области, с анализом технических данных нагрузки потребителей и собственных нужд, а также максимальных транзитных мощностей подстанции.

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

На основании полученных аналитических данных проведённого анализа, установлено, что в работе рекомендуется внедрить следующие мероприятия по реконструкции схемы главных электрических соединений нормального режима и модернизации основного оборудования ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области:

- в РУ-110 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» предложена к применению новая схема «Двух рабочих систем сборных шин, секционируемых выключателем, с применением обходной системы сборных шин». Такая схема гораздо более надёжная, обеспечивая все необходимые условия и требования нормативных документов. Обходная система сборных шин в РУ-110 кВ применяется для ремонта одной из рабочих секций сборных шин, без отключения потребителей. Также обходная секция сборных шин РУ-110 кВ используется при транзите мощности, позволяя контролировать и распределять электроэнергию по требуемым направлениям;



- в РУ-110 кВ и РУ-6 кВ рекомендовано заменить устаревшее оборудование на новое, таким образом, проведя его модернизацию согласно современным условиям и требованиям.

В работе, в рамках модернизации подстанции, выбрано и проверено новое современное оборудование РУ-110 кВ и РУ-6 кВ объекта проектирования.

Кроме того, в работе, для подтверждения работоспособности схемы электрических соединений, а также комплексного обоснования принятых решений по модернизации основного оборудования ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области, проверена целесообразность установки на подстанции силовых трансформаторов марки ТДН-10000/110, с учётом их нагрузочной способности в нормальном режиме работы, а также допустимой перегрузки в послеаварийном режиме работы с учётом резервирования схемы.

Проверка проведена с непосредственным учётом суточного графика нагрузки подстанции.

Исходя из поставленной задачи, в работе выбраны и проверены сечения проводников на ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области:

- питающей (110 кВ) и отходящих (6 кВ) воздушных линий ТП-110/6 кВ «Портовая» (провода марки АС разных сечений);
- гибкая ошиновка из проводов марки АС-150/7,84 для применения в ОРУ-110 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти с  $I_{дон}=450$  А;
- основная жёсткая ошиновка из сборных алюминиевых шин в ЗРУ-6 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области (выбраны трёхполосные шины ШАТ – 100×6 мм с  $I_{дон}=1425$  А);
- ответвительная жёсткая ошиновка для присоединения электрических аппаратов трансформаторных вводов и отходящих линий, а также вводов ТСН, к сборным шинам ЗРУ 6 кВ ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области (принята современная жёсткая ошиновка марки ОЖ-СЭЦ-6/2000 с  $I_{дон} = 2000$  А).

Основываясь на полученных результатах, разработаны и предложены к практическому использованию этапы проведения электромонтажных работ, а также последовательность внедрения мероприятий по принятым в работе решениям, с учётом совмещения технических процессов на подстанции ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области в результате её реконструкции и модернизации.

Алгоритм, включающий проведения электромонтажных работ, разработанный с учётом совмещения технических процессов на подстанции ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области в результате её реконструкции и модернизации, предложено принять к сведению при практической реализации проекта.

Таким образом, в работе расчётно-аналитическим путём решена комплексная задача по внедрению предложенных мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений нормального режима и модернизации оборудования ТП-110/6 кВ «Портовая» г. Тольятти Самарской области с учётом приведённых дополнительных аспектов по проверке силовых трансформаторов и линий.

## Список используемых источников

Введение.....	4
1 Исходная характеристика подстанции .....	6
1.1 Краткая характеристика подстанции.....	6
1.2 Требования нормативных документов к трансформаторным подстанциям энергосистем .....	14
1.3 Обоснование предложений по реконструкции подстанции.....	19
2 Реконструкция электрической части подстанции .....	23
2.1 Расчёт электрических нагрузок.....	23
2.2 Проверка силовых трансформаторов подстанции по фактическому графику электрических нагрузок .....	29
2.3 Выбор и проверка проводников подстанции.....	35
2.4 Расчёт токов короткого замыкания на подстанции.....	42
2.5 Выбор нового оборудования для модернизации подстанции.....	49
3 Организация электромонтажных работ по реконструкции подстанции .....	60
Заключение .....	64
Список используемых источников.....	67

1. Бадагуев Б.Т. Электромонтажные работы и работы по монтажу, настройке и сдаче в эксплуатацию оборудования распределительных устройств подстанций. М.: Альфа-Пресс, 2021. 288 с.

2. ГОСТ 29322-2014. «Напряжения стандартные» [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200115397> (дата обращения: 16.01.2023).

3. 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: 16.01.2023).

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

16.01.2023).

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

6. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для ВУЗов. 5-е издание, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2018. 608 с.

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

8. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 N 87 (ред. от 01.12.2021) «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/902087949> (дата обращения: 07.01.2023).

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

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

11. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: Альвис, 2018. 632 с.

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

13. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. 464 с.

14. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение. Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. 328 с.

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

16. СТО 56947007- 29.240.30.047-2010. «Рекомендации по применению типовых принципиальных электрических схем распределительных устройств подстанций 35 - 750 кВ». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.twirpx.com/file/2616342/> (дата обращения: 18.01.2023).

17. СТО 56947007-29.240.30.010-2008. «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.twirpx.com/file/24666/> (дата обращения: 16.10.2022).

18. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 № 35-ФЗ об энергосбережении [Электронный ресурс]: URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_41502/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/) (дата обращения: 17.01.2023).

19. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об энергосбережении, повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

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

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