

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра Электроснабжение и электротехника

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Реконструкция электрической части ЗРУ 35 кВ ТЭЦ

Обучающийся

Н. Г. Сильвестров

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

д.т.н., проф. А. А. Кувшинов

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

Тольятти 2023

## Аннотация

В работе проведена реконструкция схемы главных электрических соединений нормального режима с модернизацией основного оборудования открытого распределительного устройства 35 кВ (далее – ЗРУ 35 кВ) на ТЭЦ «ВАЗа».

Реконструкция схемы электрических соединений ЗРУ 35 кВ связана с введением в эксплуатацию двух новых линий 35 кВ в связи с необходимостью увеличения производственных мощностей.

Также в связи со значительным износом основного электрооборудования ЗРУ 35 кВ электрической станции (теплоэлектроцентрали) ТЭЦ «ВАЗа», проведена его замена на современные модели инновационного оборудования соответствующих типов.

Для решения поставленных задач, проведён анализ работы электрической станции ТЭЦ «ВАЗа», описана исходная схема ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа», а также проведён анализ основного оборудования исходной схемы электрических соединений объекта исследования.

На основе результатов проведённого анализа, выявлены проблемы в ЗРУ 35 кВ электрической станции ТЭЦ «ВАЗа», связанные с необходимостью модернизации основного оборудования и реконструкции схемы электрических соединений, и предложены пути их решения.

Результатом работы является разработка, проверка и реализация технических решений, позволяющих внедрить качественные мероприятия по модернизации электрооборудования и реконструкции схемы электрических соединений ЗРУ 35 кВ электрической станции ТЭЦ «ВАЗа».

## Содержание

Введение .....	4
1 Анализ исходных технических данных .....	7
1.1 Назначение и характеристика электростанции в энергосистеме .....	7
1.2 Характеристика потребителей ЗРУ 35 кВ .....	12
1.3 Требования к распределительным устройствам электрических станций .....	14
1.4 Обоснование необходимости проведения реконструкции ЗРУ 35 кВ .....	18
2 Реконструкция системы электроснабжения ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» .....	23
2.1 Расчёт максимальных рабочих токов .....	23
2.2 Выбор и проверка проводников ЗРУ 35 кВ .....	25
2.3 Расчёт токов короткого замыкания .....	30
2.4 Выбор нового оборудования для установки в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» .....	50
3 Реконструкция системы учёта и контроля электроэнергии ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» .....	61
Заключение .....	66
Список используемых источников .....	68

## Введение

Известно, что надёжная работа и стабильное состояние энергетической системы, является одним из основных критериев экономического и технического развития, важнейшая составляющая современного научно-технического прогресса. В этом процессе также принимают участие распределительные устройства электрических станций и подстанций.

Распределительные устройства (далее – РУ) современных трансформаторных подстанций и электростанций энергосистемы всех типов - важнейшие элементы, обеспечивающие приём и распределение электроэнергии согласно схеме электрических соединений, а также коммутацию и защиту электрической сети.

Известно, что распределительные устройства (далее – РУ) современных трансформаторных подстанций и электростанций энергосистемы всех типов, являются важнейшими элементами, обеспечивая приём и распределение электроэнергии согласно схеме нормальных электрических соединений, а также коммутацию и защиту электрической сети.

Основными составляющими распределительных устройств являются электрические аппараты, именно благодаря их слаженной работе в РУ обеспечиваются условия надёжности, электробезопасности, быстродействия и селективности (избирательности). Такими показателями обладают современные разработки электрических аппаратов, активно внедряющихся в последнее время для применения в РУ всех типов и классов напряжения. Таким образом, установлено, что применение современных электрических аппаратов в РУ всех типов создаёт необходимые условия для обеспечения нормальной и надёжной работоспособности не только самого РУ, но и всей электрической сети в целом. Поэтому модернизация и реконструкция РУ современных трансформаторных подстанций и электростанций энергосистемы всех типов является актуальным заданием современной электроэнергетики. Данный аспект обуславливает актуальность работы.

Основной целью данной работы является реконструкция схемы электрических соединений с внедрением мероприятий по модернизации основного оборудования закрытого распределительного устройства напряжением 35 кВ (далее – ЗРУ 35 кВ) теплоэлектроцентрали акционерного общества «Автоваз» (далее – ТЭЦ «ВАЗа»), которая осуществляется путём замены некоторых 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.

Объектом исследования в работе является схема электрических соединений нормального режима ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа».

Предметом исследования являются схема электрических соединений, а также электрооборудование напряжением 35 кВ рассматриваемой в работе схемы электрических соединений ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа».

Для решения поставленных задач, проведён анализ работы электрической станции ТЭЦ «ВАЗа», описана исходная схема ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа», а также проведён анализ основного оборудования исходной схемы электрических соединений объекта исследования.

На основе результатов проведённого анализа, выявлены проблемы в ЗРУ 35 кВ электрической станции ТЭЦ «ВАЗа», связанные с необходимостью реконструкции схемы электрических соединений и модернизации основного оборудования.

Установлено, что реконструкция схемы электрических соединений ЗРУ 35 кВ необходима для ввода в эксплуатацию двух новых отходящих линий потребителей напряжением 35 кВ.

На основании теоретических и исходных данных, в работе предложены пути решения поставленных задач.

Проведены практические мероприятия по реконструкции схемы главных электрических соединений и модернизации основного оборудования

ЗРУ 35 кВ электрической станции ТЭЦ «ВАЗа», для чего в работе осуществлены:

- расчёт максимальных рабочих токов;
- выбор и проверка проводников ЗРУ 35 кВ;
- расчёт токов короткого замыкания;
- выбор и проверка новых электрических аппаратов ЗРУ 35 кВ;
- реконструкция системы учёта и контроля электроэнергии на объекте проектирования.

Проверка всего оборудования основывается на результатах расчёта электрических нагрузок и токах короткого замыкания в максимальном режиме работы, и проводится на предмет электромеханической совместимости и прочности в аварийных режимах.

При выполнении работы, должны быть учтены соответствие принятых решений, следующим действующим нормам и положениям:

- строительным нормам и положениям;
- технологическим нормам и положениям, предусматривающим мероприятия, обеспечивающие конструктивную надёжность;
- нормам по взрывоопасности и пожарной безопасности объекта;
- нормам и положениям по электробезопасности;
- нормам и положениям по защите населения и устойчивой работе объекта в чрезвычайных ситуациях, а также требованиям по защите окружающей природной среды при её эксплуатации.

Результатом работы является разработка, проверка и реализация технических решений, позволяющих внедрить качественные мероприятия по реконструкции схемы главных электрических соединений и модернизации электрооборудования в ЗРУ 35 кВ электрической станции ТЭЦ «ВАЗа».

Решение поставленных в работе основных задач проводится с учётом принятых расчётных и аналитических методик.

## **1 Анализ исходных технических данных**

### **1.1 Назначение и характеристика электростанции в энергосистеме**

ТЭЦ «ВАЗа» является тепловой электростанцией г. Тольятти Самарской области.

Она была введена в эксплуатацию в 1967 году с основной целью: обеспечение тепловой энергией объектов производства ТЭЦ «ВАЗа», а также жилых и промышленных потребителей города Самары и Самарской области.

ТЭЦ «ВАЗа» сегодня является электростанцией средней номинальной мощности.

По состоянию на 2023 год суммарная установленная максимальная электрическая активная мощность ТЭЦ «ВАЗа» составляет около 435 МВт.

Основным топливным ресурсом для ТЭЦ «ВАЗа» служит природный газ.

За время своего существования ТЭЦ «ВАЗа» претерпела множество реконструкций, модернизаций и расширений.

В результате этого, производился целенаправленный перевод котлоагрегатов ТЭЦ «ВАЗа» на природный газ, была модернизирована система теплофикации, начата реконструкция распределительных устройств переменного тока, которая продолжается до сих пор.

При этом большая часть электрооборудования ТЭЦ «ВАЗа» отработала по два срока службы, что часто приводит к отказам в его работе и, как результат, к существенному снижению показателей надёжности всей системы.

Данный вопрос планируется частично решить в рамках данной работы.

Внешний вид рассматриваемой в работе ТЭЦ «ВАЗа» представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Внешний вид ТЭЦ «ВАЗа»

Структурная схема рассматриваемой в работе ТЭЦ «ВАЗа» представлена на рисунке 2.

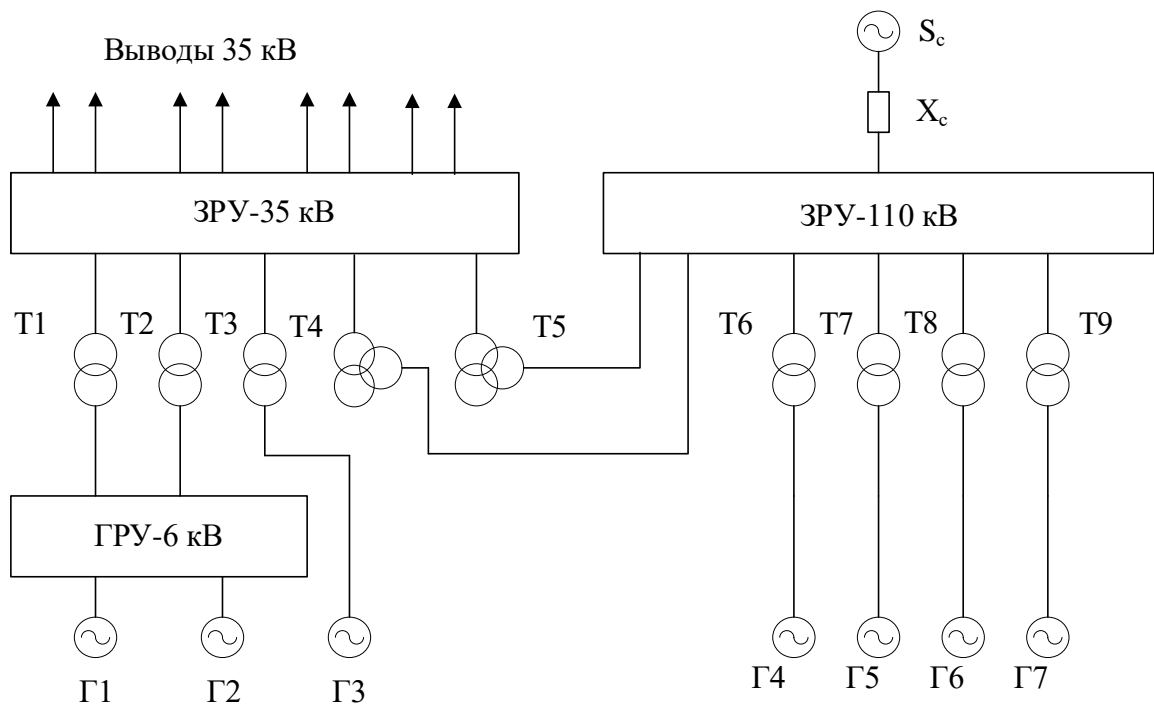


Рисунок 2 – Структурная схема ТЭЦ «ВАЗа»



На ТЭЦ «ВАЗа» по состоянию на 2023 год находится семь генераторов, три из которых были установлены недавно в результате расширения генерирующих мощностей объекта.

Технические данные турбогенераторов, установленных на ТЭЦ «ВАЗа» по состоянию на 2023 год, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические данные турбогенераторов, установленных на ТЭЦ «ВАЗа»

Параметр/ обозначение	Г1	Г2	Г3	Г4	Г5	Г6	Г7
Тип турбогенератора	ТВ2-30- 2	ТВ2-2- 30-2	ТВ2-2 30-2	ТВ-60-2	ТФВ- 100-2	ТФВ- 100-2	ТФВ- 120-2
$X_{d^*z}''$ , о.е	0,125	0,125	0,125	0,125	0,191	0,191	0,192
$U_{НОМГ}$ , кВ	6,3	6,3	6,3	6,3	10,5	10,5	10,5
$E_{d^*z}''$ , о.е	1,08	1,08	1,08	1,08	1,13	1,13	1,13
$\cos \phi_H$	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
$P_{НОМГ}$ , МВт	30	30	30	60	100	100	100

Из таблицы 1 можно сделать вывод, что на ТЭЦ «ВАЗа» электроэнергия вырабатывается на номинальных генераторных напряжениях 6,3 кВ (Г1 – Г4) и 10,5 кВ (Г5, Г6), а также происходит отпуск электроэнергии потребителям на напряжениях 110 кВ, 35 кВ и 6 кВ.

Все данные составляющие также показаны на структурной схеме (рисунок 1).

В структурную схему ТЭЦ «ВАЗа», помимо данных генераторов, также входят следующие основные элементы (рисунок 1):

- ГРУ-6 кВ – генераторное распределительное устройство напряжением 6 кВ;
- ЗРУ-110 кВ – закрытое распределительное устройство напряжением 110 кВ;
- ЗРУ 35 кВ – закрытое распределительное устройство напряжением 35 кВ.

Электрическая связь между всеми основными элементами рассмотренной структурной схемы ТЭЦ «ВАЗа» осуществляется с помощью силовых трансформаторов.

Как видно из структурной схемы рисунка 1, на ТЭЦ «ВАЗа» используются двухобмоточные и трёхобмоточные силовые трансформаторы, которые выполняют функцию как понижающих, так и повышающих трансформаторов.

Технические данные силовых трансформаторов, применяемых на ТЭЦ «ВАЗа» согласно структурной схеме (рисунок 1), представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические данные силовых трансформаторов, установленных на ТЭЦ «ВАЗа» согласно структурной схеме

Обозначение на схеме	T1, T2	T3	T4, T5	T6	T7	T8	T9
Марка	ТД-31500/35	ТД-40500/35	ТДТН-63000/110	ТДГ-70500/110	ТДЦ-125000/110	ТДЦ-125000/110	ТДЦ-125000/110
$S_{ном}, МВА$	31,5	40,5	63	70,5	125	125	125
$U_{вн}, кВ$	38,5	38,5	115	121	121	121	121
$U_{сн}, кВ$	-	-	38,5	-	-	-	-
$U_{нн}, кВ$	6,3	6,3	6,3	6,3	10,5	10,5	10,5
$U_{к}, \%$	8,35	8,20	-	10,6	10,85	10,93	11,45
$U_{вн-сн}, \%$	-	-	10,3	-	-	-	-
$U_{вн-нн}, \%$	-	-	18,1	-	-	-	-

Далее в работе проводится краткая характеристика основных составляющих структурной схемы ТЭЦ «ВАЗа», представленных на рисунке 1.

В схеме электрических соединений генераторного распределительного устройства (ГРУ-6 кВ) ТЭЦ «ВАЗа» находятся две системы сборных шин, одна из которых секционирована секционным выключателем (масляного бакового типа).

Также от шин 6 кВ ГРУ-6 кВ ТЭЦ «ВАЗа» производится отпуск электроэнергии ряду промышленным потребителям.

Электроснабжение этих потребителей производится по радиальной схеме питания [1].

Также от ГРУ-6 кВ отходят линии питания собственных нужд (ЛПСН) ТЭЦ и резервные линии питания собственных нужд (РЛПСН).

ГРУ-6 кВ объекта связано со ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» двумя трансформаторами связи 6/35 кВ, которые передают выработанную электроэнергию генераторов Г1 и Г2 для питания потребителей 35 кВ.

ЗРУ-110 кВ ТЭЦ «ВАЗа» выполнено с использованием схемы «две системы сборных шин, секционированной выключателем, с применением одиночной обходной системы шин».

ЗРУ-110 кВ ТЭЦ «ВАЗа» получает питание через повышающие трансформаторы связи от генераторов Г4-Г6 ТЭЦ «ВАЗа».

От ЗРУ-110 кВ получают питание крупные промышленные потребители г. Тольятти и района, с последующей трансформацией напряжения (в работе не рассматривается).

Рассматриваемое в работе ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» представляет собой кирпичное двухэтажное здание, расположенное на территории ТЭЦ «ВАЗа».

На первом этаже расположены ячейки масляных выключателей 35 кВ и приводы разъединителей.

На втором этаже ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» имеет схему «две рабочих системы сборных шин, секционированных выключателем».

В качестве секционного выключателя в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» также применяется устаревший масляный выключатель бакового типа марки МКП-35, установленный в результате модернизации в 1982 году.

ЗРУ 35 кВ получает питание от ГРУ-6 кВ через два повышающих трансформатора связи (обозначены как Т1 и Т2 на рисунке 1), а также от генератора ТГ-3 через повышающий трансформатор связи Т3.

Также ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» связано с ЗРУ-110 кВ объекта двумя трансформаторами связи (обозначены Т4 и Т5 на рисунке 1), через которые осуществляются перетоки мощности.

От ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» отходит восемь линий, которые используются для питания производства АО «Автоваз», а также для теплоснабжения жилых и промышленных потребителей г. Тольятти и района.

Все они питают потребителей на номинальном напряжении 35 кВ (в работе детально не рассматривается).

В схеме ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» используются устаревшие электрические аппараты, которые выработали свой ресурс, к ним относятся:

- устаревшие и изношенные выключатели высокого напряжения типа МКП-35;
- устаревшие и изношенные разъединители РЛНД-35;
- устаревшие и изношенные разрядники РВС-35;
- устаревшие и изношенные трансформаторы напряжения, а также трансформаторы тока различных марок.

Кроме того, на ТЭЦ «ВАЗа» к собственным нуждам относятся линии питания собственных нужд (далее – ЛПСН):

- 4 линии основного питания ЛПСН;
- 3 резервные ЛПСН.

На основании приведённой технической характеристики объекта с использованием его структурной схемы, а также схемы главных электрических соединений ТЭЦ «ВАЗа», далее в работе проводится решение основных поставленных задач.

## **1.2 Характеристика потребителей ЗРУ 35 кВ**

Как было указано ранее, от ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» отходит шесть линий, которые используются для питания производства АО «Автоваз», а также для теплоснабжения жилых и промышленных потребителей г. Тольятти и района (с последующей трансформацией, в работе не рассматриваются).

Из них все шесть ответвлений выполнены воздушными линиями напряжением 35 кВ с применением провода марки АС. Установлено, что все

ВЛ-35 кВ устарели, на данных линиях в последние годы часто возникают аварии вследствие обрыва проводов и изоляторов.

В работе, в связи с увеличением требуемых мощностей для потребностей производства, планируется ввести в эксплуатацию две новые линии, которые, с учётом прохождения по территории жилой застройки г. Тольятти, будут выполнены кабельными КЛ-35 кВ (с применением кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена марки АПвЭгаПу-35). Таким образом, данный аспект обуславливает необходимость реконструкции схемы главных соединений ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа». Характеристика отходящих линий ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» с указанием их максимального рабочего тока (по данным энергосистемы), и вида линии, представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристика отходящих линий ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» с указанием их максимального рабочего тока (по данным энергосистемы) и вида линии

Номер отходящей линии 35 кВ	Диспетчерское наименование линии 35 кВ	Вид линии (ВЛ/КЛ)	Максимальный рабочий ток линии 35 кВ (по данным энергосистемы), А
Существующие воздушные линии 35 кВ			
Л1	ТЭЦ «ВАЗа» - Тольятти-2 (Т-1)	ВЛ	217
Л2	ТЭЦ «ВАЗа» - СМ (Т-2)	ВЛ	168
Л3	ТЭЦ «ВАЗа»- БН (Т-3)	ВЛ	337
Л4	ТЭЦ «ВАЗа»- БН (Т-4)	ВЛ	340
Л5	ТЭЦ «ВАЗа» - отп. Трампарк (Т-5)	ВЛ	80
Л6	ТЭЦ «ВАЗа» - отп. Трампарк (Т-6)	ВЛ	84
Проектируемые кабельные линии 35 кВ			
Л7	ТЭЦ «ВАЗа» -Индустриальная (Т-83)	КЛ	120
Л8	ТЭЦ «ВАЗа» -Индустриальная (Т-82)	КЛ	125

В результате проведения анализа, охарактеризованы потребители ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа».

Результаты максимальных рабочих токов отходящих линий ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа», приведённые в таблице 3, будут использованы в работе далее при выборе и проверке проводников и электрических аппаратов данных соединений ЗРУ 35 кВ. Указанные вопросы решаются в работе далее.

### **1.3 Требования к распределительным устройствам электрических станций**

Распределительные устройства электростанций энергосистемы, являются важнейшим звеном и относятся, как правило, к I и II категориям по надёжности электроснабжения по принадлежности к потребителям, которых они питают [17].

Поэтому они требуют двух источников питания, а также необходимого уровня автоматизации и резервирования на всех звеньях цепи.

Как известно, данному типу систем электроснабжения характерны следующие основные принципы построения:

- резервное питание потребителей 1 и 2 категорий надёжности;
- применение радиальных схем в питающей системе электроснабжения объекта;
- применение смешанных схем в распределительной системе электроснабжения объекта;
- установка коммутационных и защитных аппаратов от внешних и внутренних повреждений;
- минимум промежуточных звеньев при передаче электроэнергии;
- применение автоматики для обеспечения резерва в сети;
- разделение секций на две и более для резерва сети (резервирование и секционирование системы).

Следовательно, в распределительных устройствах электростанций энергосистемы должна быть предусмотрена отдельная система (подсистема) электроснабжения для питания отдельно каждого вида потребителей на переменном напряжении промышленной частоты 50 Гц [6].

Такая система будет удовлетворять всем требованиям нормативных документов с учётом питания разноимённых потребителей, относящихся к I и II категориям надёжности [7].

Данное требование также распространяется и на ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа»,

рассматриваемую в работе.

Известно, что основные нормы и требования, которые предъявляются проектированию распределительных устройств трансформаторных подстанций и электростанций энергосистемы, заключаются в неукоснительном соблюдении следующих требований [11]:

- надёжности отдельных элементов, узлов и всей системы электроснабжения в целом;
- экономичности при приёме и передаче электроэнергии на всех звеньях цепи;
- безопасности обслуживающего персонала при выполнении работ в распределительных устройствах трансформаторных подстанций и электростанций энергосистемы;
- возможности модернизации и расширения распределительных устройств;
- удобства монтажа, ремонта и эксплуатации оборудования распределительных устройств трансформаторных подстанций и электростанций энергосистемы;
- применения передовых технологий в сфере разработки оборудования, а также схемных решений;
- применения негабаритных конструкций;
- обеспечения постоянного и качественного оперативного контроля параметров и характеристик оборудования распределительных устройств трансформаторных подстанций и электростанций энергосистемы;
- применения качественного и достаточного аппарата автоматизации всех процессов;
- соблюдения и контроля параметров электроэнергии, передаваемой потребителям на всех уровнях;
- возможности локализации узлов с лимитами энергопотребления и/или значительными потерями электроэнергии;

- контроля перетоков мощности на всех уровнях в узлах и ветвях схемы электрических соединений распределительных устройств трансформаторных подстанций и электростанций энергосистемы;
- обеспечения ограничения ненормальных режимов работы электрооборудования;
- обеспечение экономичности при передаче электроэнергии, а также при ремонте, обслуживании и модернизации оборудования распределительных устройств трансформаторных подстанций и электростанций энергосистемы.

Проводится анализ требований, предъявляемых к распределительным устройствам основными нормативными документами, с приведением описания наиболее значимых из них.

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

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 [20].

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 на 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).

Также в закрытых РУ в последнее время применяется изолированная ошиновка, которая обладает значительно лучшими показателями электробезопасности, чем голая ошиновка без изоляции.

Известно, что в системах электроснабжения распределительных устройств трансформаторных подстанций и электростанций энергосистемы должна быть обеспечена надёжные условия для коммутации и защиты как отдельных звеньев цепи, так и всем объекте в целом [4].

Для этой цели используют как отключающую коммутационную аппаратуру, так и отдельные устройства релейной защиты и автоматики, выполняющие роль сигнализатора повреждений [4].

Поэтому все электрические аппараты распределительных устройств трансформаторных подстанций и электростанций энергосистемы должны быть выбраны по расчётной нагрузке с учётом резервирования и проверены по

максимальным токам короткого замыкания на предмет электромеханической совместимости и прочности в аварийных режимах [5].

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 прочности, ресурса и безопасности.

Все приведённые требования применимы к ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа», детально рассматриваемой в данной работе, с конечной целью реконструкции её схемы электрических соединений и модернизации основного оборудования.

Нормативные требования, приведённые выше, должны быть учтены при дальнейшей разработке рекомендаций по реконструкции и модернизации данного объекта.

Решение основных задач для достижения поставленной цели с учётом приведённых материалов, осуществляется в работе далее.

#### **1.4 Обоснование необходимости проведения реконструкции ЗРУ 35 кВ**

В результате проведения анализа оборудования электрической части ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» было определено, что на объекте исследования на сегодняшний день находятся некоторые устаревшие и выработавшие свой ресурс электрические аппараты, которые необходимо заменить на новые современные аппараты соответствующих марок.

Установлено, что в схеме ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» используются следующие устаревшие электрические аппараты, которые выработали свой ресурс:

- устаревшие и изношенные выключатели высокого напряжения типа МКП-35;
- устаревшие и изношенные разъединители РЛНД-35;
- устаревшие и изношенные разрядники РВС-35;
- устаревшие и изношенные трансформаторы напряжения, а также трансформаторы тока различных марок.

Предлагается в работе заменить их на новые, современные модификации, отличающиеся повышенными критериями надёжности, экономичности, безопасности, а также быстродействием и селективностью.

Такая замена будет иметь значительный технико-экономический эффект, так как позволит предотвратить возникновение аварий оборудования электрической части ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа», 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.

Следовательно, мероприятие по замене устаревшего оборудования в электрической части ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» является актуальным и обоснованным.

Кроме того, в результате анализа состояния отходящих линий ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» было установлено, что фидеры 1-6, выполненные с применением проводов воздушных линий электропередачи марки АС, нуждаются в замене данного провода на фоне значительного увеличения аварий на линиях вследствие обрыва проводов и изоляторов.

Таким образом, в работе также предлагается заменить провода воздушных линий на отходящих линиях 1-6 на новые современные типы.

Такая замена также даст значительный технико-экономический эффект, повысив надёжность, экономичность и безопасность.

Снизится перерыв в электроснабжении потребителей ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа», что также принесёт эффект как технический, так и экономический. При этом реконструкция оборудования и проводов отходящих линий электрической части ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» проводится совместно с изменениями в схеме электрических соединений объекта.

Кроме того, в результате дефицита мощностей, а также обеспечения дополнительного резервирования с последующим повышением надёжности, планируется ввести в эксплуатацию две дополнительные потребительские кабельные линии, питающие следующие присоединения:

- КЛ7 – ТЭЦ «ВАЗа» -Индустриальная (Т-83);
- КЛ8 – ТЭЦ «ВАЗа» -Индустриальная (Т-82).

Данный аспект обуславливает необходимость внесения изменений в существующую схему нормального режима ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа».

Исходная схема электрических соединений ЗРУ 35 кВ электрической станции ТЭЦ «ВАЗа» Самарской области до проведения её реконструкции и модернизации оборудования, с указанием марок данного оборудования, приведена на графическом листе 1.

Таким образом, в результате проведённого анализа схемы главных электрических соединений ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» установлено, что она полностью соответствует требованиям нормативных документов, рассмотренных в работе ранее, по критериям надёжности, безотказности, экономичности и бесперебойности. Однако требуется её реконструкция путём внедрения двух новых присоединений в результате ввода в эксплуатацию новых кабельных линий 35 кВ к потребителям.

Выводы по разделу.

В результате проведения анализа оборудования электрической части ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» было установлено, что в схеме ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа»

используются следующие устаревшие электрические аппараты, которые выработали свой ресурс:

- устаревшие и изношенные выключатели высокого напряжения типа МКП-35;
- устаревшие и изношенные разъединители РЛНД-35;
- устаревшие и изношенные разрядники РВС-35;
- устаревшие и изношенные трансформаторы напряжения, а также трансформаторы тока различных марок.

Данный вопрос требует срочного решения, так как в системе электроснабжения ЗРУ 35 кВ электрической станции ТЭЦ «ВАЗа» в последние годы участились аварии, вызванные потерей надёжности в связи с износом силового оборудования. Указанные аппараты рекомендовано заменить на новые современные типы, лишённые недостатков устаревшего оборудования. Такая замена будет иметь значительный технико-экономический эффект, так как позволит предотвратить возникновение аварий оборудования электрической части ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа», а в случае их 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 ЗРУ 35 кВ электрической станции ТЭЦ «ВАЗа» Самарской области, что также принесёт эффект как технический, так и экономический.

Предложенная модернизация обеспечит значительно более высокий уровень надёжности с применением условий резервирования и секционирования, что положительно скажется на бесперебойном электроснабжении потребителей объекта исследования. Следовательно, мероприятие по замене устаревшего оборудования в электрической части ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» является актуальным и обоснованным.

При этом модернизация оборудования электрической части ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» проводится совместно с изменениями в схеме электрических соединений (реконструкцией) объекта. Установлено, что в результате дефицита мощностей, а также обеспечения дополнительного резервирования с последующим повышением надёжности, планируется ввести в эксплуатацию две дополнительные потребительские кабельные линии, питающие следующие присоединения от ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа»:

- КЛ7 – ТЭЦ «ВАЗа» -Индустриальная (Т-83);
- КЛ8 – ТЭЦ «ВАЗа» -Индустриальная (Т-82).

Данный аспект обуславливает необходимость внесения изменений в существующую схему нормального режима ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» (фактически – её реконструкцию).

Таким образом, установлено, что в исходной схеме электрических соединений ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» необходимо провести комплексную реконструкцию данного объекта, заключающаяся, с одной стороны, во внесении изменений в исходную схему объекта, а с другой стороны – провести модернизацию некоторого основного оборудования данного объекта.

Известно, что такая совокупность мероприятий по реконструкции схемы и модернизации оборудования является оптимальным решением, способным обеспечить высокие технические и экономические показатели на объекте исследования. Указанные рекомендации по реконструкции схемы и модернизации оборудования ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» проверяются в работе далее расчётно-аналитическим способом.

## 2 Реконструкция системы электроснабжения ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа»

### 2.1 Расчёт максимальных рабочих токов

Для достижения поставленной цели в работе следует провести расчёт максимальных рабочих токов электрической части ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа».

При этом величина максимальных рабочих токов отходящих линий ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» по данным энергосистемы, представлена в работе в таблице 3.

Максимальные рабочие токи трансформаторных вводов ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» определяются, исходя из условий резервирования в схеме электрических соединений.

Для трансформаторных вводов трансформаторов связи ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» с учётом резервирования:

$$I_T = \frac{K_{II} \cdot S_T}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (1)$$

где  $S_T$  – номинальная мощность трансформатора, кВ

$K_{II}$  – коэффициент перегрузки трансформатора;

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

Для трансформаторных вводов повышающих трансформаторов ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа», максимальный рабочий ток определяется с учётом тока генератора и коэффициента трансформации:

$$I_T = \frac{I_2}{K_m}, \quad (2)$$

где  $I_2$  – ток генератора, А;

$K_m$  – коэффициент трансформации.

Расчёт максимального рабочего тока проводится на примере силового повышающего трансформатора Т1 ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» по приведённому условию (1):

$$I_{T1} = \frac{3440}{6,1} = 564 \text{ A.}$$

Аналогично определены максимальные рабочие токи остальных трансформаторных присоединений ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» и результаты представлены в таблице 4.

Для сборных шин 35 кВ ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» максимальный рабочий ток определяется суммой максимальных рабочих токов трансформаторных вводов с учётом коэффициента одновременности, а также количества рабочих секций сборных шин в схеме электрических соединений:

$$I_{Ш} = \frac{(I_{T1} + I_{T2} + I_{T3} + I_{T4} + I_{T5}) \cdot K_o}{n}, \quad (3)$$

где  $K_o$  - значение коэффициента максимумов нагрузки на шинах 35 кВ ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа»;

$n$  – количества рабочих секций сборных шин в схеме электрических соединений, шт.

Таким образом:

$$I_{Ш} = \left( \frac{564 + 564 + 564 + 1456 + 1456}{2} \right) \cdot 0,6 = 1381 \text{ A.}$$

Результаты расчёта максимальных рабочих токов трансформаторных присоединений и секций сборных шин ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» представлены в таблице 4.



Таблица 4 – Результаты расчёта максимальных рабочих токов трансформаторных присоединений и секций сборных шин ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа»

Наименование	Назначение в схеме	Максимальный рабочий ток, А
Трансформаторные вводы 35 кВ	Повышающий трансформатор Т1	564
	Повышающий трансформатор Т2	564
	Повышающий трансформатор Т3	564
	Трансформатор связи Т4	1456
	Трансформатор связи Т5	1456
Сборные шины 35 кВ	Секции сборных шин 35 кВ (каждая)	1381

Полученные результаты расчёта максимальных рабочих токов трансформаторных присоединений и секций сборных шин ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» используются в работе далее.

## 2.2 Выбор и проверка проводников ЗРУ 35 кВ

Далее необходимо провести выбор и проверку проводников ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа».

В работе выбору подлежат следующие проводники и токоведущие части ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа»:

- отходящие проводники ВЛ-35 кВ ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» – в исходном варианте выполнены с применением устаревших проводов марки АС, которые устарели, выработали свой ресурс и требуют замены. В работе предлагается их заменить на современные провода марки АСВП, обладающими высокой надёжностью, улучшенными механическими характеристиками;
- новые кабельные линии 35 кВ, которые были введены в работу в результате реконструкции ЗРУ 35 кВ;
- сборные шины 35 кВ – требуется выбор типов и марок данных шин, включая ошиновку (в закрытом РУ 35 кВ применяется жёсткая ошиновка).

Выбор всех типов проводников в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» осуществляется, исходя из величины рассчитанных ранее максимальных рабочих токов отходящих линий (таблица 3) и присоединений (таблица 4).

Известно, что выбор сечений воздушных линий электропередачи (ВЛЭП) осуществляется по экономической плотности тока по известному выражению [10]

$$F_э = \frac{I_м}{j_э}, \quad (4)$$

где  $I_м$  – максимальный рабочий ток, А;

$j_э$  – экономически выгодная плотность тока, А/мм<sup>2</sup> [10].

Значение максимального рабочего тока присоединений и сборных шин ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» было определено в работе ранее.

Известно, что после предварительного выбора сечений проводников воздушных линий, необходимо проверить их по двум условиям:

- по условию допустимого перегрева (на соответствие максимальному рабочему току);
- по механической прочности.

Выбранные проводники проверяются на соответствие максимальному рабочему току по условию [7]:

$$I_д \geq I_м, \quad (5)$$

где  $I_д$  – длительно – допустимый ток проводника, А [7].

По механической прочности проводники воздушных линий должны быть не меньшего сечения, чем стандартное минимально-допустимое сечение для условий местности по гололёду и ветру, с учётом типа опор и количества цепей линии, а также назначения линии [10].

Математически это условие выражается так [12]:

$$F_{ст} \geq F_{мин}, мм^2. \quad (6)$$

где  $F_{ст}$ ,  $F_{мин}$  соответственно, стандартное и минимальное значения сечения проводника, мм<sup>2</sup>.

Значит, в данной работе, исходя из перечисленных условий, с учётом климатических данных, а также таблиц и диаграмм, приведённых в разделе 3 [10], минимальные сечения проводов воздушных линий 35 кВ должно быть не менее 35 мм<sup>2</sup> [9].

Проводится выбор и проверка проводников отходящей ВЛ-35 кВ ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» на примере линии ВЛ-35 кВ (диспетчерское наименование - ТЭЦ «ВАЗа» -Тольятти-2 (Т-1)). Максимальный рабочий ток линии 35 кВ (по данным энергосистемы) равен 217 А.

Выбор сечения провода данной линии:

$$F_э = \frac{217}{1,1} = 197,3 мм^2.$$

Принимается к установке на отходящей ВЛ-35 кВ ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» на примере линии ВЛ-35 кВ (диспетчерское наименование – ТЭЦ «ВАЗа»-Тольятти-2 (Т-1)) современные провода марки АСВП-197/55 с длительно-допустимым током  $I_d = 561$  А [4].

Проверка по условиям нагрева провода максимальным рабочим током выполняется:

$$561 А \geq 217 А.$$

Проверка по условиям механической прочности для выбранного провода также выполняется:

$$197 \text{ мм}^2 \geq 35 \text{ мм}^2.$$

Таким образом, окончательно принимается на ВЛ-35 кВ ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» на примере линии ВЛ-35 кВ (диспетчерское наименование - ТЭЦ «ВАЗа» -Тольятти-2 (Т-1)) современные провода марки АСВП-197/55 с длительно-допустимым током  $I_d = 561 \text{ А}$  [4].

Ранее в работе установлено, что в результате дефицита мощностей, а также обеспечения дополнительного резервирования с последующим повышением надёжности, планируется ввести в эксплуатацию две дополнительные потребительские кабельные линии, питающие следующие присоединения:

- КЛ7 – ТЭЦ «ВАЗа» -Индустриальная (Т-83)
- КЛ8 – ТЭЦ «ВАЗа» -Индустриальная (Т-82).

Выбор сечения и марки новых кабельных линий 35 кВ также проводится в работе. Данные новые линии, которые, с учётом прохождения по территории жилой застройки г. Тольятти, будут выполнены кабельными КЛ-35 кВ (с применением кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена марки АПвЭгаПу-35). Конструкция кабеля марки АПвЭгаПу-35 представлена на рисунке 3.

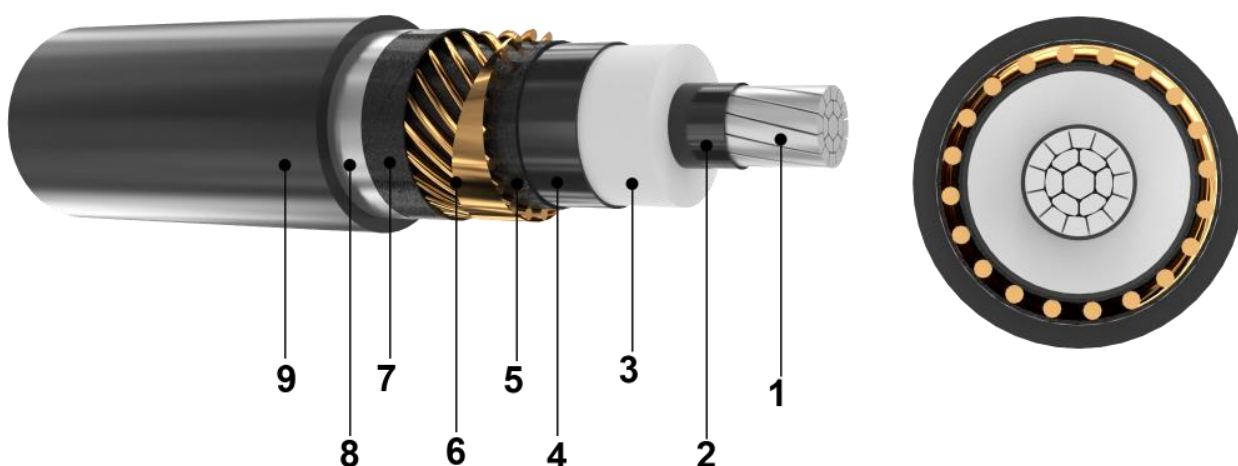


Рисунок 3 – Конструкция кабеля марки АПвЭгаПу-35: 1 – основная токопроводящая жила; 2 – экран токопроводящей жилы; 3 – изоляция жил; 4,6 – экструдированный и медный экраны; 5 – полупроводящий экран; 7 – распределительный слой; 8 – герметизирующий слой; 9 – внешняя оболочка

Аналогично выбраны сечения остальных отходящих ВЛ-35 кВ и новых КЛ-35 кВ ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» (таблица 6).

Таблица 6 – Результаты выбора сечения проводников отходящих линий ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа»

Номер отходящей линии 35 кВ	Диспетчерское наименование линии 35 кВ	$I_m$ , А	Марка и сечение провода	$I_d$ , А
Существующие воздушные линии 35 кВ				
Л1	ТЭЦ «ВАЗа» - Тольятти-2 (Т-1)	217	АСВП-197/55	561
Л2	ТЭЦ «ВАЗа» - СМ (Т-2)	168	АСВП-197/55	561
Л3	ТЭЦ «ВАЗа»- БН (Т-3)	337	АСВП-258/73	813
Л4	ТЭЦ «ВАЗа»- БН (Т-4)	340	АСВП-258/73	813
Л5	ТЭЦ «ВАЗа» - отп. Трампарк (Т-5)	80	АСВП-81/9	292
Л6	ТЭЦ «ВАЗа» - отп. Трампарк (Т-6)	84	АСВП-81/9	292
Проектируемые кабельные линии 35 кВ				
Л7	ТЭЦ «ВАЗа» - Индустриальная (Т-83)	120	АПвЭгаПу-35 -35 (3×50)	180
Л8	ТЭЦ «ВАЗа» - Индустриальная (Т-82)	125	АПвЭгаПу-35 -35 (3×50)	180

Проводится выбор и проверка сборных шин ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа».

Максимальный рабочий ток каждой секции сборных шин 35 кВ (по данным энергосистемы) равен 1381 А.

Выбор сборных шин проводится по максимальному рабочему току по условию (5).

В работе для установки в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» принимаются сборные алюминиевые шины прямоугольного сечения марки ШАТ, размер – 100×6 мм, три полосы (трёхполосные шины), допустимый ток  $I_{дон} = 1425$  А [7].

Условие выбора шин ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» выполняется:

$$1425 \text{ А} \geq 1381 \text{ А}.$$

В качестве ошиновки (для присоединения электрических аппаратов трансформаторных вводов и отходящих линий к сборным шинам ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа»), принимается современная жёсткая ошиновка марки ОЖ-СЭЩ-35/2000 с  $I_{дон} = 2000$  А [7].

Условие выбора ошиновки в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» выполняется (с учётом того, что максимальный рабочий ток трансформаторных вводов на объекте равен  $I_m = 1456$  А):

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

Таким образом, для других трансформаторных вводов и отходящих линий ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа», на которых рабочий ток будет меньше, это условие также будет выполнено.

Исходя из поставленной задачи, в работе выбраны и проверены сечения проводников отходящих линий ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» (современные провода марки АСВП разных сечений), а также сборные шины ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» (выбраны трёхполосные шины ШАТ – 100×6 мм с допустимым током  $I_{дон}=1425$  А) и ошиновка для присоединения электрических аппаратов трансформаторных вводов и отходящих линий к сборным шинам ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» (принята современная жёсткая ошиновка марки ОЖ-СЭЩ-35/2000 с  $I_{дон} = 2000$  А).

Все выбранные проводники ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» соответствуют требуемым условиям выбора и проверки.

### **2.3 Расчёт токов короткого замыкания**

Далее в работе проводится расчёт значения максимального тока трёхфазного короткого замыкания на сборных шинах ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа», по которому будут проверены на термическую и электродинамическую

стойкость электрические аппараты и шинные конструкции, выбранные для установки в ЗРУ 35 кВ.

Исходная расчётная схема, непосредственно используемая для расчёта максимального трёхфазного тока короткого замыкания (далее – КЗ) на сборных шинах ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа», представлена в работе на рисунке 4.

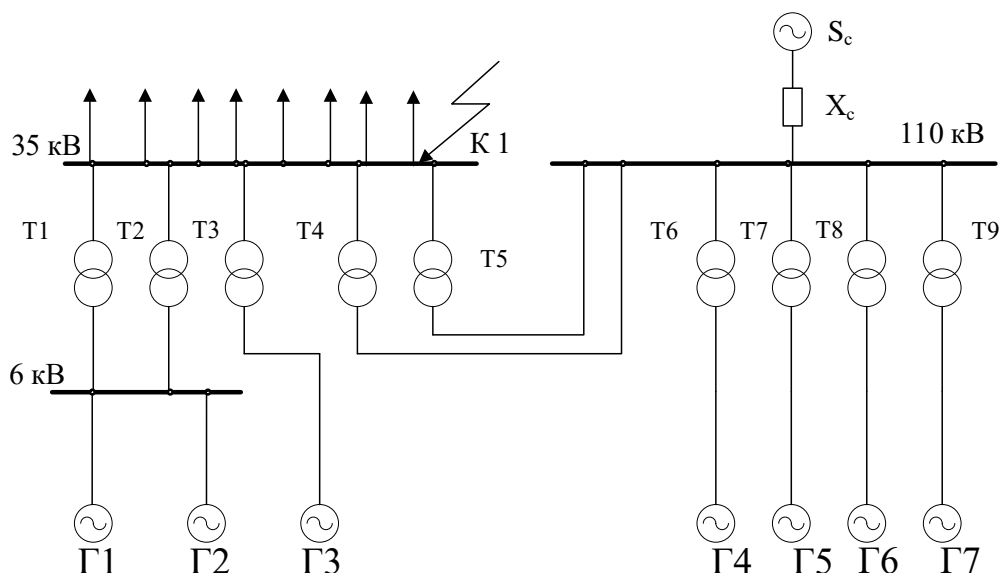


Рисунок 4 – Исходная расчётная схема, используемая для расчёта максимального трёхфазного тока КЗ на сборных шинах ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа»

Исходя из исходной расчетной схемы, используемой для расчёта максимального трёхфазного тока КЗ на сборных шинах ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа», составляется исходная схема замещения для расчёта максимального трёхфазного тока КЗ на объекте (рисунок 5).

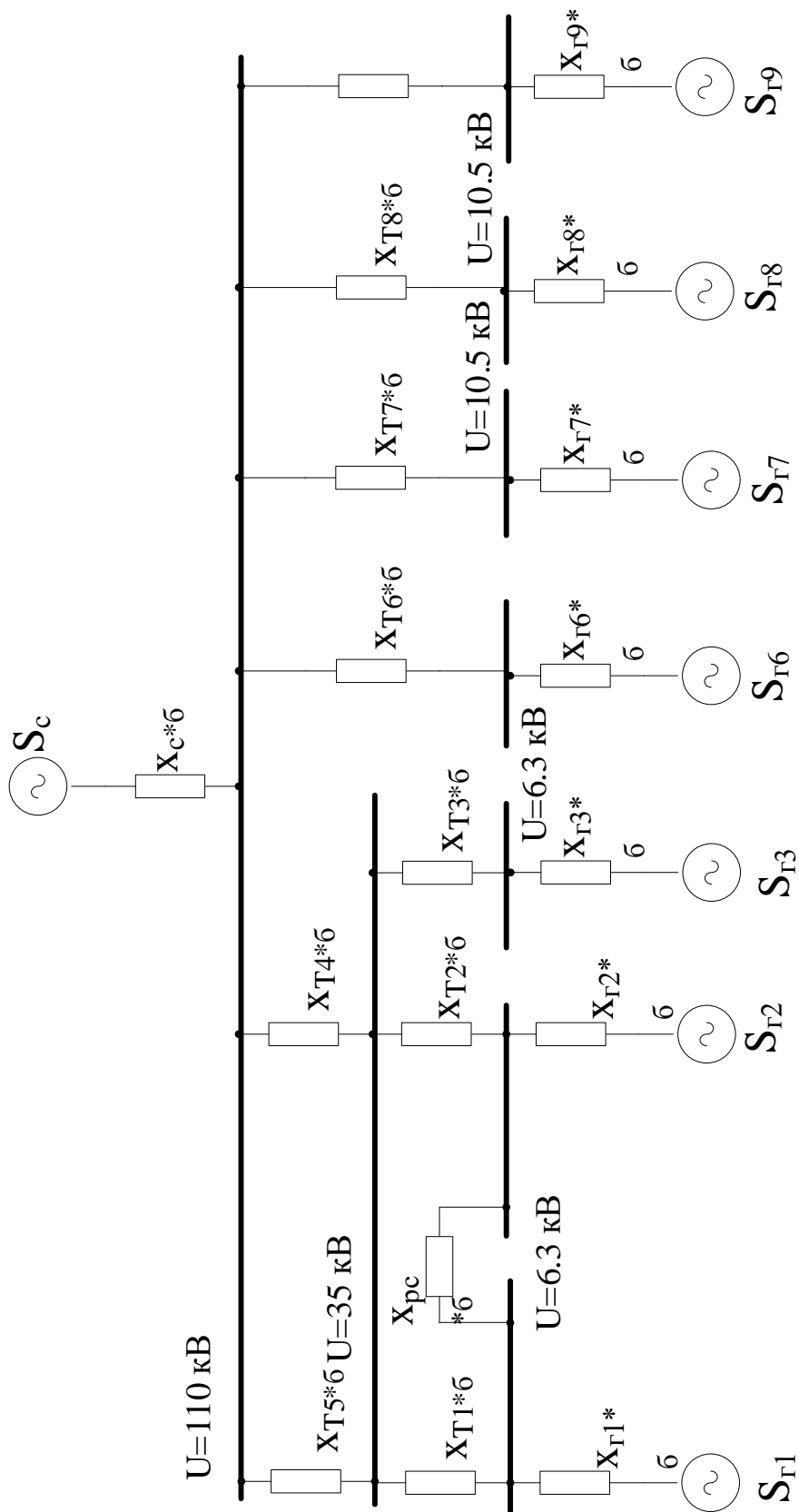


Рисунок 5 – Исходная схема замещения для расчёта максимального трёхфазного тока КЗ на сборных шинах ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа»



Следующим шагом будет расчёт сопротивлений элементов схемы замещения.

Все расчёты производятся в относительных единицах при последующем переводе полученного результата расчёта максимального тока КЗ в именованные единицы.

Выбираются базисные условия.

Принимается базисная мощность  $S_{\sigma}=100$  МВА, а базисное напряжение  $U_{\sigma}$  равным напряжению ступени, на которой рассчитывается ток короткого замыкания, то есть  $U_{\sigma}=37$  кВ.

Сопротивления силовых трансформаторов схемы рассчитывается по известному выражению [7]:

$$X_{T*\sigma} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_H}, \quad (7)$$

где  $u_k$  – напряжение короткого замыкания трансформатора, в процентах;

$S_{\sigma}$  – базисная мощность, МВА;

$S_H$  – номинальная мощность силового трансформатора, МВА.

Расчёт индуктивной составляющей сопротивления короткого замыкания силового трансформатора на примере трансформатора Т1 (исходные параметры:  $S_H = 31,5$  МВА,  $u_k = 8,15$  %):

$$X_{T1*\sigma} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_H} = \frac{8,15}{100} \cdot \frac{100}{31,5} = 0,2587.$$

Аналогичным образом считаются сопротивления всех остальных силовых трансформаторов схемы замещения и результаты расчёта приведены в виде таблицы 7.

Таблица 7 – Результаты расчёта сопротивлений трансформаторов схемы замещения

Обозначение на схеме	Индуктивная составляющая сопротивления короткого замыкания силового трансформатора, о.е.
T1	0,2587
T2	0,2651
T3	0,2025
T4	0,1667
T5	0,1635
T6	0,1413
T7	0,0861
T8	0,0874
T9	0,0917

Сопротивления турбогенераторов схемы рассчитываются по известной формуле [8]:

$$X_{Г*\delta} = X''_* \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{HG}}, \quad (8)$$

где  $S_{HG}$  – номинальная мощность турбогенератора, МВА;

$X''_*$  – индуктивная составляющая сверхпереходного сопротивления короткого замыкания турбогенератора (определяется по справочным данным завода-изготовителя в зависимости от типа генератора).

Расчёт сопротивления на примере турбогенератора Г1 (исходные параметры:  $X''_* = 0,143$ ,  $\cos\varphi = 0,8$ ,  $S_{HG} = 37,5$  МВА):

$$X_{Г1*} = X''_* \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{HG}} = 0,143 \cdot \frac{100}{37,5} = 0,3813.$$

Аналогичным образом считаются сопротивления всех остальных турбогенераторов схемы замещения и результаты расчёта приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты расчёта сопротивлений турбогенераторов схемы замещения

Обозначение на схеме	Индуктивная составляющая сверхпереходного сопротивления короткого замыкания турбогенератора, о.е.
Г1	0,3813
Г2	0,3813
Г3	0,3813
Г4	0,2080
Г5	0,1555
Г6	0,1555
Г7	0,1362

Сопротивления реактора определяется так [8]:

$$X_{p*\delta} = \frac{X_{p*}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_H}, \quad (9)$$

где  $U_H$  - номинальное напряжение реактора, кВ;

$I_H$  - номинальный ток реактора, кА;

$X_{p*}$  - относительное индуктивное сопротивление реактора.

По условию (9):

$$X_{p*\delta} = \frac{10}{100} \cdot \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 6,3} = 0,458.$$

Сопротивление энергосистемы с учётом базисных условий [7]:

$$X_{C*\delta} = X_c \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2}. \quad (10)$$

По условию (10):

$$X_{C*\delta} = 8,3 \cdot \frac{100}{37^2} = 0,606.$$

После расчёта основных сопротивлений схемы замещения, требуется провести упрощение исходной схемы до элементарного уровня.

При этом учитываются известные выражения для преобразования последовательных и параллельных сопротивлений, а также объединения источников питания.

Проводятся соответствующие преобразования для исходной схемы замещения.

Объединяются сопротивления параллельно включенных трансформаторов Т4 и Т5:

$$X_1 = \frac{1}{\left( \frac{1}{X_{T4}} + \frac{1}{X_{T5}} \right)}. \quad (11)$$

Согласно (11):

$$X_1 = \frac{1}{\left( \frac{1}{0,1667} + \frac{1}{0,1635} \right)} = 0,083.$$

Осуществляется преобразование схемы «треугольник»  $X_{T1}$ ,  $X_{PC}$ ,  $X_{T2}$  в схему «звезда»  $X_2$ ,  $X_3$  и  $X_4$  по формулам:

$$X_2 = \frac{X_{T1} \cdot X_{T2}}{X_{T1} + X_{PC} + X_{T2}}, \quad (12)$$

$$X_2 = \frac{0,2587 \cdot 0,2651}{0,2587 + 0,458 + 0,2651} = 0,07,$$

$$X_3 = \frac{X_{T1} \cdot X_{PC}}{X_{T1} + X_{PC} + X_{T2}}, \quad (13)$$

$$X_3 = \frac{0,2587 \cdot 0,458}{0,2587 + 0,458 + 0,2651} = 0,121,$$

$$X_4 = \frac{X_{T2} \cdot X_{PC}}{X_{T1} + X_{PC} + X_{T2}}, \quad (14)$$

$$X_4 = \frac{0,458 \cdot 0,2651}{0,2587 + 0,458 + 0,2651} = 0,124.$$

Проводим объединением последовательных сопротивлений генераторов и трансформаторов схемы с учётом их сопротивлений, рассчитанных в работе ранее:

$$X_5 = X_{T3} + X_{Г3}, \quad (15)$$

$$X_5 = 0,2025 + 0,3813 = 0,5838,$$

$$X_6 = X_{T6} + X_{Г4}, \quad (16)$$

$$X_6 = 0,1413 + 0,2080 = 0,3493,$$

$$X_7 = X_{T7} + X_{Г5}, \quad (17)$$

$$X_7 = 0,0861 + 0,1362 = 0,2416,$$

$$X_8 = X_{T8} + X_{Г6}, \quad (18)$$

$$X_8 = 0,0874 + 0,1555 = 0,2429,$$

$$X_9 = X_{T9} + X_{Г7}, \quad (19)$$

$$X_9 = 0,0917 + 0,1362 = 0,2279,$$

$$X_{10} = X_3 + X_{Г1}, \quad (20)$$

$$X_{10} = 0,121 + 0,3813 = 0,5023,$$

$$X_{11} = X_4 + X_{Г2}, \quad (21)$$

$$X_{11} = 0,124 + 0,3813 = 0,5053.$$

Преобразованная схема замещения для расчёта токов КЗ представлена на рисунке 6.

Все полученные результаты также представлены на данном рисунке.

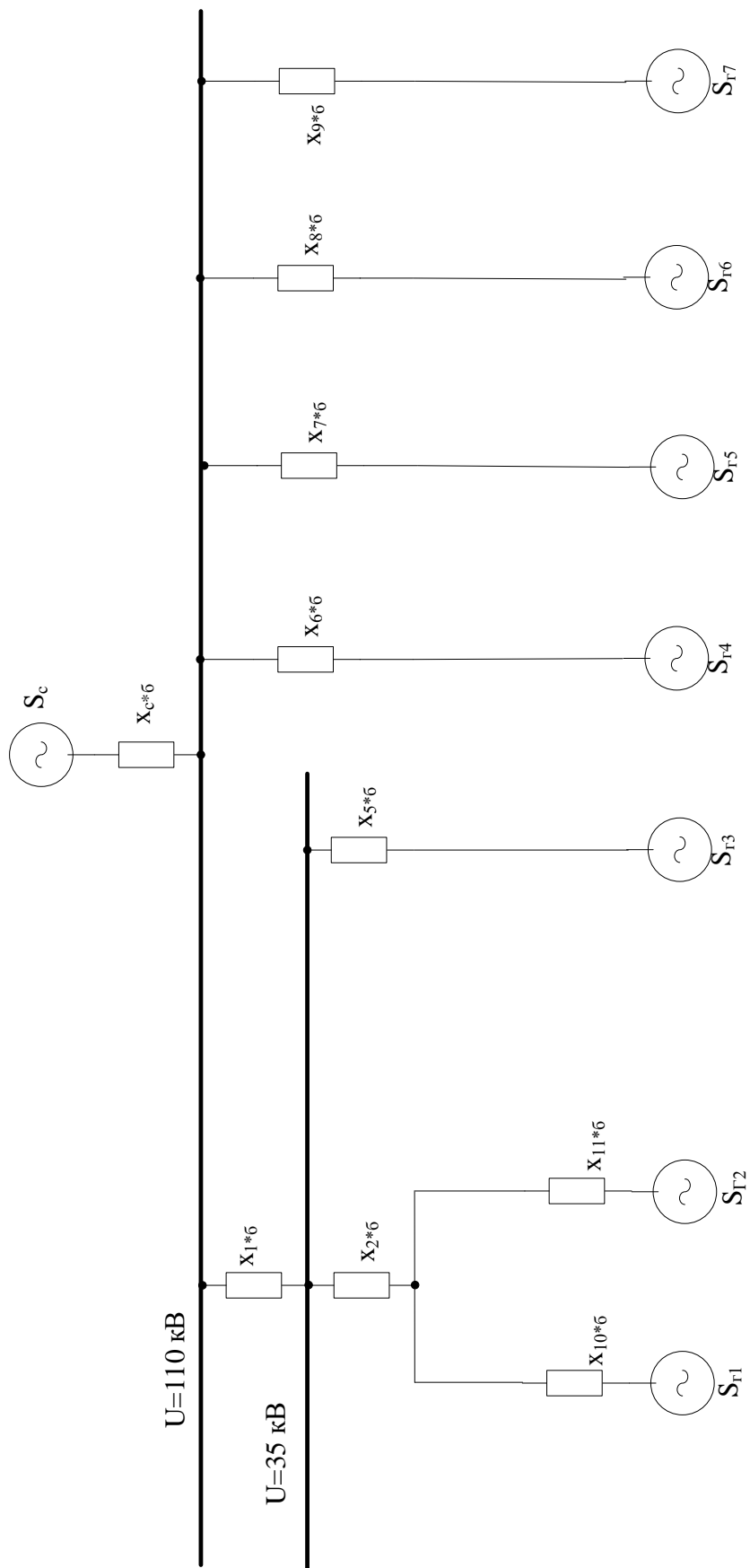


Рисунок 6 – Преобразованная схема замещения

Объединяются источники питания в эквивалентный источник, при этом необходимо определить их отношение:

$$S_{\Gamma_i} \cdot X_i = \frac{S_{\Gamma_1} \cdot X_{10}}{S_{\Gamma_2} \cdot X_{11}}, \quad (22)$$

$$S_{\Gamma_i} \cdot X_i = \frac{37,5 \cdot 0,5023}{37,5 \cdot 0,5053} = \frac{18,84}{18,95} = 0,99.$$

Отношение мощностей источников 1 и 2 схемы замещения численно равно 0,99, следовательно, данные источники можно объединить.

Таким образом:

$$S_1 = S_{\Gamma_1} + S_{\Gamma_2}, \quad (23)$$

$$S_1 = 37,5 + 37,5 = 75 \text{ МВА.}$$

Далее осуществляется дальнейшее преобразование схемы замещения к элементарному виду. Объединяются сопротивления параллельно включенных источников питания:

$$X_{12} = \frac{X_{10} \cdot X_{11}}{X_{10} + X_{11}}, \quad (24)$$

$$X_{12} = \frac{0,5023 \cdot 0,5053}{0,5023 + 0,5053} = 0,2519.$$

Объединяются генераторные источники питания  $S_{\Gamma_4}$ ,  $S_{\Gamma_5}$ ,  $S_{\Gamma_6}$ ,  $S_{\Gamma_7}$  преобразованной схемы замещения, аналогично источникам 1 и 2:

$$S_{\Gamma_4} \cdot X_6 = 75 \cdot 0,3493 = 26,19,$$

$$S_{\Gamma_5} \cdot X_7 = 117,7 \cdot 0,2416 = 28,44,$$

$$S_{\Gamma_6} \cdot X_8 = 117,7 \cdot 0,2429 = 28,59,$$

$$S_{Г7} \cdot X_9 = 141 \cdot 0,2279 = 32,13.$$

Отношение мощностей данных источников питания:

$$\frac{S_{Г6} \cdot X_6}{S_{Г7} \cdot X_9} = 0,82.$$

Следовательно, данные источники допускается объединять. Таким образом, суммарная мощность данных источников при их объединении:

$$S_2 = 451,4 \text{ МВА.}$$

Определяется суммарное сопротивление данных параллельно включенных источников:

$$X_{13} = \frac{1}{\frac{1}{X_6} + \frac{1}{X_7} + \frac{1}{X_8} + \frac{1}{X_9}}. \quad (25)$$

По условию (25):

$$X_{13} = \frac{1}{\frac{1}{0,3493} + \frac{1}{0,2416} + \frac{1}{0,2429} + \frac{1}{0,2279}} = 0,0645.$$

Объединяются последовательные сопротивления схемы:

$$X_{14} = X_2 + X_{12}, \quad (26)$$

$$X_{14} = 0,07 + 0,2519 = 0,3219.$$

Объединяются источники питания  $S_I$  и  $S_{Г3}$  схемы:



$$S_1 \cdot X_{14} = 75 \cdot 0,3219 = 24,14,$$

$$S_{Г3} \cdot X_5 = 37,5 \cdot 0,5838 = 21,89.$$

Отношение мощностей данных источников питания:

$$\frac{S_{Г3} \cdot X_5}{S_1 \cdot X_{14}} = 0,91.$$

Следовательно, данные источники допускается объединять.

Таким образом, суммарная мощность данных источников при их объединении:

$$S_3 = S_1 + S_{Г3}, \quad (27)$$

$$S_3 = 75 + 37,5 = 112,5 \text{ МВА.}$$

Определяется суммарное сопротивление данных параллельно включенных источников:

$$X_{15} = \frac{X_{14} \cdot X_5}{X_{14} + X_5}, \quad (28)$$

$$X_{15} = \frac{0,3219 \cdot 0,5838}{0,3219 + 0,5838} = 0,2075.$$

Полученные результаты показаны на преобразованной упрощённой схеме замещения (рисунок 7).

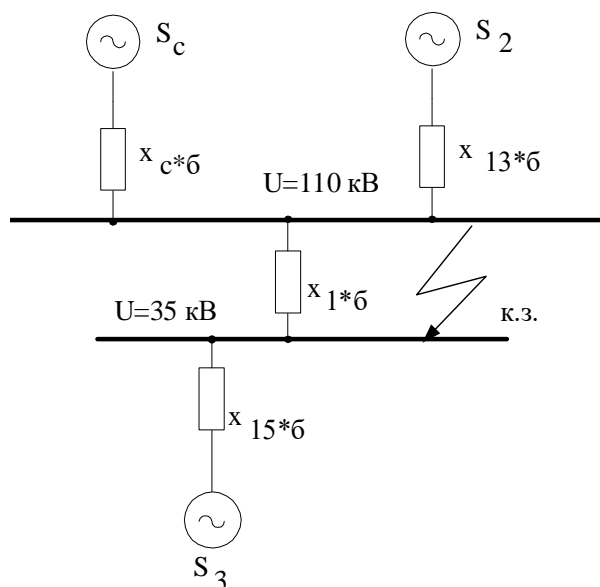


Рисунок 7 – Преобразованная упрощённая схема замещения

Далее проводится преобразование упрощённой схемы замещения к элементарному виду.

Для этого, пользуясь формулами преобразования звезды в треугольник [5], определяются результирующие сопротивления:

$$X_{16} = X_C + X_1 + \frac{X_C \cdot X_1}{X_{13}}, \quad (29)$$

$$X_{16} = 0,606 + 0,083 + \frac{0,606 \cdot 0,083}{0,0645} = 1,47,$$

$$X_{17} = X_{13} + X_1 + \frac{X_{13} \cdot X_1}{X_C}, \quad (30)$$

$$X_{17} = 0,0645 + 0,083 + \frac{0,0645 \cdot 0,083}{0,606} = 0,156.$$

Таким образом, с учётом некоторых допущений равенства источников питания, исходная схема замещения преобразуется к элементарному виду (рисунок 8).

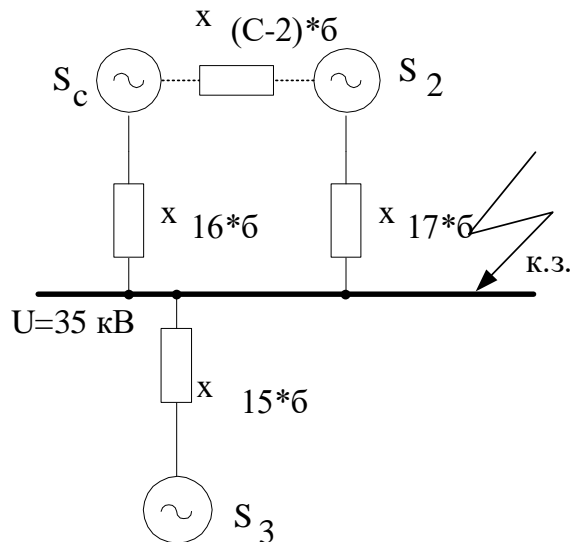


Рисунок 8 – Преобразованная к элементарному виду схема замещения

Расчёт тока короткого замыкания со стороны энергосистемы осуществляется так [8]:

$$I_1'' = I_{1nt} = I_{1\infty} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{cm} \cdot X_{16*6}}. \quad (31)$$

По условию (31) в именованных единицах:

$$I_1'' = I_{1nt} = I_{1\infty} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 37 \cdot 1,47} = 1,061.$$

Значение ударного тока:

$$i_y = I_1'' \cdot \sqrt{2} \cdot K_y, \quad (32)$$

где  $K_y$  – ударный коэффициент.

По условию (32):

$$i_y = 1,061 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,65 = 2,47 \text{ кА.}$$

Максимальное мгновенное действующее значение тока короткого замыкания в начале процесса КЗ [8]:

$$I_y = I_{K3} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (K_y - 1)^2}. \quad (33)$$

По условию (33):

$$I_y = 1,061 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,65 - 1)^2} = 1,44 \text{ кА.}$$

Номинальный ток второго источника питания [8]:

$$I_{2НОМ} = \frac{S_{2НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{СТ}}. \quad (34)$$

По условию (34):

$$I_{2НОМ} = \frac{451,4}{\sqrt{3} \cdot 37} = 7,04 \text{ кА.}$$

Результирующее сопротивление ветви:

$$X_{17} = X_{17*6} \cdot \frac{U_{СТ}^2}{S_6}. \quad (35)$$

По условию (35):

$$X_{17} = 0,156 \cdot \frac{37^2}{100} = 2,14 \text{ Ом.}$$

Значение сверхпереходного тока второго источника в месте короткого замыкания определяется по формуле [8]

$$I_{II}'' = \frac{E_{Г*}'' \cdot U_{CT}}{\sqrt{3} \cdot X_{17}}. \quad (36)$$

где  $E_{Г*}''$  - относительное значение сверхпереходной ЭДС генератора ветви (второго источника питания);  
 $X_{17}$  – результирующее сопротивление ветви, Ом.

По условию (36):

$$I_2'' = \frac{1,08 \cdot 37}{\sqrt{3} \cdot 2,14} = 10,78 \text{ кА.}$$

Относительное значение сверхпереходного тока второго источника питания схемы [8]

$$I_{2*}'' = \frac{I_2''}{I_{2НОМ}}. \quad (37)$$

Таким образом, по условию (37):

$$I_{2*}'' = \frac{10,78}{7,04} = 1,5.$$

Для моментов времени  $t_1=0$  с;  $t_2=0,2$  с;  $t_3=0,5$  с по типовым кривым [5] определяем значения  $n_{*t}$ :

$$\begin{aligned}
 n_{*t1} &= 1, \\
 n_{*t2} &= 0,95, \\
 n_{*t3} &= 0,98.
 \end{aligned}$$

Периодическая составляющая тока трёхфазного короткого замыкания в месте короткого замыкания для всех моментов времени [5]

$$I_{III1} = n_{*t1} \cdot I_{II}'' \quad (38)$$

По (38) для всех моментов времени ( $t_1=0$  с;  $t_2=0,2$  с;  $t_3=0,5$  с):

$$\begin{aligned}
 I_{II2t1} &= 1 \cdot 10,78 = 10,78 \text{ кА}, \\
 I_{II2t2} &= 0,95 \cdot 10,78 = 10,24 \text{ кА}, \\
 I_{II2t3} &= 0,98 \cdot 10,78 = 10,56 \text{ кА}.
 \end{aligned}$$

Значение ударного тока в первый период от начала короткого замыкания:

$$i_{y2} = 10,78 \cdot 1,65 \cdot \sqrt{2} = 25,15 \text{ кА}.$$

Наибольшее действующее значение тока короткого замыкания в первый период от начала короткого замыкания:

$$I_{y2} = 10,78 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,65 - 1)^2} = 14,64 \text{ кА}.$$

Далее определяется ток короткого замыкания от третьего источника питания по типовым кривым [5], так как этот источник имеет ограниченную мощность, и короткое замыкание здесь будет не удаленным.

Номинальный ток третьего источника питания:

$$I_{3НОМ} = \frac{112,5}{\sqrt{3} \cdot 37} = 1,755 \text{ кА.}$$

Результирующее сопротивление ветви при приведении к базисным условиям, в именованных единицах:

$$X_{15} = X_{15*6} \cdot \frac{U_{CT}^2}{S_6}. \quad (39)$$

По условию (39):

$$X_{15} = 0,2075 \cdot \frac{37^2}{100} = 2,84 \text{ Ом.}$$

Значение сверхпереходного тока третьего источника питания в месте КЗ:

$$I_3'' = \frac{1,08 \cdot 37}{\sqrt{3} \cdot 2,84} = 8,12 \text{ кА.}$$

Относительное значение сверхпереходного тока третьего источника питания в именованных единицах:

$$I_{3*}'' = \frac{8,12}{1,755} = 4,6 \text{ кА.}$$

Для моментов времени  $t_1=0$  с;  $t_2=0,2$  с;  $t_3=0,5$  с по типовым кривым [5] определяются соответствующие значения  $n_{*t}$ :

$$\begin{aligned}
 n_{*t1} &= 1, \\
 n_{*t2} &= 0,75, \\
 n_{*t3} &= 0,7.
 \end{aligned}$$

По (38) для всех моментов времени ( $t_1=0$  с;  $t_2=0,2$  с;  $t_3=0,5$  с):

$$\begin{aligned}
 I_{ПЗt1} &= 1 \cdot 8,12 = 8,12 \text{ кА}, \\
 I_{ПЗt2} &= 0,75 \cdot 8,12 = 6,09 \text{ кА}, \\
 I_{ПЗt3} &= 0,7 \cdot 8,12 = 5,68 \text{ кА}.
 \end{aligned}$$

Значение ударного тока в первый период от начала короткого замыкания:

$$i_{y3} = 8,12 \cdot 1,65 \cdot \sqrt{2} = 18,95 \text{ кА}.$$

Наибольшее действующее значение тока короткого замыкания в первый период от начала короткого замыкания:

$$I_{y3} = 8,12 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,65 - 1)^2} = 11,03 \text{ кА}.$$

Суммарный ток короткого замыкания на шинах ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа», будет равен сумме токов КЗ от источников питания:

$$I_{КЗ} = I_C'' + I_{П2t1} + I_{ПЗt1}. \quad (40)$$

По условию (40):

$$I_{КЗ} = 1,061 + 10,78 + 8,12 = 19,96 \text{ кА}.$$



Суммарное значение ударного тока короткого замыкания в первый период процесса КЗ определяется аналогично:

$$i_y = \sum_1^n i_{yn}. \quad (41)$$

По условию (41):

$$i_y = 2,47 + 25,15 + 18,95 = 46,57 \text{ кА}.$$

Суммарное значение наибольшего действующего значения тока короткого замыкания в первый период процесса КЗ определяется аналогично:

$$I_y = \sum_1^n I_{yn}. \quad (42)$$

По условию (42):

$$I_y = 1,44 + 14,64 + 11,03 = 27,11 \text{ кА}.$$

Максимальное значение мощности короткого замыкания на шинах ЗРУ 35 кВ ТЭЦ [5]:

$$S_{K3} = \sqrt{3} \cdot I_{K3} \cdot U_{CT}. \quad (43)$$

По условию (43):

$$S_{K3} = \sqrt{3} \cdot 19,96 \cdot 37 = 1277,6 \text{ МВА}.$$

Полученные результаты расчёта тока короткого замыкания на сборных шинах 35 кВ в максимальном режиме работы ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа», а также значение ударного тока КЗ и мощности КЗ на объекте, представлены в форме таблицы 9.

Таблица 9 – Результаты расчёта тока короткого замыкания на сборных шинах 35 кВ в максимальном режиме работы ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа»

$U_{ст},$ кВ	$I_{кз},$ кА	$i_y,$ кА	$I_y,$ кА	$S_{кз},$ МВА
37	19,96	46,57	27,11	1277,6

Полученные результаты расчёта тока короткого замыкания на сборных шинах 35 кВ в максимальном режиме работы ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» используются в работе далее.

#### **2.4 Выбор нового оборудования для установки в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа»**

Одним из этапов предложенных мероприятий по реконструкции рассматриваемого в работе ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа», является модернизация оборудования на данном объекте. Необходимо установить новое, современное оборудование, которое характеризуется повышенной надёжностью, экономичностью, коммутационным ресурсом и прочими необходимыми качествами, которые должны быть присущи современным электрическим аппаратам. Внедрение принятых решений по модернизации оборудования подстанции повысит показатели энергоэффективности и является одной из ключевых тенденций управления развитием системы электроснабжения. Разработанные и внедрённые мероприятия по модернизации оборудования ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» позволят значительно повысить надёжность схемы электрических соединений подстанции и потребителей в целом. Далее на основании результатов расчётов, с применением соответствующих проверок, необходимо выбрать и проверить предварительно выбранное оборудование

для установки ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа», а также параллельно проверить электрические аппараты, которые не нуждаются в замене. Для защиты и коммутации оборудования в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» устанавливаются высоковольтные выключатели.

Выбор выключателей по номинальному напряжению:

$$U_{уст} \leq U_n. \quad (44)$$

«Выбор выключателей по максимальному рабочему току» [16]:

$$I_{раб.макс} \leq I_n. \quad (45)$$

«Проверка выключателя на симметричный ток отключения» [16]:

$$I_{пт} \leq I_{откн}. \quad (46)$$

где « $I_{пт}$  – значение периодической составляющей тока короткого замыкания в момент начала расхождения дугогасительных контактов» [16];

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

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

$$(\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{откн.н} (1 + \beta_n), \quad (47)$$

где « $i_{ат}$  – значение аperiodической составляющей тока короткого замыкания в момент расхождения контактов» [16];

« $\beta_n$  – номинальное значение относительного содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе КЗ» [16];

« $\tau$  – наименьшее время от начала короткого замыкания до момента расхождения дугогасительных контактов» [16].

«Наименьшее время от начала короткого замыкания до момента расхождения дугогасительных контактов выключателя» [15]:

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}, \quad (48)$$

где « $t_{з.мин} = 0,01$  с – минимальное время действия релейной защиты» [15];

« $t_{с.в}$  – собственное время отключения выключателя» [15].

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

$$i_y \leq i_{нр.с}, \quad (49)$$

где « $i_{нр.с}$  – действующее значение предельного сквозного тока КЗ» [16];

« $i_y$  – ударный ток короткого замыкания в цепи выключателя» [16].

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

$$B_k \leq I_T^2 t_T, \quad (50)$$

где « $B_k$  – тепловой импульс по расчёту,  $A^2 \cdot c$ » [18];

« $I_T$  – предельный ток термической устойчивости,  $A^2 \cdot c$ » [18];

« $t_T$  – длительность протекания тока термической стойкости, с» [18].

«Расчётное значение теплового импульса» [18]:

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a). \quad (51)$$

По приведённым выше условиям, с учётом рассчитанных параметров электрической сети 35 кВ, проводится выбор выключателей высокого напряжения для установки в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа». Предварительно

принимается для установки на объекте проектирования выключатель вакуумный нового образца и модификации, для установки в ячейках закрытых ЗРУ, марки ВР35НСМ.

Исходя из расположения в схеме ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа», высоковольтные выключатели напряжением 35 кВ подразделяются на следующие типы: высоковольтные выключатели ввода (вводные высоковольтные выключатели); высоковольтные выключатели секционного соединения (секционные выключатели); высоковольтные выключатели отходящих линий (линейные выключатели). Выбор и проверка высоковольтных выключателей проводится по приведённым выше условиям. Результаты выбора выключателей для установки в ячейках ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа», представлены в работе в форме таблицы 10.

Таблица 10 – Результаты выбора выключателей высокого напряжения для установки в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа»

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Ввод: повышающие трансформаторы Т1, Т2, Т3: выключатель ВР35НСМ-20/1600 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 564 \text{ А}$	$I_{ном} = 1600 \text{ А}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном}$	$I_{н.т} = 19,96 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{дин}$	$i_y = 46,57 \text{ кА}$	$i_{дин} = 52 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 27,11^2 \cdot 0,3 = 220,5 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$
Ввод: трансформаторы связи Т4, Т5: выключатель ВР35НСМ-20/1600 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 1456 \text{ А}$	$I_{ном} = 1600 \text{ А}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном}$	$I_{н.т} = 19,96 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{дин}$	$i_y = 46,57 \text{ кА}$	$i_{дин} = 52 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 220,5 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$
Секционное соединение: выключатель ВР35НСМ-20/1600 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 1381 \text{ А}$	$I_{ном} = 1600 \text{ А}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном}$	$I_{н.т} = 19,96 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{дин}$	$i_y = 46,57 \text{ кА}$	$i_{дин} = 52 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 220,5 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$

Для всех линейных соединений также выбраны выключатели ВР35НСМ-20/1600 УХЛ1.

Все выбранные выключатели для установки на вводных, секционном и линейных соединениях в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа», удовлетворяют всем условиям.

Далее проводится выбор новых разъединителей для установки в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа». Разъединитель – это аппарат для обеспечения видимого разрыва с целью безопасного проведения работ в электроустановках.

В работе разъединители устанавливаются в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» закрытого типа.

В работе для установки в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» выбирается разъединитель марки РГП.2-35.Ш/1000 УХЛ1.

Так как разъединители не отключают цепь под нагрузкой, они, в отличие от выключателей высокого напряжения, не проверяются на коммутационную способность при КЗ согласно [18]. Результаты выбора и проверки разъединителей для установки в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа», представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты выбора разъединителей для установки в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа»

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Ввод: повышающие трансформаторы Т1, Т2, Т3: разъединители РГП.2-35.Ш/1000 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 564 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин}$	$i_y = 46,57 \text{ кА}$	$i_{дин} = 52 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 27,11^2 \cdot 0,3 = 220,5 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$
Ввод: трансформаторы связи Т4, Т5: разъединители РГП.2-35.Ш/1600 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 1456 \text{ А}$	$I_{ном} = 1600 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин}$	$i_y = 46,57 \text{ кА}$	$i_{дин} = 52 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 220,5 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$

Окончательно для установки в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» выбираются разъединители марки РГП.2-35.Ш/1000 УХЛ1 и РГП.2-35.Ш/1600 УХЛ1, удовлетворяющие всем требованиям выбора и проверок.

Трансформаторы тока и напряжения (измерительные трансформаторы) являются важным звеном, обеспечивая питание вторичных цепей (релейная защита, автоматика, сигнализация, измерения). Проводится выбор трансформатора тока для установки на стороне напряжением 35 кВ ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» по [18]. Выбирается трансформатор тока трансформаторы тока, встроенные в выключатель ВР35НСМ-20/1600 УХЛ1 (таблица 12).

Таблица 12 – Результаты выбора трансформаторов тока для установки в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа»

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Первая секция сборных шин ЗРУ-35 кВ: трансформаторы тока, встроенные в выключатель ВР35НСМ-20/1600 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 1381 \text{ А}$	$I_{ном} = 1600 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин}$	$i_y = 46,57 \text{ кА}$	$i_{дин} = 52 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 27,11^2 \cdot 0,3 =$ $= 220,5 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2\text{с}$
Первая секция сборных шин ЗРУ-35 кВ: трансформаторы тока, встроенные в выключатель ВР35НСМ-20/1600 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 1381 \text{ А}$	$I_{ном} = 1600 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин}$	$i_y = 46,57 \text{ кА}$	$i_{дин} = 52 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 27,11^2 \cdot 0,3 =$ $= 220,5 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2\text{с}$

Проверка трансформаторов тока по вторичной нагрузке проводится после выбора средств контроля и учёта электроэнергии, осуществляемой в работе далее. Приборы учёта и контроля электроэнергии, подключённые к трансформаторам тока, приведены в работе далее при выборе АСУЭ.

Для проверки измерительных трансформаторов тока по вторичной нагрузке, пользуясь каталожными данными приборов, определяется его нагрузка.

Проводится проверка по вторичной нагрузке трансформаторов тока, встроенных в выключатель ВР35НСМ-20/1600 УХЛ1 [18]. Общее сопротивление приборов для наиболее загруженной фазы [10] трансформатора тока:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2}, \quad (52)$$

$$r_{\text{приб}} = \frac{14,1}{5^2} = 0,564 \text{ Ом.}$$

Сопротивление проводов [10]:

$$r_{\text{пр}} = z_{2\text{н}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{к}}. \quad (53)$$

По условию (53):

$$r_{\text{пр}} = 0,8 - 0,564 - 0,1 = 0,136 \text{ Ом.}$$

Вторичная номинальная нагрузка трансформатора тока в классе точности 0,5 составляет  $r_2 = 0,8 \text{ Ом}$ .

Проверка ТТ по нагрузке вторичных цепей [18]:

$$r_2 \geq r_{\text{приб}} + r_{\text{пр}}. \quad (54)$$

По условию (54):

$$0,8 \text{ Ом} \geq 0,364 + 0,136 = 0,5 \text{ Ом.}$$

Проверка по вторичной нагрузке трансформаторов тока выполняется.



Следовательно, окончательно выбирается данные трансформаторы тока, встроенные в выключатели ВР35НСМ-20/1600 УХЛ1 для установки в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа».

В работе трансформаторы напряжения устанавливаются в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа».

Производится выбор трансформатора напряжения для установки на стороне напряжением 35 кВ ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» по [18].

Предварительно выбирается трансформатор напряжения для установки в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» марки НАМИ-35.

Результаты выбора трансформаторов напряжения для установки в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Результаты выбора трансформаторов напряжения для установки в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа»

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Первая секция сборных шин ЗРУ-35 кВ: трансформаторы напряжения НАМИ-35- 1600-У1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 1381 \text{ А.}$	$I_{ном} = 1600 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 46,57 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 52 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 27,11^2 \cdot 0,3 =$ $= 220,5 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$
Вторая секция сборных шин ЗРУ-35 кВ: трансформаторы напряжения НАМИ-35- 1600-У1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 1381 \text{ А.}$	$I_{ном} = 1600 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 46,57 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 52 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 27,11^2 \cdot 0,3 =$ $= 220,5 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$

Предварительная проверка трансформаторов напряжения и измерительных приборов, подключённых к ним, осуществляется по вторичной нагрузке:

$$S_{2\Sigma} \leq S_n, \quad (55)$$

где  $S_n$  – номинальная мощность трансформатора напряжения (в

выбранном классе точности);

$S_{2\Sigma}$  – нагрузка всех приборов вторичных цепей, присоединённых к данному трансформатору напряжения, ВА.

При этом:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{\left(\sum S_{\text{приб}} \cdot \cos \varphi_{\text{приб}}\right)^2 + \left(\sum S_{\text{приб}} \cdot \sin \varphi_{\text{приб}}\right)^2} = \sqrt{P_{\text{приб}}^2 + Q_{\text{приб}}^2}. \quad (56)$$

По условию (56):

$$400 \text{ ВА} > \sqrt{\left(0,3 \cdot 1 + 3 \cdot 1 + 5 \cdot 0,38 + 7,5 \cdot 0,38 \cdot 2 + 5 \cdot 1\right)^2 + \left(5 + 7,5 + 7,5\right)^2 \cdot 0,925^2} = 25,6 \text{ ВА}.$$

Таким образом, выбранные трансформаторы напряжения марки НАМИ-35 будут работать в требуемом классе точности без перегрузки.

В последнее время от различного типа перенапряжений (как внешних, так и внутренних), вместо разрядников устанавливают ограничители перенапряжений (ОПН).

В них отсутствуют искровые промежутки, а ток утечки не превышает 1 мА.

При импульсных напряжениях разрядный ток ОПН значительно меньше 100 кА.

Они имеют более пологую вольт-секундную характеристику по сравнению с разрядниками.

ОПН, наряду с грозозащитой, эффективно ограничивают коммутационные и резонансные перенапряжения в электроустановках.

ОПН устанавливают 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)-35 кВ с воздушными, кабельными и шинными вводами (для защиты от внутренних перенапряжений).

ОПН выбирают по номинальному напряжению сети, в которую они устанавливаются.

Для установки в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» выбираются ограничители перенапряжения типа ОПН-35/40,5/10/1600 УХЛ1.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что все выбранные коммутационные и защитные электрические аппараты проверены по условиям термической стойкости, динамической устойчивости и соответствию максимальным расчётным токам схемы.

Все аппараты показаны на схеме электрических соединений ЗРУ 35 кВ электрической станции ТЭЦ «ВАЗа» Самарской области в графической части работы.

Таким образом, в работе приняты современные технические решения по выбору и проверке нового современного электрооборудования ЗРУ 35 кВ электрической станции ТЭЦ «ВАЗа» Самарской области, включающие применение нового современного оборудования, которое характеризуется высокими техническими и экономическими характеристиками.

Конструкция выбранного выключателя для установки в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» показана в графической части работы.

Выводы по разделу.

В работе, для подтверждения работоспособности схемы электрических соединений ТЭЦ «ВАЗа», обусловленная реконструкцией схемы ЗРУ-35 кВ, проведено техническое обоснование принятых решений по реконструкции схемы электрических соединений и модернизации оборудования объекта.

В результате выполнения данного раздела, рассчитаны максимальные рабочие токи основных присоединений ЗРУ 35 кВ электрической станции ТЭЦ «ВАЗа» Самарской области. В работе проведён расчёт максимальных трёхфазных токов КЗ, а также ударного тока, на выводах секций сборных шин

ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» в максимальном режиме работы системы. Для решения поставленных задач, в работе были внедрены следующие основные практические мероприятия:

- выбраны и проверены сечения проводников отходящих линий ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» (современные провода марки АСВП разных сечений), а также сборные шины ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» (выбраны трёхполосные шины ШАТ – 100×6 мм с допустимым током  $I_{доп}=1425$  А) и ошиновка для присоединения электрических аппаратов трансформаторных вводов и отходящих линий к сборным шинам ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» (принята современная жёсткая ошиновка марки ОЖ-СЭЩ-35/2000 с  $I_{доп} = 2000$  А). Все выбранные проводники ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» соответствуют требуемым условиям выбора и проверки;
- для установки в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» выбраны и проверены новые выключатели марки ВР35НСМ-20/1600 УХЛ1 со встроенными трансформаторами тока, новые разъединители марки РГП.2-35.Ш/1000 УХЛ1, РГП.2-35.Ш/1600 УХЛ1, а также новые трансформаторы напряжения НАМИ-35-1000-У1 и ограничители перенапряжения марки ОПН-35/40,5/10/1600 УХЛ1;
- выбраны и проверены новые кабельные линии, получающие питание от сборных шин ЗРУ 35 кВ, установлено, что данные присоединения выполняются с применением инновационного кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена марки АПвЭгаПу-35 -35 (3×50), выбранного и проверенного в работе.

Таким образом, расчётно-аналитическим путём решена комплексная задача по внедрению предложенных мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений ЗРУ-35 кВ на ТЭЦ «ВАЗа» и модернизации основного оборудования ЗРУ-35 кВ объекта исследования.

### **3 Реконструкция системы учёта и контроля электроэнергии ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа»**

Далее в работе проводится выбор автоматизированной системы управления электроснабжением (далее – АСУЭ) в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа», в которую также входит системе учёта и контроля электроэнергии на данном объекте.

Назначение АСУЭ – для управления электроснабжением объектов, распределенными на определённой территории.

АСУЭ, применяемая в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа», решает следующие основные задачи: сбор и обработка информации, а также задачи, связанные с управлением (в зависимости от программного обеспечения).

Внедрения АСУЭ в современной энергетике является рациональным шагом в решении многих проблем, связанных с учетом электроэнергии.

Использование современных электронных счетчиков электроэнергии с классом точности от 0,2 до 0,5 значительно снижает погрешность измерения, что дает возможность точнее вести учет электроэнергии.

Также благодаря внедрению современных систем учета электроэнергии, потребитель может значительно экономить на расходах за энергоресурсы и, что немаловажно с точки зрения надёжности, предотвратить аварийные режимы, а также вести детальный учёт потребления электроэнергии.

Является универсальной системой, АСУЭ, рекомендованная к применению в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа», служит для реализации следующих функций применительно к электроэнергии:

- контроль электроэнергии;
- учёт электроэнергии;
- управление электроэнергией потребителей;
- анализ электроэнергии;
- контроль, учёт и управление электроэнергией, поступающей в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» (включая перетоки электроэнергии);

- прогнозирование потребления электроэнергии подстанцией и отдельными потребителями;
- анализ потерь электроэнергии в системе электроснабжения;
- связь между всеми объектами посредством телекоммуникаций и облачной системы.
- управление и регулирование в автоматизированных системах управления процессами выработки, распределения и потребления электроэнергии.

Комплекс технических и программных средств АСУЭ имеет структуру многоуровневой системы на базе сети контролируемой контроллером и сети на базе компьютеров совместимых с IBM. В зависимости от объёма функциональных задач включает в себя структурные блоки и модули:

- периферийный модуль;
- программируемый контроллер;
- блоки выходных реле, датчики, преобразователи;
- модуль диспетчерского пункта;
- вычислительный комплекс – сеть персональных компьютеров.

Блок-схема передачи информации в АСУЭ, применяемой в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа», представлена на рисунке 9.

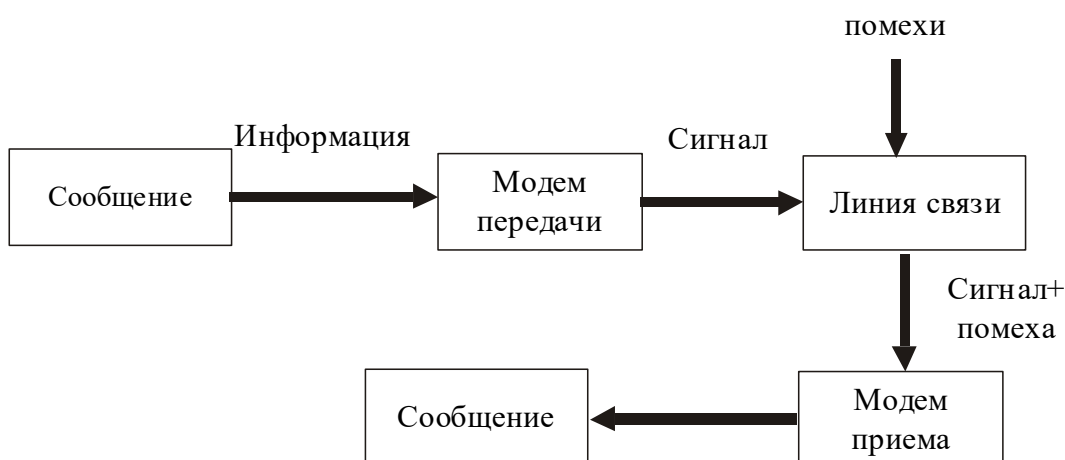


Рисунок 9 – Блок-схема передачи информации в АСУЭ, применяемой в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа»

В ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» контроль за режимом работы основного и вспомогательного оборудования осуществляется как с помощью традиционных технических средств (контрольно-измерительных приборов), так и с помощью программно-технических комплексов, которые в последние годы полностью вытеснили устаревшие индукционные и электромагнитные системы, обладая значительными преимуществами перед ними, состоящие и выражающиеся в простоте, надёжности, компактности, работоспособности, экономичности и экологичности [19].

Именно поэтому принимается к внедрению в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» АСУЭ «Сириус», которая состоит в тесном взаимодействии с автоматизированной системой контроля и управления электроэнергией (АСКУЭ), как источников питания, так и всех потребителей, получающих питание от подстанции.

Такая система обеспечивает полный контроль и учёт как поступаемой, так и потребляемой электроэнергии, что также позволяет контролировать и вести учёт не только электроэнергии и параметров системы, а и потерь электроэнергии в системе электроснабжения объекта.

Кроме того, в такой АСУЭ можно устанавливать лимиты потребления электроэнергии.

Питание АСУЭ «Сириус» осуществляют трансформаторы тока, через которые в сеть и на выводы поступает нормированный допустимый рабочий ток системы [9].

Кроме того, система АСУЭ также контролирует параметры РЗиА, телеуправления и сигнализации [2].

Следует уделить особое внимание подготовке персонала, так как от его квалификации будет зависеть «человеческий фактор» при передаче и сборе базы данных по объектам ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа».

Информация, которая вводится для расчетов, условно подразделяется на категории:

- обязательная (должна задаваться обязательно);

- обязательно 1 рода (может не задаваться, будет рассчитана программой, но возможно значительное искажение результата);
- необязательная 2 рода (может не задаваться, будет рассчитан программой, возможно незначительное искажение результата).

То есть программа будет давать значительную погрешность при работе с малым набором данных, что является ее существенным недостатком. Кроме того, максимальное и минимальное значение суммарной нагрузки берется по сети в целом, что вносит свою погрешность при расчете определенного участка сети.

Однако данная система имеет также некоторые минусы и недостатки. Основные из них следующие:

- не учитывается увеличение потерь от нагрева проводов и кабелей, изменение эквивалентного сопротивления в зависимости от температуры воздуха;
- часто нужен дополнительный расчёт отпусков абонентам на напряжении до 1 кВ в виду «торможения» программы при имеющемся большом объеме чисел либо многослойной задаче со многими неизвестными;
- программа ограничена лимитом расчета: в данных, например, должно быть не более 500 фидеров, 120 линий;
- программа позволяет более точно рассчитывать потери в фидерах, имеющих учет в «голове» (в начале), для других случаев расчеты более сложные и имеют большую погрешность;
- при проверочном расчёте, сумма базовых потоков степеней напряжения может не равняться суммарному базовому потоку, в виду «застревания» программы на расчёте потерь в многочисленных узлах и ветвях (при наличии таковых).
- в программе учтено только влияние температуры, при этом берутся среднестатистические данные за последние годы (в лучшем случае). Другие метеоусловия не учитываются.



Базовым для прогнозирования является годовой расчет. Базовым потоком для базового и расчетного годов является поступление в сеть. В программе заложено два алгоритма.

Первый алгоритм использует две величины - базовый поток за базовый год и базовый поток за расчетный период (месяц или квартал). Отмечается лучшее использование второго, более сложного алгоритма, где базовые потоки делятся по уровню напряжения. Причем на напряжение 0,38-35 кВ можно брать для каждой ступени как базовый поток одну и ту же величину - суммарное поступление в сеть.

Результаты расчета могут заноситься в архив, например, для дальнейшего суммирования по подразделениям для расчета норматива объединения или расчета суммарного норматива за прошедший период с нарастающим итогом с учетом результатов данного расчета.

Не взирая на приведённые недостатки, данное программное обеспечение АСУЭ хорошо зарекомендовало себя при работе в сетях выше 1 кВ.

Таким образом, выбранная система АСУЭ для применения в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» характеризуется надёжностью, экономичностью, точностью, экологичностью и безопасностью, а также удобством эксплуатации [14].

В виду этого, она может быть рекомендована к установке на объекте исследования (в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа») с целью обеспечения контроля, учёта и управления электроснабжением и техническими параметрами электрических сетей.

Выводы по разделу.

В работе, на основе расчётных и аналитических данных, в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» принята установка АСУЭ «Сириус», которая состоит в тесном взаимодействии с автоматизированной системой контроля и управления электроэнергией (АСКУЭ), как источников питания, так и всех потребителей, получающих питание от электростанции.

## Заключение

В результате выполнения работы, проведена реконструкция электрической части схемы, обусловленная вводом новых кабельных линий для питания потребителей, а также модернизация основного электрооборудования ЗРУ 35 кВ электрической станции ТЭЦ «ВАЗа» Самарской области.

В результате проведения анализа оборудования электрической части ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» было установлено, что в схеме ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» используются следующие устаревшие электрические аппараты, которые выработали свой ресурс: выключатели высокого напряжения типа МКП-35, разъединители РЛНД-35, разрядники РВС-35, трансформаторы напряжения, а также трансформаторы тока.

Данный вопрос требует срочного решения, так как в системе электроснабжения ЗРУ 35 кВ электрической станции ТЭЦ «ВАЗа» в последние годы участились аварии, вызванные потерей надёжности в связи с износом силового оборудования. При этом модернизация оборудования электрической части ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» проводится совместно с изменениями в схеме электрических соединений (реконструкцией) объекта. Установлено, что в результате дефицита мощностей, а также обеспечения дополнительного резервирования с последующим повышением надёжности, планируется ввести в эксплуатацию две дополнительные потребительские кабельные линии, питающие присоединения от ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа»:

- КЛ7 – ТЭЦ «ВАЗа» -Индустриальная (Т-83);
- КЛ8 – ТЭЦ «ВАЗа» -Индустриальная (Т-82).

Рассчитаны максимальные рабочие токи основных присоединений ЗРУ 35 кВ электрической станции ТЭЦ «ВАЗа» Самарской области. В работе проведён расчёт максимальных трёхфазных токов КЗ, а также ударного тока, на выводах секций сборных шин ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» в максимальном

режиме работы системы. Для решения поставленных задач, в работе были внедрены следующие основные практические мероприятия:

- выбраны и проверены сечения проводников отходящих линий ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» (современные провода марки АСВП разных сечений), а также сборные шины ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» (выбраны трёхполосные шины ШАТ – 100×6 мм с допустимым током  $I_{доп}=1425$  А) и ошиновка для присоединения электрических аппаратов трансформаторных вводов и отходящих линий к сборным шинам ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» (принята современная жёсткая ошиновка марки ОЖ-СЭЩ-35/2000 с  $I_{доп} = 2000$  А);
- для установки в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» выбраны и проверены новые выключатели марки ВР35НСМ-20/1600 УХЛ1 со встроенными трансформаторами тока, новые разъединители марки РГП.2-35.Ш/1000 УХЛ1, РГП.2-35.Ш/1600 УХЛ1, а также новые трансформаторы напряжения НАМИ-35-1000-У1 и ограничители перенапряжения марки ОПН-35/40,5/10/1600 УХЛ1;
- выбраны и проверены новые кабельные линии, получающие питание от сборных шин ЗРУ 35 кВ, установлено, что данные присоединения выполняются с применением инновационного кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена марки АПвЭгаПу-35 -35 (3×50).

В работе, на основе расчётных и аналитических данных, в ЗРУ 35 кВ ТЭЦ «ВАЗа» принята установка АСУЭ «Сириус», которая состоит в тесном взаимодействии с автоматизированной системой контроля и управления электроэнергией (АСКУЭ), как источников питания, так и всех потребителей, получающих питание от электростанции.

Таким образом, расчётно-аналитическим путём решена комплексная задача по внедрению предложенных мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений ЗРУ-35 кВ на ТЭЦ «ВАЗа» и модернизации основного оборудования ЗРУ-35 кВ объекта исследования.

## Список используемых источников

1. ГОСТ 29322-2014. «Напряжения стандартные» [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200115397> (дата обращения: 12.03.2023).
2. 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: 12.03.2023).
3. 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: 12.03.2023).
4. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 343 с.
5. Климова Г.Н. Электроэнергетические системы и сети. Энергосбережение. Учебное пособие для прикладного бакалавриата. М.: Юрайт, 2019. 180 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. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2019. 174 с.
9. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. М.: ЗАО «Энергосервис», 2019. 324 с.

10. Правила устройства электроустановок. Издание 7 [Электронный ресурс]: URL: <https://www.elec.ru/library/direction/pue.html> (дата обращения: 11.03.2023).

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

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

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

14. 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: 11.03.2023).

15. 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: 12.03.2023).

16. ТЭЦ Волжского автозавода. Материал из Википедии – свободной энциклопедии [Электронный ресурс]: URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%AD%D0%A6\\_%D0%92%D0%BE%D0%BB%D0%B6%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B3%D0%BE\\_%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%B7%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%B0](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%AD%D0%A6_%D0%92%D0%BE%D0%BB%D0%B6%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%B7%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%B0) (дата обращения: 11.03.2023).

17. 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: 11.03.2023).

18. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и

электроснабжению. М.: Форум, Инфра. 2019. 136 с.

19. Эксплуатация распределительных устройств. Главные схемы распределительных устройств. [Электронный ресурс]: URL: <https://forca.ru/knigi/oborudovanie/ekspluatatsiya-raspredelitelnyh-ustroystv-2.html> (дата обращения: 12.03.2023).

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