

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 системы электроснабжения завода по производству бытовой химии

Обучающийся

И. Д. Сатров

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., О.В. Самолина

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

Тольятти 2023

## Аннотация

В работе разработаны, проверены и внедрены практические мероприятия по реконструкции системы электроснабжения завода по производству бытовой химии на примере ООО «Компания Флора».

Проведён анализ исходных данных, включающий анализ сведений по технологии производства завода по производству бытовой химии ООО «Компания Флора». На основании анализа последних, с учётом исходных технических и технологических условий завода по производству бытовой химии ООО «Компания Флора», разработан комплекс мероприятий по реконструкции системы электроснабжения объекта исследования.

Осуществлены выбор и проверка основных технических решений в электрической части завода по производству бытовой химии ООО «Компания Флора», включая выбор и проверку основного силового электрооборудования (силовых трансформаторов главной понизительной и цеховых подстанций, электрических аппаратов), а также сечения электрических сетей всех классов напряжения и релейной защиты объекта проектирования. Рассчитаны молниезащита и заземление ГПП объекта реконструкции.

Расчётно-пояснительная записка выполнена в приложении «Microsoft Word» и содержит 80 печатных страниц. Она состоит из введения, трёх основных разделов, заключения, списка используемых источников из 20 наименований. Источниками для написания работы являются нормативно-правовые документы, учебные пособия, техническая литература, типичные проекты, а также интернет-ресурсы. Графическая часть работы выполнена в САПР «AutoCAD» и содержит шесть основных чертежей по основным результатам проведённых исследований.

## Содержание

Введение .....	5
1 Анализ исходных данных по электроснабжению потребителей предприятия .....	9
1.1 Характеристика технологического процесса, технических условий и объектов завода по производству бытовой химии ООО «Компания Флора» .....	9
1.2 Анализ существующей схемы системы электроснабжения завода по производству бытовой химии.....	14
1.3 Обоснование мероприятий по реконструкции существующей системы электроснабжения завода по производству бытовой химии .....	16
2 Практическое внедрение мероприятий по реконструкции системы электроснабжения заводу по производству бытовой химии .....	20
2.1 Выбор рациональной схемы электроснабжения завода по производству бытовой химии .....	20
2.2 Расчёт электрических нагрузок завода по производству бытовой химии .....	24
2.3 Выбор силовых трансформаторов главной понизительной подстанции .....	29
2.4 Проверка трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций .	32
2.5 Выбор и проверка проводников завода по производству бытовой химии .....	36
2.6 Расчёт токов короткого замыкания .....	43
2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов .....	51
3 Выбор устройств и расчёт уставок релейной защиты, молниезащиты и заземления завода по производству бытовой химии .....	60
3.1 Выбор основных типов релейной защиты и автоматики ГПП завода по производству бытовой химии.....	60

3.2 Расчёт уставок релейной защиты силовых трансформаторов и линий ГПП завода по производству бытовой химии .....	63
3.3 Расчёт устройств молниезащиты и заземления завода по производству бытовой химии .....	69
Заключение .....	74
Список используемых источников.....	79

## Введение

Развитие производства бытовой химии в Российской Федерации имеет ряд перспектив, которые определяются как внутренними, так и внешними факторами.

Известно, что развитие производства бытовой химии в России за последние десятилетия претерпело ряд изменений, связанных как с экономическими, так и с законодательными аспектами.

По состоянию на 2023 год, в данной сфере производства можно выделить несколько ключевых тенденций и факторов, влияющих на технологический процесс и полученный результат:

- импортозамещение: после санкций, введенных против России, возникла необходимость в ускорении развития отечественного производства во многих секторах, включая бытовую химию, что создаёт возможности для роста технологического производства внутри страны;
- экологичность: с учетом глобальных тенденций к устойчивому развитию и экологичности продукции, возрастает интерес к экологически чистой бытовой химии, поэтому рынок «зеленой» бытовой химии в России может расширяться и модернизироваться, создавая новые мировые бренды в данном направлении;
- инновации: внедрение новых технологий, улучшение технологических формул, создание новых продуктов – это еще одна важная перспектива для рынка бытовой химии Российской Федерации;
- экспорт: у российских производителей есть потенциал для увеличения экспорта своей продукции, особенно в страны СНГ, а также дружественные страны «глобального Востока и Юга»;
- диверсификация: разработка новых продуктов и расширение ассортимента производимой продукции, помогают отечественным

- производителям бытовой химии удовлетворять разнообразные потребности потребителей;
- локализация производства: создание и развитие локальных цепочек поставок сырья и компонентов, с учётом улучшения и развития логистики, способствуют снижению зависимости от импорта и улучшению стоимостной эффективности;
  - регулятивные инициативы: изменения в регулятивной среде, такие как стандарты безопасности, напрямую влияют на технологию производства и требования к продукции;
  - увеличение потребительского спроса: рост уровня жизни и увеличение покупательной способности приводит к увеличению спроса на продукцию бытовой химии высокого качества.

Однако, как и любой другой сектор, производство бытовой химии стоит перед рядом вызовов, таких как конкуренция, изменение потребительских предпочтений, волатильность цен на сырье и прочие аналогичные аспекты.

С учетом вышеперечисленных факторов можно предположить, что отрасль производства бытовой химии Российской Федерации будет продолжать развиваться, хотя темпы этого развития могут зависеть от многих внешних и внутренних условий.

Развитие отрасли производства бытовой химии напрямую отражается на производственных организациях.

В работе рассматривается одна из таких организаций, являющаяся совместным российско-чешским предприятием завода по производству бытовой химии ООО «Компания Флора».

В настоящей работе осуществлена реконструкция системы электроснабжения завода по производству бытовой химии ООО «Компания Флора».

Это – основная цель работы, которая решается при помощи комплексного подхода и детального рассмотрения основных задач.

Для достижения заданной основной цели работы, предлагается провести решение основных задач в два этапа.

На первом этапе работы, необходимо провести анализ исходных данных, включающий общий анализ сведений по технологии производства завода по производству бытовой химии, а также перечень основных сведений и положений нормативных документов, необходимых для реконструкции систем электроснабжения промышленных предприятий.

На основании анализа последних, с учётом исходных технических и технологических условий завода по производству бытовой химии, необходимо разработать комплекс мероприятий по реконструкции системы электроснабжения объекта.

На втором этапе работы осуществляется практический выбор и проверки основных технических решений по реконструкции в электрической части завода по производству бытовой химии, включая выбор основного электрооборудования (силовых трансформаторов главной понизительной и цеховых подстанций, электрических аппаратов), сечения электрических сетей всех классов напряжения, а также системы релейной защиты объекта проектирования.

Решение поставленных задач осуществляется в работе на основании принятых расчётных методик с учётом рациональных практических методов исследований.

Таким образом, исходя из основной цели работы, с учётом перечня основных задач, требующие решения, определены объект и предмет исследования:

- объектом исследования в работе является система электроснабжения завода по производству бытовой химии ООО «Компания Флора»;
- предметом исследования в работе являются, с одной стороны, электрическое оборудование, аппараты, сети, схема объекта исследования, а с другой – показатели, характеризующие параметры надёжности, безопасности, экономичности и прочих аналогичных

нормативных параметров реконструируемой системы электроснабжения завода по производству бытовой химии проектируемого предприятия.

Работа актуальна и имеет практическую ценность, так как позволяет улучшить показатели энергоэффективности, надёжности, экономичности и безопасности в системе электроснабжения объекта исследования, за счёт внедрения новых перспективных схемных решений на данном отечественном промышленном предприятии отрасли производства бытовой химии [2].

Кроме того, такой подход также позволяет расширить производство на данном предприятии вследствие внедрения новых производственных мощностей и, в конечном итоге, значительно повысить прибыль предприятия и сократить производственные и непроизводственные расходы на объекте проектирования.



## **1 Анализ исходных данных по электроснабжению потребителей предприятия**

### **1.1 Характеристика технологического процесса, технических условий и объектов завода по производству бытовой химии ООО «Компания Флора»**

На первом этапе проектирования необходимо привести краткую характеристику технологического процесса, технических условий и объектов завода по производству бытовой химии ООО «Компания Флора».

Производственные мощности завода по производству бытовой химии ООО «Компания Флора» территориально расположена в Самарской области, Ставропольском районе, в с. Жигули [10].

Основным видом деятельности данной компании является выпуск продукции бытовой химии [10].

Основная продукция завода по производству бытовой химии ООО «Компания Флора» включают [10]:

- жидкое мыло;
- средства для ухода за кожей и волосами (шампуни, кондиционеры, ополаскиватели);
- средства для стирки;
- средства для посуды;
- средства для стёкол;
- средства для санитарной обработки помещений;
- антисептики;
- прочие сопутствующие товары бытовой химии.

Установлено, что завод по производству бытовой химии включает мощную производственную базу, необходимую для обеспечения производства.

Далее в работе приводится краткая характеристика технологического процесса на заводе по производству бытовой химии.

Технологический процесс завода по производству бытовой химии представляет собой строгую последовательность операций и этапов производства, направленных на получение готовой продукции – бытовой химии, а также сопутствующей продукции. Технические условия определяют требования к качеству и характеристикам материалов, оборудования и процессов производства на данном заводе химической промышленности [19]. Установлено, что технологический процесс и технические условия в реконструируемой системе электроснабжения завода по производству бытовой химии играют важную роль в обеспечении качества и надежности производимой продукции.

Технологическая схема организации производства бытовой химии на заводе по производству бытовой химии представлена на рисунке 1 [10].



Рисунок 1 – Технологическая схема организации производства бытовой химии на заводе по производству бытовой химии

Таким образом, установлено, что основными технологическими цехами (единицами) в цикле производства завода по производству бытовой химии являются:

- цех подготовки основного производства;
- цех производства бытовой химии;
- цех контроля и упаковки готовой продукции.

«Также на объекте проектирования также есть необходимые неосновные цеха и участки, выполняющие производственную вспомогательную функцию» [10].

Кроме того, в связи с увеличением производственных мощностей и расширением производства, увеличилась нагрузка производственных мощностей, следовательно, возникла необходимость в больших объёмах воды и сжатого воздуха.

Таким образом, для решения данной проблемы, было принято решение ввести в эксплуатацию высоковольтные насосы 10 кВ на котельной и компрессорной.

При этом значительно увеличивается суммарная нагрузка завода по производству бытовой химии, так как данные новые потребители имеют значительную потребляемую мощность (таблица 1):

- два новых высоковольтных электродвигателя 10 кВ насосной – 1850 кВт;
- два новых высоковольтных электродвигателя 10 кВ компрессорной – 1350 кВт.

Таким образом, суммарная нагрузка новых высоковольтных потребителей 10 кВ завода по производству бытовой химии, составляют 3200 кВт, что является значительным увеличением нагрузки (почти на 40% от первоначального значения).

Технические данные цехов завода по производству бытовой химии с учётом новой нагрузки высоковольтных насосов 10 кВ котельной и компрессорной представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические данные цехов завода по производству бытовой химии с учётом новой нагрузки высоковольтных насосов 10 кВ котельной и компрессорной

Номер объекта на плане	Наименование объекта	Вид объекта	$P_m$ , кВт	Категория надёжности потребителей	
1	Административное здание	существующий	140	3	
2	Цех подготовки основного производства	существующий	480	1	
3	Цех контроля и упаковки готовой продукции	существующий	260	1	
4	Бойлерная	существующий	180	2	
5	Насосная (10 кВ)	новый	1850	2	
	Насосная (0,38/0,22 кВ)	существующий	150		
6	Котельная	существующий	270	2	
7	Ремонтно-механический участок	существующий	290	3	
8	Компрессорная (10 кВ)	новый	1350	2	
	Компрессорная (0,38/0,22 кВ)	существующий	210		
9	Торгово-выставочный комплекс	существующий	34	3	
10	Склад комплектующих	существующий	17	3	
11	Электроцех и служба главного энергетика	существующий	50	3	
12	Цех производства бытовой химии	существующий	1920	1	
13	Гараж и служба главного механика	существующий	50	3	
14	Склад готовой продукции	существующий	620	3	
15	Склад химических материалов	существующий	110	3	
Всего по заводу по производству бытовой химии			-	7981	1,2,3

Из данных таблицы 1 можно сделать выводы, что на территории завода по производству бытовой химии находится в эксплуатации 15 производственных и непроизводственных объектов, которые требуются на предприятии согласно технологическому процессу.

Установлено также, что нагрузка отдельных объектов (цехов, участков и подразделений) завода по производству бытовой химии варьируется в достаточно широком диапазоне (от 17 кВт до 1920 кВт), что предусматривает комплексный подход к выбору схемы электрических соединений системы электроснабжения в результате внедрения мероприятий по её реконструкции.

Также установлено, что в системе электроснабжения завода по производству бытовой химии присутствуют объекты с преобладанием потребителей 1,2 и 3 категории надёжности.

Кроме того, в связи с увеличением производственных мощностей и расширением производства, увеличилась нагрузка производственных мощностей, следовательно, возникла необходимость в больших объёмах воды и сжатого воздуха.

Таким образом, для решения данной проблемы, было принято решение ввести в эксплуатацию высоковольтные насосы 10 кВ на котельной и компрессорной.

При этом установлено, что значительно увеличивается суммарная нагрузка завода по производству бытовой химии, так как данные новые потребители имеют значительную потребляемую мощность (таблица 1):

- два новых высоковольтных электродвигателя 10 кВ насосной – 1850 кВт;
- два новых высоковольтных электродвигателя 10 кВ компрессорной – 1350 кВт.

Таким образом, суммарная нагрузка новых высоковольтных потребителей 10 кВ завода по производству бытовой химии, составляют 3200 кВт, что является значительным увеличением нагрузки (почти на 40% от первоначального значения).

Данную проблему необходимо решить в работе далее путём реконструкции схемы электрических соединений рассматриваемого в работе завода.

Следовательно, при разработке мероприятий по реконструкции схемы электроснабжения завода по производству бытовой химии необходимо учесть совокупность приведённых факторов.

Решение поставленных задач осуществляется в работе далее.

## **1.2 Анализ существующей схемы системы электроснабжения завода по производству бытовой химии**

Далее в работе, для решения поставленных задач, необходимо провести анализ существующей схемы системы электроснабжения завода по производству бытовой химии и её основных составляющих.

Питание существующей схемы системы электроснабжения завода по производству бытовой химии осуществляется от РП-10 кВ, получающий питание от энергосистемы двумя воздушными линиями электропередачи напряжением 10 кВ.

На питающем РП-10 кВ существующей схемы системы электроснабжения завода применяется схема с двумя секционируемыми системами сборных шин. Секционный выключатель 10 кВ, установленный между секциями сборных шин 10 кВ в РП-10 кВ, в нормальном режиме отключён и обеспечивает резервирование путём включения под действием системы автоматического включения резерва (далее – АВР) в аварийном режиме.

Таким образом, в рассмотренной схеме применяется достаточный принцип резервирования [12].

От шин РП-10 кВ существующей схемы системы электроснабжения завода получают питание три двухтрансформаторные цеховые подстанции, которые преобразуют номинальное напряжение 10 кВ в напряжение 0,38/0,22 кВ, которое необходимо для питания потребителей данного предприятия.

Цеховые ТП-10/0,4 кВ получают питание кабельными линиями электропередачи по радиальной схеме от разных секций сборных шин РП-10 кВ. Такая схема – надёжная и экономичная, обеспечивает необходимый уровень резервирования. Для всех цеховых ТП-10/0,4 кВ условия резервирования в схеме обеспечиваются, благодаря применению секционных автоматических выключателей, установленных между секциями сборных шин 0,4 кВ на ТП-10/0,4 кВ.

На цеховых ТП-10/0,4 кВ установлены следующие силовые трансформаторы:

- на ТП-1 – два силовых трансформатора марки ТМГ-1000/10;
- на ТП-2 – два силовых трансформатора марки ТМГ-1000/10;
- на ТП-3 – два силовых трансформатора марки ТМГ-1600/10.

Таким образом, основные схемные решения в существующей (исходной) системе электроснабжения завода по производству бытовой химии представлены на структурной схеме (рисунок 2).

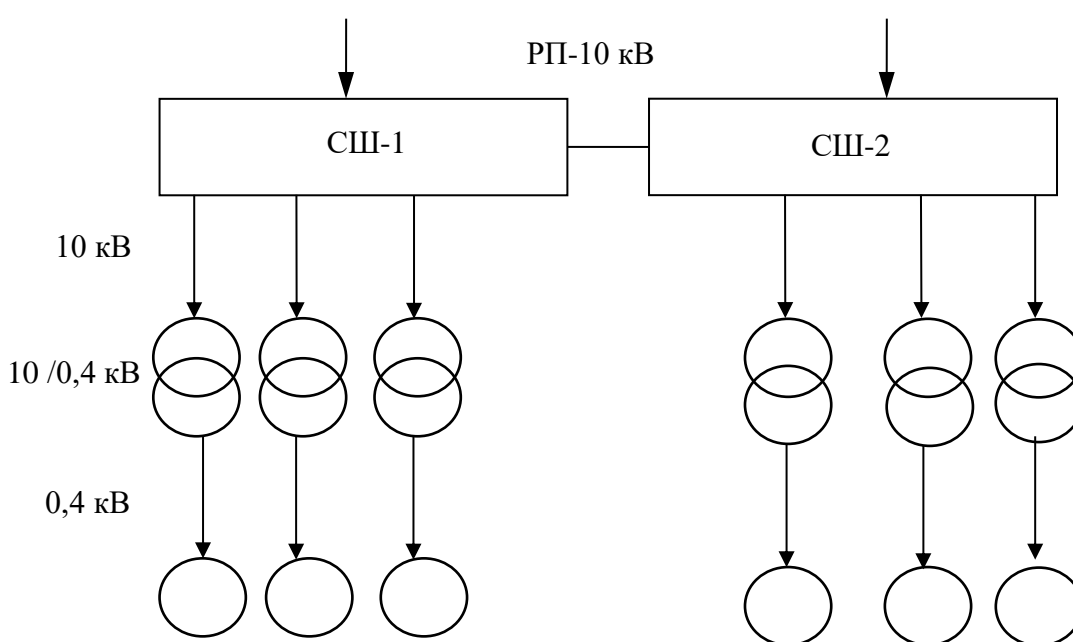


Рисунок 2 – Структурная схема существующей (исходной) системы электроснабжения завода по производству бытовой химии

В результате проведения исследования по данному вопросу, приведены исходные технические условия по существующей схеме системы электроснабжения завода по производству бытовой химии.

Исходная схема электроснабжения завода по производству бытовой химии представлена в данной работе на графическом листе 2.

На основании данной технической информации, далее в работе проводится решение поставленных задач.

### **1.3 Обоснование мероприятий по реконструкции существующей системы электроснабжения завода по производству бытовой химии**

Далее в работе, на основе приведённых исходных данных по существующей схеме системы электроснабжения завода по производству бытовой химии, проводится детальный анализ проблем и предлагаются пути их решения.

Предложены следующие решения существующих проблем для применения в системе электроснабжения завода по производству бытовой химии:

- установлено, что в связи с увеличением производственных мощностей и расширением производства завода по производству бытовой химии, увеличилась также нагрузка производственных мощностей, следовательно, возникла необходимость в больших объёмах воды и сжатого воздуха. Таким образом, для решения данной проблемы, было принято решение ввести в эксплуатацию высоковольтные насосы 10 кВ на котельной и компрессорной. Следовательно, при разработке мероприятий по реконструкции схемы электроснабжения завода по производству бытовой химии необходимо учесть совокупность приведённых факторов, выделив для данных новых потребителей дополнительные кабельные линии 10 кВ и установив новые ячейки в 10 кВ с соответствующим оборудованием;
- установлено, что в связи со значительным увеличением производственных мощностей на 40%, существующая схема питания от РП-10 кВ не удовлетворяет новым техническим условиям. При этом увеличение питающих мощностей на напряжении 10 кВ от энергосистемы не планируется. В связи с данным фактом, предлагается вместо существующего РП-10 кВ в системе электроснабжения завода по производству бытовой химии установить главную понизительную подстанцию (далее – ГПП) с высшим



напряжением 110 кВ и низшим напряжением 10 кВ. Таким образом, значительно увеличится питающая мощность от энергосистемы, что сможет покрыть потребность в установке новых высоковольтных двигателей 10 кВ в помещениях насосной и компрессорной предприятия;

- в связи со значительным изменением схемы системы электроснабжения завода по производству бытовой химии, необходимо выбрать и проверить уставки всех основных устройств системы релейной защиты и автоматики.

При решении поставленных задач по реконструкции схемы системы электроснабжения завода по производству бытовой химии, основная цель работы будет достигнута.

Вывод.

На первом этапе приведена краткая характеристика технологического процесса, технических условий и объектов завода по производству бытовой химии.

Установлено, что на территории завода по производству бытовой химии находится в эксплуатации 15 производственных и непроизводственных объектов, которые требуются на предприятии согласно технологическому процессу. Установлено также, что нагрузка отдельных объектов (цехов, участков и подразделений) завода варьируется в широком диапазоне (от 17 кВт до 1920 кВт), что предусматривает комплексный подход к выбору схемы системы электроснабжения. Также определено, что в системе электроснабжения завода по производству бытовой химии присутствуют объекты с преобладанием потребителей 1,2 и 3 категории надёжности.

Кроме того, в связи с увеличением производственных мощностей и расширением производства, увеличилась нагрузка производственных мощностей, следовательно, возникла необходимость в больших объёмах воды и сжатого воздуха. Таким образом, для решения данной проблемы, было принято решение ввести в эксплуатацию высоковольтные насосы 10 кВ на

котельной и компрессорной. При этом установлено, что значительно увеличивается суммарная нагрузка завода по производству бытовой химии, так как данные новые потребители имеют значительную потребляемую мощность:

- два новых высоковольтных электродвигателя 10 кВ насосной – 1850 кВт;
- два новых высоковольтных электродвигателя 10 кВ компрессорной – 1350 кВт.

Таким образом, суммарная нагрузка новых высоковольтных потребителей 10 кВ завода составляют 3200 кВт, что является значительным увеличением нагрузки (почти на 40% от первоначального значения).

Приведено описанием исходной схемы системы электроснабжения завода по производству бытовой химии. Установлено, что питание данной организации осуществляется от РП-10 кВ двумя воздушными линиями от энергосистемы. Показано, что для распределения электроэнергии на территории завода по производству бытовой химии находятся три двухтрансформаторные подстанции 10/0,4 кВ.

Определено, что все условия резервирования в исходной схеме электроснабжения завода по производству бытовой химии соблюдены.

Предложены следующие решения существующих проблем для применения в системе электроснабжения завода:

- установлено, что в связи с увеличением производственных мощностей и расширением производства завода по производству бытовой химии, увеличилась также нагрузка производственных мощностей, следовательно, возникла необходимость в больших объёмах воды и сжатого воздуха. Таким образом, для решения данной проблемы, было принято решение ввести в эксплуатацию высоковольтные насосы 10 кВ на котельной и компрессорной. Следовательно, при разработке мероприятий по реконструкции схемы электроснабжения завода по производству бытовой химии необходимо учесть

совокупность приведённых факторов, выделив для данных новых потребителей дополнительные кабельные линии 10 кВ и установив новые ячейки в 10 кВ с соответствующим оборудованием;

- установлено, что в связи со значительным увеличением производственных мощностей на 40%, существующая схема питания от РП-10 кВ не удовлетворяет новым техническим условиям. При этом увеличение питающих мощностей на напряжении 10 кВ от энергосистемы не планируется. В связи с данным фактом, предлагается вместо существующего РП-10 кВ в системе электроснабжения завода по производству бытовой химии установить главную понизительную подстанцию (далее – ГПП) с высшим напряжением 110 кВ и низшим напряжением 10 кВ. Таким образом, значительно увеличится питающая мощность от энергосистемы, что сможет покрыть потребность в установке новых высоковольтных двигателей 10 кВ в помещениях насосной и компрессорной предприятия;
- в связи со значительным изменением схемы системы электроснабжения завода по производству бытовой химии, необходимо выбрать и проверить уставки всех основных устройств системы релейной защиты и автоматики.

Установлено, что при решении поставленных задач по реконструкции схемы системы электроснабжения завода по производству бытовой химии, основная цель работы будет достигнута.

## **2 Практическое внедрение мероприятий по реконструкции системы электроснабжения заводу по производству бытовой химии**

### **2.1 Выбор рациональной схемы электроснабжения завода по производству бытовой химии**

На основании предложенных мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений объекта исследования, далее в работе проводится выбор новой схемы электроснабжения завода по производству бытовой химии. Сводные технические условия, необходимые для выбора новой схемы электроснабжения завода по производству бытовой химии, следующие:

- внешнее питание завода по производству бытовой химии - от районной ПС-110/35/10 кВ;
- есть возможность запитать завод по двум вариантам: по линии 35 кВ и по линии 110 кВ;
- потребителей 1 и 2 категории надёжности – более 60%;
- для потребителей 1 категории устанавливаются дополнительные системы АВР внутри схемы ЭС;
- резервирование – с учётом выбранных схем ЭС;
- категория оборудования У (допускается УХЛ);
- потребители – активно-индуктивная нагрузка переменного напряжения.

При выборе схемы новой внешней электроснабжения завода по производству бытовой химии, крайне важно выбрать источник питания и величину номинального напряжения.

В качестве нового источника питания для системы внешней электроснабжения завода по производству бытовой химии, предлагается выбрать главную понизительную подстанцию (далее – ГПП), на которой необходимо установить два силовых трансформатора (так как большинство потребителей относится к 1 и 2 категории надёжности, следовательно, они

требуют резервирования в виде двух независимых линий к источникам питания).

Для выбора величины внешнего номинального напряжения завода по производству бытовой химии, предлагается использовать известную формулу Стилла, дающей не более 10% суммарной погрешности, и применяющейся для определения напряжения питания [8]:

$$U_{рац} = 4,34\sqrt{L + 16 \cdot P}, \quad (1)$$

«где  $L$  – длина питающей линии, км;

$P$  - суммарная передаваемая мощность в сети, МВт» [12].

Суммарная передаваемая мощность в сеть, которая необходима для полноценного питания реконструируемой системы электроснабжения завода по производству бытовой химии, с учётом новых высоковольтных двигателей 10 кВ насосной и компрессорной, определена ранее в таблице 1.

«По условию (1)» [1]:

$$U_{рац} = 4,34\sqrt{7,5 + 16 \cdot 7,981} = 50,46 \text{ кВ}.$$

Исходя из ряда номинальных напряжений, принимается 110 кВ [3].

Следовательно, в новой схеме принята одна двухцепная линия 110 кВ для питания внешней системы электроснабжения завода по производству бытовой химии (по одной цепи на каждый силовой трансформатор).

На основании приведённых сводных технических условий, проводится выбор новых схемных решений в системе электроснабжения завода по производству бытовой химии в результате её реконструкции, основные из которых сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Выбор новых схемных решений в системе электроснабжения завода по производству бытовой химии после реконструкции

Параметр (критерий)	Решение	Примечание
Источник питания внешней СЭС заводу по производству бытовой химии	Главная понизительная подстанция (ГПП)	110 кВ
Источник питания ГПП от энергосистемы	Двухцепная линия 110 кВ	Две цепи должны получать питание от разных источников
Количество трансформаторов на ГПП	2 единицы	Трансформаторы двухобмоточные масляные систем ТМ, ТДН, ТМН
Схема на стороне ВН ГПП (110 кВ)	«Два блока с выключателями и неавтоматической переключкой со стороны линий»	Подходит для питания тупиковой подстанции с потребителями 1 и 2 категории надёжности
Схема на стороне НН ГПП (10 кВ)	«Одна секционированная выключателем система сборных шин»	Подходит для питания тупиковой подстанции с потребителями 1 и 2 категории надёжности
Номинальное напряжение НН ГПП	10 кВ	Рекомендовано [11] как оптимальное напряжение в распределительной сети
Распределительная сеть заводу по производству бытовой химии	Питание от шин НН ГПП к цеховым трансформаторным подстанциям (ЦТП) 10/0,4 кВ	Радиальная схема с резервированием
Резервирование в системе электроснабжения заводу по производству бытовой химии	В РУ ВН ГПП – ремонтная переключка, в РУ НН ГПП – секционный выключатель	Условия резервирования достаточны для обеспечения питания потребителей 1 и 2 категорий надёжности
Режим работы оборудования и линий	Раздельный	Рекомендован для обеспечения питания потребителей 1 и 2 категорий надёжности [11]
Напряжения, на которых получают питание конечные потребители заводу по производству бытовой химии	10 кВ, 0,4 кВ	Для питания потребителей 0,4 кВ применяется сеть ЦТП-10/0,4 кВ, для питания потребителей 10 кВ – радиальные линии от РУ НН ГПП

Таким образом, основные новые схемные решения в системе электроснабжения завода по производству бытовой химии после реконструкции, представлены на структурной схеме (рисунок 3).

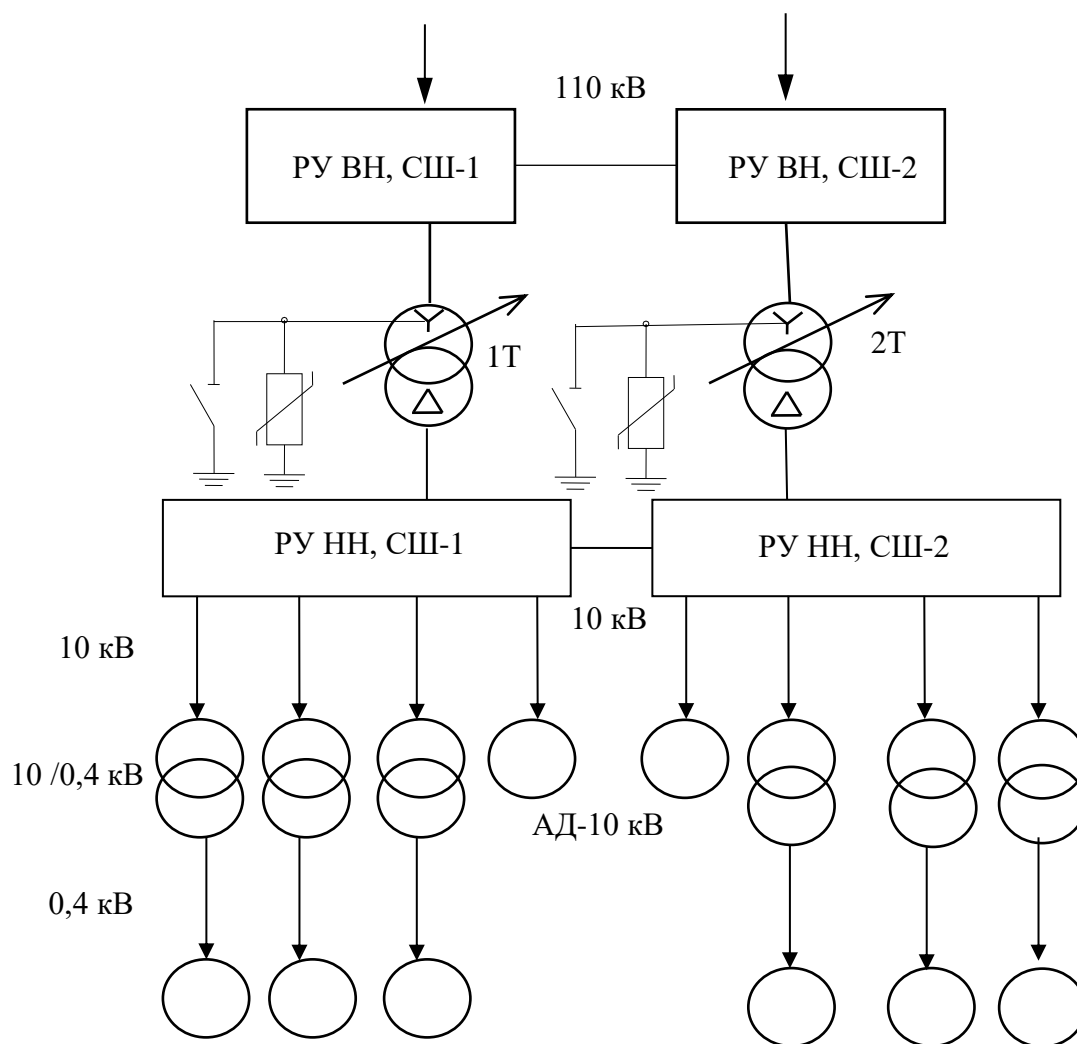


Рисунок 3 – Структурная схема ГПП системы электроснабжения завода по производству бытовой химии после проведения реконструкции схемы электрических соединений

На основании приведённых сводных технических условий, учитывая рекомендованные мероприятия по реконструкции объекта исследования, проведён выбор новых схемных решений по реконструкции системы электроснабжения завода по производству бытовой химии.

Схема электроснабжения завода по производству бытовой химии после внедрения мероприятий по её реконструкции, представлена в работе на графическом листе 2.

## **2.2 Расчёт электрических нагрузок завода по производству бытовой химии**

Далее в работе необходимо провести расчёт электрических нагрузок электрической части реконструируемой системы электроснабжения завода по производству бытовой химии. Очевидно, что расчёт электрических нагрузок реконструируемой системы электроснабжения завода по производству бытовой химии является важной задачей, решение которой позволяет определить, какое количество электроэнергии может быть передано через питающие и распределительные подстанции системы электроснабжения заводу по производству бытовой химии без нарушения стабильности работы последней.

Основной целью такого расчёта является обеспечение надёжной и безопасной работы не только реконструируемой системы электроснабжения завода по производству бытовой химии, но и всей электроэнергетической инфраструктуры в целом [2].

Задачи расчёта реконструируемой системы электроснабжения завода по производству бытовой химии включают следующие аспекты [8]:

- сбор исходных данных о всех потребителях, получающих питание от реконструируемой системы электроснабжения завода по производству бытовой химии, с целью определить их энергопотребление, включая как текущее потребление, так и прогнозируемый рост нагрузок;
- определение характера нагрузок: на данном этапе проводится систематизация собранного материала. Известно, что электрические нагрузки могут быть различными по характеру: активными (потребление активной мощности), реактивными (потребление реактивной мощности) и комбинированными (смешанными). Известно также, что определение характера нагрузок важно для правильного расчёта;



- непосредственное определение максимальной мощности нагрузки реконструируемой системы электроснабжения завода по производству бытовой химии: с учётом текущих и будущих нагрузок, а также с учётом моментов пикового спроса, необходимо расчётным путём определить максимальную активную и реактивную мощность, которая может быть передана через систему электроснабжения завода по производству бытовой химии;
- проверочный расчёт допустимых перегрузок: известно, что электрическое оборудование и сети реконструируемой системы электроснабжения завода по производству бытовой химии могут работать в режиме перегрузки определённое время, но данный процесс должен быть ограничен и контролируем. В связи с этим, проверочный расчёт должен определить, насколько допустимы послеаварийные перегрузки (с учётом резервирования) и как долго они могут продолжаться.

Таким образом, основными задачами расчёта максимальных электрических нагрузок реконструируемой системы электроснабжения завода по производству бытовой химии является обеспечение стабильной и надёжной работы всей электроэнергетической системы, минимизация рисков перегрузок и аварий, а также оптимизация использования энергоресурсов с учётом обеспечения надёжного и стабильного резерва.

Расчёт нагрузок на всех уровнях реконструируемой системы электроснабжения завода по производству бытовой химии выполняется с учётом коэффициента спроса [8].

Данный метод позволяет провести определение нагрузок объектов, находящихся на стадии реконструкции, с учётом рассчитанных коэффициентов спроса для объектов каждого типичного предприятия (заводу по производству бытовой химии, учреждения).

Активная нагрузка объектов реконструируемой системы электроснабжения завода по производству бытовой химии, кВт:

$$P_{p.} = K_c P_n, \quad (2)$$

«где  $P_n$  – суммарная номинальная активная мощность нагрузки объекта заводу по производству бытовой химии, кВт;  
 $K_c$  – справочное значение коэффициента спроса» [8].

«Расчетная реактивная нагрузка» [2]:

$$Q_{p.} = P_{p.} \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (3)$$

«где  $\operatorname{tg}\varphi$  – значение коэффициента реактивной мощности, о.е.» [8].

В работе принимается нормируемое предельное значение коэффициента реактивной мощности системы электроснабжения, обеспечивающее передачу и приём электроэнергии без превышения компенсации реактивной мощности в энергосистеме.

Таким образом, в работе принято значение  $\operatorname{tg}\varphi = 0,4$  [5].

«Расчетная полная нагрузка» [6]:

$$S_{p.} = \sqrt{P_{p.}^2 + Q_{p.}^2}. \quad (4)$$

«Расчётная нагрузка осветительных приёмников» [1]:

$$P_{p.o} = K_{c.o} P_{n.o}, \quad (5)$$

где « $K_{c.o}$  – справочный коэффициент спроса освещения;

$P_{n.o}$  – суммарная мощность приемников освещения» [1].

$$P_{n.o} = P_{уд.o} F, \quad (6)$$

где  $P_{уд.o}$  – «нормируемая удельная мощность освещения, кВт/м<sup>2</sup>» [4];

$F$  – «площадь, м<sup>2</sup>» [1].

«Полная нагрузка силовых и осветительных приёмников» [1]:

$$S_{p.} = \sqrt{(P_{н.} + P_{н.о})^2 + Q_p^2}. \quad (7)$$

«Предварительные потери мощности в трансформаторах» [16]:

$$\Delta P_{ТЦ} = 0,02S_{p.н}, \text{ кВт}; \quad (8)$$

$$\Delta Q_{ТЦ} = 0,1S_{p.н}, \text{ квар}. \quad (9)$$

$$\Delta P_{Т.ГПП} = 0,02S_{p.Σ}, \text{ кВт}; \quad (10)$$

$$\Delta Q_{Т.ГПП} = 0,1S_{p.Σ}, \text{ квар}. \quad (11)$$

Расчёт электрических нагрузок проводится на примере цеха подготовки основного производства (объект 1 категории) системы электроснабжения завода по производству бытовой химии:

$$P_{p.} = 480 \cdot 0,4 = 192 \text{ кВт}.$$

$$Q_{p.} = 192 \cdot 1,17 = 224,64 \text{ квар}.$$

$$S_{p.} = \sqrt{(192 + 224,64)^2} = 295,51 \text{ кВА}.$$

По полученным значениям нагрузки, далее в работе будут выбраны защитные аппараты и сечения кабельных линий, а также уставки устройств РЗиА.

Результаты расчёта электрических нагрузок остальных объектов реконструируемой системы электроснабжения завода по производству бытовой химии представлены в таблице 3.

Таблица 3 – «Результаты расчёта электрических нагрузок объектов реконструируемой системы электроснабжения завода» [14]

Наименование цеха	$P_{p.н.}$ кВт	$P_{p.о.}$ кВт	$Q_{p.н.}$ квар	$Q_{p.о.}$ квар	$P_p$ кВт	$Q_p$ квар	$S_p$ кВА	$\Delta P_m$ кВт	$\Delta Q_m$ квар
Административное здание	49	3,79	65,17	1,63	52,79	66,80	85,14	1,70	8,51
Цех подготовки основного производства	192	7,58	224,64	3,27	199,58	227,91	302,94	3,99	19,96
Цех контроля и упаковки готовой продукции	104	17,96	121,68	7,74	121,96	129,42	177,83	3,56	17,78
Бойлерная	117	28,73	136,89	12,38	145,73	149,27	208,61	4,17	20,86
Насосная (0,38/0,22 кВ)	120	2,84	90,00	1,23	122,84	91,23	153,01	3,06	15,30
Котельная	175,5	1,80	205,34	0,77	177,30	206,11	271,87	5,44	27,19
Ремонтно-механический участок	232	2,15	174,00	0,93	234,15	174,93	292,28	4,68	23,42
Компрессорная (0,38/0,22 кВ)	136,5	1,92	159,71	0,83	138,42	160,53	211,96	4,24	21,20
Торгово-выставочный комплекс	27,2	4,26	20,40	1,84	31,46	22,24	38,53	0,77	3,85
Склад комплектующих	11,05	4,49	12,93	1,94	15,54	14,86	21,50	0,43	2,15
Электроцех и служба главного энергетика	40	2,15	30,00	0,93	42,15	30,93	52,28	0,84	4,22
Цех производства бытовой химии	1248	14,96	1460,16	6,45	1262,96	1466,61	1935,46	38,71	193,55
Гараж и служба главного механика	40	4,99	30,00	2,15	44,99	32,15	55,29	1,11	5,53
Склад готовой продукции	403	4,49	471,51	1,94	407,49	473,45	624,66	12,49	62,47
Склад химических материалов	88	1,80	66,00	0,77	89,80	66,77	111,90	1,80	8,98
Наружное освещение	-	239,40	-	103,20	239,40	103,20	260,70	5,21	26,07
Нагрузка 10 кВ	2983,2	343,30	3268,42	147,99	3326,55	3416,41	4803,99	92,21	461,03
Потери в трансформаторах ГПП	-	-	-	-	158,74	1144,31	1174,99	23,11	115,53
Итого по заводу бытовой химии	-	-	-	-	3485,29	2272,10	4160,49	-	-

Полученные результаты используются в работе далее.

### **2.3 Выбор силовых трансформаторов главной понизительной подстанции**

Как было указано ранее, для питания завода по производству бытовой химии от энергосистемы, в результате проведения реконструкции, предложено заменить РП-10 кВ на ГПП-110/10 кВ. Выбор силовых трансформаторов для установки на ГПП-110/10 кВ завода по производству бытовой химии представляет собой комплексный инженерный процесс, требующий учета множества технических и функциональных параметров.

Такой подход к решению данной задачи обусловлен необходимостью обеспечения оптимальной эффективности и надежности электроснабжения в системе электроснабжения завода по производству бытовой химии.

На первом этапе необходимо провести анализ прогнозируемой активной и реактивной электрической нагрузки, учитывая как текущие, так и перспективные потребности завода по производству бытовой химии. Этот аспект важен в обеспечении сбалансированной работы ГПП и всей системы электроснабжения завода по производству бытовой химии, так как напрямую определяет номинальную величину питающего напряжения.

Следующий этап предусматривает непосредственный выбор количества и мощности силовых трансформаторов для установки на ГПП завода по производству бытовой химии.

Технические аспекты выбора трансформаторов ГПП завода по производству бытовой химии включают в себя выбор количества и марки трансформаторов, конструктивного выполнения ГПП и другие ключевые параметры, способствующие эффективной и надежной работе подстанции. Условия окружающей среды, такие как климатические факторы, также оказывают влияние на выбор трансформаторов.

«Расчётная мощность силового трансформатора для установки на ГПП-110/10 кВ завода» [12]:

$$S_{ном.т} \geq \frac{S_{м.зпт}}{N \cdot K_3}, \quad (12)$$

«где  $S_{м.ГПП}$  – максимальное значение полной расчетной нагрузки трансформаторной подстанции ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения заводу по производству бытовой химии» [12].

$$S_{ном} \geq \frac{4160,49}{2 \cdot 0,7} = 2971,78 \text{ кВА}.$$

Таким образом, исходя из полученных результатов выбора силовых трансформаторов для установки на ГПП-110/10 кВ, принимается ближайшее большее номинальное значение из стандартного ряда мощностей, равное 6300 кВА и тип двухобмоточного силового трансформаторов – ТМН-6300/110.

Далее осуществляется комплекс проверок с целью принятия окончательного решения по выбору силовых трансформаторов ГПП завода по производству бытовой химии.

Основные виды проверок включают проверку на соответствие номинальной мощности расчётным параметрам, а также проверки на загрузку в нормальном режиме и допустимую перегрузку трансформатора в послеаварийном режиме.

Проверка на соответствие номинальной мощности трансформатора расчётным параметрам [16]:

$$S_{ном.т} \geq S_{ном.т.р}, \text{ МВА.} \quad (13)$$

$$S_{ном.т} = 6300 \text{ кВА} \geq S_{ном.т.р} = 4160,49 \text{ кВА}.$$

Таким образом, номинальная мощность выбранного трансформатора ГПП завода по производству бытовой химии превышает расчётную мощность, следовательно, условия проверки выполняются.

Далее проводится проверочный расчёт силовых трансформаторов ГПП завода по производству бытовой химии на нормативную загрузку в нормальном режиме работы и допустимую перегрузку (аварийную перегрузку) в послеаварийном режиме работы.

«При этом коэффициент загрузки трансформатора в нормальном режиме не должен превышать значения 0,7» [15]:

$$K_{з.н} = \frac{0,5 \cdot S_{ПС}}{S_{ном.т}} \leq 0,7. \quad (14)$$

«Коэффициент загрузки трансформатора ГПП завода по производству бытовой химии в послеаварийном режиме» [15]:

$$K_{з.н} = \frac{S_{ПС}}{S_{ном.т}} \leq 1,4. \quad (15)$$

Значит, нормативная загрузка силовых трансформаторов, установленных на ГПП завода по производству бытовой химии, в нормальном режиме работы соответствует нормативным данным:

$$K_{з.н.} = \frac{4160,49}{2 \cdot 6300} = 0,33 \leq 0,7.$$

Значит, перегрузка силовых трансформаторов, установленных на ГПП завода по производству бытовой химии, в послеаварийном режиме работы, не превышает предельно допустимых нормативных данных, следовательно, марка и тип трансформаторов выбраны верно:

$$K_{з.н.} = \frac{4160,49}{6300} = 0,66 \leq 1,4.$$

В результате проведения проверки силовых трансформаторов на новой ГПП завода по производству бытовой химии было установлено, что условия всех требуемых проверок соблюдается, следовательно, силовые трансформаторы мощностью 6300 кВА, которые были предварительно выбраны по результатам расчёта фактических нагрузок завода по производству бытовой химии, подходят для установки на данном объекте.

Таким образом, исходя из результатов расчёта нагрузок организации, окончательно принята установка на новой питающей ГПП-110/10 кВ завода по производству бытовой химии, двух силовых трансформаторов марки ТМН-6300/110.

#### **2.4 Проверка трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций**

Далее в работе проводится проверка силовых трансформаторов, установленных на цеховых подстанциях 10/0,4 кВ объекта реконструкции. Известно, что цеховые трансформаторные подстанции выполняют важную роль в приёме и распределении электроэнергии между конечными потребителями и ГПП.

Установлено, что в системе электроснабжения завода по производству бытовой химии имеется 15 объектов, а также присутствуют потребители всех категорий надёжности (1,2 и 3), поэтому подтверждён аргумент, что все цеховые ТП-10/0,4 кВ должны быть двухтрансформаторными и размещаться на объектах 1 и 2 категории надёжности с наибольшей нагрузкой.

Таким образом, схема электроснабжения завода по производству бытовой химии будет надёжной и экономичной.

Известно, что в исходной схеме электроснабжения были применены три двухтрансформаторные подстанции 10/0,4 кВ, питающие всю нагрузку на стороне 0,38/0,22 кВ завода по производству бытовой химии. Также установлено, что в результате внедрения в систему электроснабжения завода



по производству бытовой химии новых потребителей напряжением 10 кВ, нагрузка на стороне 0,38/0,22 кВ осталась фактически без изменений.

Таким образом, исходя из расположения объектов на плане завода, с учётом их номинальных и расчётных нагрузок, а также категорий надёжности, также предусматривается к установке после реконструкции эти же цеховые трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ.

Следовательно, далее необходимо провести проверку мощности силовых трансформаторов, установленных на ЦТП-10/0,4 кВ завода по производству бытовой химии.

«Минимальная мощность трансформатора для установки на ЦТП-10/0,4 кВ завода» [12]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\sum P_p}{N\beta_T}, \quad (16)$$

«где  $S_{\text{ном.т.р}}$  – расчетная мощность силового трансформатора, кВА;

$\sum P_p$  – активная нагрузка объектов, питающихся от ЦТП, кВт;

$N$  – количество трансформаторов цеховой ТП, шт.» [12].

«Расчёт мощности силовых трансформаторов на цеховых ТП в работе проводится на примере ТП-1» [8]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{919,49}{2 \cdot 0,7} = 656,78 \text{ кВА}.$$

«Для установки на цеховой ТП-1 завода, предварительно приняты два силовых трансформатора марки ТМГ-1000/10» [12].

Данные трансформаторы ЦТП-1 необходимо проверить далее на допустимую нагрузку и аварийную перегрузку, аналогично выбранным ранее трансформаторам ГПП, по условиям (9) и (10).

При этом, так как ЦТП-1 питает потребители и объекты 1 и 2 категорий надёжности, нормативные рекомендуемые коэффициенты максимальной загрузки силовых трансформаторов на данной подстанции принят согласно рекомендациям [9]:

- максимальный нормативный коэффициент загрузки в нормальном режиме  $K_3 = 0,8$ ;
- максимальный нормативный коэффициент перегрузки в послеаварийном режиме  $K_3 = 1,6$ .

Значит, нормативная загрузка силовых трансформаторов, установленных на ЦТП-1 завода по производству бытовой химии, в нормальном режиме работы соответствует нормативным данным:

$$K_{3.n} = \frac{0,5 \cdot 919,49}{1000} \approx 0,46 \leq 0,8.$$

Таким образом, перегрузка силовых трансформаторов, установленных на ЦТП-1 завода по производству бытовой химии, в послеаварийном режиме работы, не превышает предельно допустимых нормативных данных, следовательно, марка и тип трансформаторов выбраны правильно:

$$K_{3.n} = \frac{919,49}{1000} \approx 0,92 \leq 1,6.$$

В результате проведения проверки силовых трансформаторов на ЦТП-1 завода по производству бытовой химии было установлено, что условия всех требуемых проверок соблюдается, следовательно, силовые трансформаторы марки ТМГ-1000/10, которые были предварительно выбраны по результатам расчёта фактических нагрузок объектов завода по производству бытовой химии, подходят для установки на данном объекте и совпадают с

типоминалами трансформаторов, установленными на объекте до реконструкции (таблица 4).

«Таблица 4 – Выбор числа и мощности трансформаторов на цеховых ТП-10/0,4 кВ завода» [19]

Номер цеховой ТП	Наименование цеха (участка)	$S_p, \text{кВт}$	$S_{p, \text{ТП}}, \text{кВт}$	Категория надёжности	Количество × марка силовых трансформаторов
ЦТП-1	Цех подготовки основного производства	302,94	919,49	1	2×ТМГ-1000/10У1
	Ремонтно-механический участок	292,28		2	
	Компрессорная (0,38/0,22 кВ)	211,96		2	
	Торгово-выставочный комплекс	38,53		3	
	Склад комплектующих	21,50		3	
	Электроцех и служба главного энергетика	52,28		2	
ЦТП-2	Цех контроля и упаковки готовой продукции	177,83	1447,88	1	2×ТМГ-1000/10У1
	Бойлерная	208,61		2	
	Насосная (0,38/0,22 кВ)	153,01		2	
	Котельная	271,87		2	
	Склад готовой продукции	624,66		3	
	Склад химических материалов	111,90		2	
ЦТП-3	Цех производства бытовой химии	1935,46	2075,89	1	2×ТМГ-1600/10У1
	Гараж и служба главного механика	55,29		3	
	Административное здание	85,14		3	

В работе подтверждены мощности, количество и место установки трансформаторов ЦТП-10/0,4 кВ:

- ЦТП-1 – устанавливается в здании цеха подготовки основного производства (1 категория надёжности), 2 трансформатора марки ТМГ-1000/10У1;
- ЦТП-2 – устанавливается в здании цеха контроля и упаковки готовой продукции (1 категория надёжности), 2 трансформатора марки ТМГ-1000/10У1;

- ЦТП-3 – устанавливается в здании цеха производства бытовой химии (1 категория надёжности), 2 трансформатора марки ТМГ-1600/10У1.

Таким образом, в результате проведения проверки мощности, типономинала и количества силовых трансформаторов на цеховых подстанциях системы электроснабжения завода по производству бытовой химии вследствие реконструкции, установлено, что на всех трансформаторных подстанциях 10/0,4 кВ силовые трансформаторы не требуют замены.

## **2.5 Выбор и проверка проводников завода по производству бытовой химии**

Далее в работе необходимо провести выбор и проверку проводников в системе электроснабжения завода по производству бытовой химии после реконструкции.

Известно, что выбор и проверка проводников в системе электроснабжения являются важным шагом для обеспечения безопасной и эффективной работы как самого завода по производству бытовой химии, так и всей электроэнергетической системы в целом.

Основной задачей выбора и проверки проводников в системе электроснабжения завода по производству бытовой химии является эффективная и надёжная передача электроэнергии с минимальными значениями её потерь.

При выборе и проверке проводников в системе электроснабжения завода необходимо провести выбор и обоснование следующих технических решений:

- выбор типа проводников в зависимости от электрической схемы системы электроснабжения завода, величины максимальной нагрузки, условий монтажа и эксплуатации и других факторов. Варианты выбора могут включать алюминиевые или медные проводники, а

также различные типы проводников (воздушные, кабельные линии, шинные конструкции);

- выбор сечения проводников в системе электроснабжения завода по производству бытовой химии, которое рассчитывается и проверяется по условиям максимальной нагрузки с учётом резервирования питания (для потребителей 1 и 2 категорий надёжности);
- проверочный тепловой расчет проводников для подтверждения их работоспособности в системе электроснабжения завода по производству бытовой химии во всех режимах без перегрева. Это также особенно важно для предотвращения возможных пожаров, которые могут возникнуть из-за повреждения изоляции (особенно, в кабельных линиях и прочих изолированных проводниках, а также в маслонаполненном оборудовании);
- проверка по механической прочности: особенно важна для проводов воздушных линий электропередачи, так как они подвергаются воздействию ветра, дождя, снега и других негативных климатических факторов;
- прочие специфические проверки (проверка на динамическую устойчивость шин к токам короткого замыкания, проверка минимального сечения кабельных линий и другие аналогичные проверки, которые проводятся по необходимости).

Таким образом, выбор и проверка проводников в системе электроснабжения завода по производству бытовой химии является важным заданием, которое требует комплексного подхода.

В работе для установки в системе электроснабжения завода по производству бытовой химии в результате проведения мероприятий по реконструкции, проводится:

- выбор и проверка новой питающей линии 110 кВ для питания двух силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ от энергосистемы (воздушная линия электропередачи 110 кВ);

- выбор и проверка новых кабельных линий распределительной сети 10 кВ, необходимых для питания новых высоковольтных асинхронных двигателей котельной и компрессорной;
- проверка сечений существующих кабельных линий распределительной сети 10 кВ для обеспечения питания трёх ЦТП-10/0,4 кВ от шин РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ.

«Выбор сечений проводников напряжением выше 1 кВ в системе электроснабжения завода, осуществляется по условию экономической плотности тока» [11]:

$$S_p = \frac{I_p}{j_p}, \quad (17)$$

где « $j_p$  – экономическая плотность тока, А/мм<sup>2</sup>» [10].

Нормируемое значение экономической плотности тока в работе принимается равным 1,1 для неизолированных проводов питающей воздушной линии 110 кВ, и равным 1,6 для изолированных проводников (кабельных линий 10 кВ распределительной сети) [11].

«Расчетное значение рабочего тока нормального режима» [19]:

$$I_n = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \varphi} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_{НОМ}}, \quad (18)$$

«где  $S_p$  – расчётная полная нагрузка линии, кВ;

$n$  – число цепей питающей линии, по которым передаётся мощность, шт.» [19].

«Расчетное значение рабочего тока послеаварийного режима» [19]:

$$I_a = 1,4 \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_{НОМ}} = 1,4 \cdot I_n. \quad (19)$$

«Проверка проводников воздушных и кабельных линий в системе электроснабжения завода в нормальном режиме работы» [11]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_p, \quad (20)$$

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

«Проверка проводников воздушных и кабельных линий системы электроснабжения завода в послеаварийном режиме работы» [11]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{p.\text{max}}, \quad (21)$$

«где  $I_{p.\text{max}}$  – максимальный ток послеаварийного режима работы линии с учётом условий резервирования в схеме, А» [14].

Проверка проводников по условиям механической прочности:

$$S_{\text{ст}} \geq S_{\text{мин}}, \text{ мм}^2. \quad (22)$$

Принимаются к установке на новой питающей линии 110 кВ (ВЛ-110 кВ), необходимой для питания главной понизительной подстанции 110/10 кВ системы электроснабжения завода по производству бытовой химии от энергосистемы в результате проведения мероприятий по реконструкции, стандартные проводники воздушной линии электропередачи марки АС (неизолированный алюминиевый провод со стальной жилой).

Данный тип проводников является классическим вариантом проводов, применяемых на воздушных линиях электропередачи.

«Ток нормального режима питающей ВЛ-110 кВ ГПП-110/10 кВ завода» [20]:

$$I_p = \frac{6305,39}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} \approx 16,5 \text{ A.}$$

«Ток послеаварийного режима питающей ВЛ-110 кВ для ГПП-110/10 кВ» [20]:

$$I_{p.\max} = 1,4 \cdot 16,5 = 23,17 \text{ A.}$$

«Расчётное сечение питающей ВЛ-110 кВ» [20]:

$$S_9 = \frac{16,5}{1,1} = 15 \text{ мм}^2.$$

«Исходя из результатов расчёта, в работе предварительно принимается сечение провода  $F_{cm} = 70 \text{ мм}^2$  марки АС-70/11 с  $I_{дон} = 265 \text{ A}$ » [4].

Это – минимальное сечение воздушной линии 110 кВ, исходя из климатических и механических условий, с учётом минимального сечения на «коронирующий разряд», который возникает в воздушных линиях 110 кВ и выше во время грозы [12].

«Проверка в нормальном режиме выполняется» [19]:

$$265 \text{ A} \geq 16,5 \text{ A.}$$

«Условия проверки выполняются.

Проверка предварительно выбранного провода марки АС-70/11 для воздушной линии 110 кВ по максимальному рабочему току» [5]:

$$265 \text{ A} \geq 23,17 \text{ A.}$$



«Проверка предварительно выбранного провода марки АС-70/11 для воздушной линии 110 кВ по условию механической прочности провода по климатическим и механическим факторам выполняется» [18]:

$$70 \text{ мм}^2 = 70 \text{ мм}^2.$$

«Окончательно для применения на питающей ВЛ-110 кВ, в работе выбран современный провод марки АС-70/11 с сечением токоведущей жилы – 70 мм<sup>2</sup> и допустимой токовой нагрузкой  $I_{дон} = 265 \text{ А}$ » [5].

Согласно требованиям [11], в распределительной сети системы электроснабжения завода по производству бытовой химии необходимо провести проверку на допустимое падение напряжения на концах сети 10 кВ.

Известно, что для питающей сети и линии напряжением 110 кВ такая проверка не проводится [16].

Проверка кабелей распределительной сети 10 кВ системы электроснабжения завода по производству бытовой химии по условиям допустимого падения напряжения:

$$\Delta U_{\%} = \frac{P \cdot \frac{r_0 \cdot l}{n} + Q \cdot \frac{x_0 \cdot l}{n}}{U^2} \leq 5\%, \quad (23)$$

«где  $P, Q$  – соответственно активная и индуктивная нагрузка линий, кВт, квар;

$r_0, x_0$  – удельные сопротивления линии, Ом/км [13].

Результаты выбора и проверки кабелей распределительной сети 10 кВ системы электроснабжения завода по производству бытовой химии после проведения реконструкции, представлены в работе в форме таблицы 5.

Таблица 5 – Результаты выбора и проверки кабелей распределительной сети 10 кВ системы электроснабжения завода по производству бытовой химии после проведения реконструкции

Линия	Длина, м	Расчётные значения			Результаты выбора кабельной линии		$\Delta U$ , %
		$I_{p \text{ норм}}$ , А	$F_{\Sigma}$ , мм <sup>2</sup>	$F_{\text{ст.}}$ , мм <sup>2</sup>	Марка	$I_{\text{дл}}$ , А	
Существующие линии							
ГПП-ЦТП-1	170,0	35,12	21,9	25	АСБ-10(3×25)	94,0	1,52
ГПП-ЦТП-2	180,0	34,63	21,6	25	АСБ-10(3×25)	94,0	1,67
ГПП-ЦТП-3	150,0	68,6	42,8	50	АСБ-10(3×50)	132,0	0,96
Новые линии							
ГПП-АД-10 кВ (насосная)	120,0	53,4	33,3	35	АСБ-10(3×35)	112,0	0,74
ГПП-АД-10 кВ (компрессорная)	140,0	38,99	24,4	25	АСБ-10(3×25)	94,0	0,87

Таким образом, в результате проведения исследований, для установки в системе электроснабжения завода по производству бытовой химии в результате проведения мероприятий по реконструкции, применяются следующие полученные результаты:

- выбрано и проверено сечение новой питающей воздушной линии 110 кВ для питания двух силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ от энергосистемы (провод марки АС-70/11);
- выбраны и проверены сечения новых кабельных линий распределительной сети 10 кВ, необходимых для питания новых высоковольтных асинхронных двигателей котельной (два кабеля марки АСБ-10(3×35)) и компрессорной (два кабеля марки АСБ-10(3×25));
- выполнена проверка сечений существующих кабельных линий распределительной сети 10 кВ для обеспечения питания трёх ЦТП-10/0,4 кВ от шин РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ (для питания ТП-1 и ТП-2 подтверждены кабели марки АСБ-10(3×25), для питания ТП-3 подтверждено сечение двух кабелей АСБ-10(3×35)).

Все выбранные проводники принимаются к установке на объекте реконструкции.

## 2.6 Расчёт токов короткого замыкания

Известно, что расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения завода по производству бытовой химии является важной частью проектирования электроэнергетических систем.

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

Основные задачи расчёта токов короткого замыкания включают [17]:

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

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

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

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

При проведении расчёта, где есть несколько ступеней напряжения, выбирается одна из них в качестве базисной.

Расчёт токов КЗ в системе электроснабжения завода по производству бытовой химии в работе проводится при использовании расчётного метода, в относительных единицах при приведении к базисным условиям.

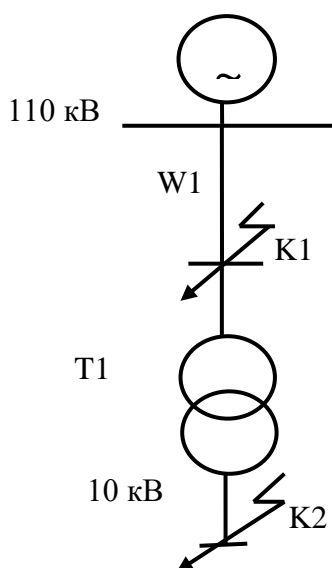
При этом в энергосистеме предполагается наличие максимального режима работы при возникновении трёхфазного тока КЗ (симметричный вариант).

В таком режиме токи КЗ максимальны.

Расчёт токов КЗ состоит из нескольких основных этапов.

На первом этапе необходимо составить расчётную схему и схему замещения электрической сети завода по производству бытовой химии [20].

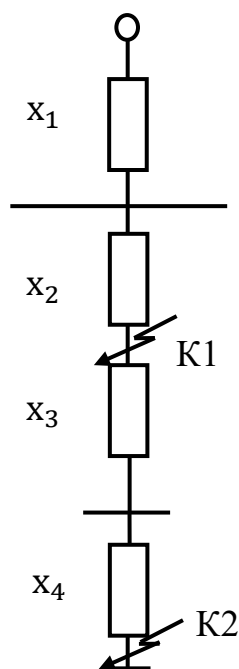
Исходя из этого, в исходной схеме представлены все три класса напряжения, которые применяются в системе электроснабжения завода по производству бытовой химии: 110 кВ и 10 кВ (рисунок 4).



«Рисунок 4 – Исходная расчётная схема для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения завода» [13]

«Составляется схема замещения для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения завода по производству бытовой химии (рисунок 5)» [13].

В схему замещения вносятся активные и индуктивные сопротивления основных элементов расчётной схемы системы электроснабжения завода по производству бытовой химии.



«Рисунок 5 – Исходная схема замещения для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения завода» [13]

Расчёты проводятся до каждой из точек КЗ поочередно.

Базисные напряжения принимаются с учётом повышенного напряжения на шинах новой питающей ГПП-110/10 кВ [16]:

$$U_{\delta.} = 1,05 \cdot U_{ном}, \text{кВ.} \quad (24)$$

«Для напряжений на ГПП-110/10 кВ» [2]:

$$U_{\delta.1} = 1,05 \cdot 110 = 115 \text{кВ.}$$

$$U_{\delta.2} = 1,05 \cdot 10 = 10,5 \text{кВ.}$$

Значение базисного тока принимается с учётом базисного напряжения и мощности, определённых в работе ранее [8]:

$$I_B = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_B}. \quad (25)$$

«Базисный ток на стороне 110 кВ» [17]:

$$I_{Б.ВН} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 115} \approx 2 \text{ кА.}$$

«Базисный ток на стороне 10 кВ» [17]:

$$I_{Б.НН} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 22 \text{ кА.}$$

«Индуктивное сопротивление энергосистемы при приведении к базисным условиям» [17]:

$$X_1 = X_c \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{S_{\bar{o}c}}. \quad (26)$$

$$X_1 = 1,6 \cdot \frac{400}{400} = 1,6 \text{ Ом.}$$

«Сопротивление питающей воздушной линии 110 кВ при приведении к базисным условиям» [17]:

$$X_2 = X_0 \cdot L \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{U_{cp.cm}^2}, \quad (27)$$

«где  $X_0$  – удельное индуктивное сопротивление провода, Ом/км;

$L$  – суммарная длина питающей линии 110 кВ, км» [17].

$$X_2 = 0,4 \cdot 7,5 \cdot \frac{400}{115^2} \approx 0,09 \text{ Ом.}$$

«Сопротивление обмотки ВН трансформатора ГПП-110/10 кВ» [17]:

$$X_3 = \frac{0,125 \cdot U_{квн\%} \cdot S_{\sigma}}{100 \cdot S_{н.т.}}. \quad (28)$$

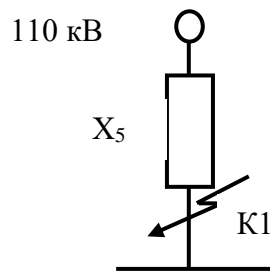
$$X_3 = \frac{0,125 \cdot 10,5 \cdot 400}{100 \cdot 6,3} \approx 0,83 \text{ Ом.}$$

«Сопротивление обмотки НН трансформатора ГПП-110/10 кВ» [17]:

$$X_4 = \frac{1,75 \cdot U_{квн\%} \cdot S_{\sigma}}{100 \cdot S_{н.т.}}. \quad (29)$$

$$X_4 = \frac{1,75 \cdot 10,5 \cdot 400}{100 \cdot 6,3} \approx 11,67 \text{ Ом.}$$

«Схема замещения для точки К1, представлена на рисунке б» [17].



«Рисунок б – Схема замещения, преобразованная для точки К1» [17]

«Результирующее сопротивление до расчётной точки К1» [17]:

$$X_5 = X_1 + X_2. \quad (30)$$

$$X_5 = 1,6 + 0,09 = 1,69 \text{ Ом.}$$

«Ток трёхфазного короткого замыкания в расчётной точке К1» [17]:

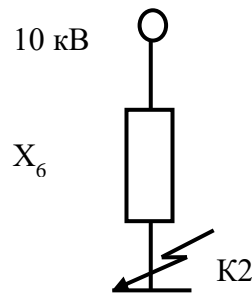
$$I_{\text{пол}} = \frac{E}{X_8} \cdot I_{\sigma}, \quad (31)$$

«где  $E_c$  - сверхпереходная ЭДС энергосистемы,  $E_c=1$ » [17].



$$I_{\text{пол}} = \frac{1}{1,69} \cdot 2 = 1,18 \text{ кА.}$$

«Схема замещения для расчета тока трёхфазного короткого замыкания в расчётной точке К2 представлена на рисунке 7» [17].



«Рисунок 7 – Схема замещения для расчетов в точке К2» [8]

«Расчёт для точки К2 аналогичен расчёту для точки К1» [17]:

$$X_6 = X_3 + X_4 + X_5. \quad (32)$$

$$X_6 = 1,69 + 0,83 + 11,67 = 14,19 \text{ Ом.}$$

«Ток трёхфазного короткого замыкания в точке К2» [17]:

$$I_{\text{по2}} = \frac{E}{X_6} \cdot I_6. \quad (33)$$

$$I_{\text{по2}} = \frac{1}{14,19} \cdot 22 = 1,55 \text{ кА.}$$

«Значение ударного тока в расчётных точках схемы» [12]:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд}} \cdot I_K'', \text{ кА}, \quad (34)$$

«где  $k_{\text{уд}}$  – ударный коэффициент, о.е.» [12].

«Для расчётных точек схемы К1 и К2, значение ударных токов» [13]:

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 1,7 \cdot 1,18 = 2,84 \text{ кА.}$$

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 1,55 = 3,07 \text{ кА.}$$

«Значение двухфазного тока К3» [13]:

$$I_{no(min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_K'', \text{ кА.} \quad (35)$$

«Значение двухфазного тока К3 в расчётных точках схемы» [13]:

$$I_{no(min)к1} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,18 = 1,02 \text{ кА.}$$

$$I_{no(min)к2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,55 = 1,34 \text{ кА.}$$

«Полученные результаты расчёта токов К3 в реконструированной системе электроснабжения завода по производству бытовой химии, представлены в таблице 6» [13].

Таблица 6 – «Результаты расчёта токов короткого замыкания» [13]

Расчётная точка КЗ	$I_K^{(3)}, \text{ кА}$	$I_K^{(2)}, \text{ кА}$	$i_{уд}, \text{ кА}$
Точка К1 (выводы 110 кВ трансформатора ГПП-110/10 кВ)	1,18	1,02	2,84
Точка К2 (выводы 10 кВ трансформатора ГПП-110/10 кВ)	1,55	1,34	3,07

«Полученные в работе результаты расчёта токов К3 используются для соответствующих проверок современного оборудования на ГПП-110/10 кВ и ЦТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения завода» [13].

## 2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов

Выбор и проверка электрических аппаратов в системе электроснабжения завода по производству бытовой химии – это важнейший этап проектирования, который направлен на обеспечение надежной и безопасной работы не только самой системы электроснабжения данного предприятия, но и всей энергосистемы в целом.

В работе выбор новых электрических аппаратов проводится в распределительных устройствах новой ГПП-110/10 кВ, включая линии к новым высоковольтным двигателям 10 кВ насосной и компрессорной. Также проводится проверка электрических аппаратов для защиты и коммутации трёх ранее существующих ЦТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения завода по производству бытовой химии.

Приводится методика выбора выключателей высокого напряжения, которые являются основными аппаратами защиты и коммутации в новой ГПП-110/10 кВ заводу по производству бытовой химии.

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

- по номинальному напряжению» [18]:

$$U_{уст} \leq U_n \quad (36)$$

где « $U_{уст}$ ,  $U_{ном}$  – соответственно напряжения установки и номинальное напряжение выключателя» [18];

- «по максимальному рабочему току» [16]:

$$I_{раб.макс} \leq I_n \quad (37)$$

где « $I_{раб.макс}$ ,  $I_n$  – соответственно, максимальный рабочий ток ПАВ режима электроустановки и номинальное значение тока выключателя» [16];

– «проверка выключателя на симметричный ток отключения» [18]:

$$I_{пт} \leq I_{откн}. \quad (38)$$

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

$I_{откн.н}$  – номинальный ток отключения выключателя, кА» [18];

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

$$(\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{откн.н} (1 + \beta_n), \quad (39)$$

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

$\beta_n$  – номинальное значение относительного содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе КЗ;

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

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}, \quad (40)$$

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

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

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

$$i_y \leq i_{нр.с}, \quad (41)$$

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

$i_y$  – ударный ток короткого замыкания в цепи выключателя» [18];

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

$$B_k \leq I_T^2 t_T, \quad (42)$$

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

$I_T$  – предельный ток термической устойчивости,  $A$ ;

$t_T$  – длительность протекания тока устойчивости,  $c$ » [18].

«При этом тепловой импульс с учётом токов короткого замыкания» [18]:

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a). \quad (43)$$

«Предварительно выбирается для установки в РУ-110 кВ новой ГПП-110/10 кВ современный выключатель бакового типа с элегазовой изоляцией марки 145PM40-20 и производится его проверка по условиям (36)-(43)» [19]:

$$U_{ном} = 145 \text{ кВ} \geq U_{сети} = 110 \text{ кВ}.$$

$$I_{ном} = 2000 \text{ А} > I_{расч} = 23,17 \text{ А}.$$

$$I_{откл} = 40 \text{ кА} > I_{к1} = 1,18 \text{ кА}.$$

$$\sqrt{2} \cdot I_k (1 + \beta_{ном} / 100) = \sqrt{2} \cdot 20 (1 + 0,25) =$$

$$= 35 > \sqrt{2} \cdot 2,84 \cdot (1 + e^{-\frac{-(0,05 + 0,1)}{0,007}}) = 14,8 \text{ кА}^2 \cdot c.$$

$$i_{пр.скв} = 40 \text{ кА} > i_{ук1} = 2,84 \text{ кА}.$$

$$I_t^2 t = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ кА}^2 \cdot c > I_k^2 (t_{откл} + T_a) = 1,18^2 \cdot (5 + 0,5 + 0,3) = 7,71 \text{ кА}^2 \cdot c.$$

Для защиты и коммутации цеховых ТП-10/0,4 кВ в РУ-10 кВ новой ГПП-110/10 кВ объекта реконструкции, предлагается установить современные выключатели вакуумного типа марки ВВ/TEL-10-20/1000.

Такие современные вакуумные выключатели высокого напряжения имеют ряд преимуществ по сравнению с другими типами выключателей: длительный срок службы, надёжность, простота в обслуживании, компактность, долговечность, хорошая коммутационная способность, безопасность обслуживания за счёт семи основных блокировок, лёгкое отключение больших токов короткого замыкания за счёт «вакуумной дуги», безотказность в работе, приемлемая цена, улучшенные изоляционные свойства. Наличие всех приведённых характеристик обуславливает целесообразность применения данных аппаратов в системе электроснабжения завода по производству бытовой химии.

Сводные результаты выбора и проверки высоковольтных выключателей в электрической сети 110 кВ и 10 кВ системы электроснабжения завода по производству бытовой химии, представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Сводные результаты выбора и проверки высоковольтных выключателей в электрической сети 110 кВ и 10 кВ системы электроснабжения завода по производству бытовой химии

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Выключатели элегазовые 110 кВ марки 145PM40-20	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 110 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 145 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 23,17 \text{ А.}$	$I_{ном} = 2000 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 1,18 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 40 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 2,84 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 40 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,18^2 \cdot 3 = 4,18 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 40^2 \cdot 3 \approx 4800 \text{ кА}^2\text{с.}$
Выключатели вакуумные 10 кВ марки ВВ/TEL-10-20-630-У2-48	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 509,8 \text{ А.}$	$I_{ном} = 630 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 1,55 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 3,07 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 3,07^2 \cdot 3 = 28,3 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$

Таким образом, по результатам выбора и проверки высоковольтных выключателей в электрической сети 110 кВ и 10 кВ новой ГПП-110/10 кВ

системы электроснабжения завода по производству бытовой химии после внедрения мероприятий по реконструкции, выбраны и проверены:

- выключатели высоковольтные элегазовые напряжением 110 кВ марки 145PM40-20;
- выключатели высоковольтные вакуумные напряжением 10 кВ марки ВВ/TEL-10-20-630-У2-48.

Известно, что разъединители служат для видимого разрыва электрической цепи при ремонтно-эксплуатационных работах.

Они устанавливаются в схеме объекта проектирования только в РУ-110 кВ новой ГПП-110/10 кВ.

Сводные результаты выбора высоковольтных разъединителей в электрической сети 110 кВ новой ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения завода по производству бытовой химии представлены в работе в форме таблицы 8.

Таблица 8 – Сводные результаты выбора и проверки высоковольтных разъединителей в электрической сети 110 кВ системы электроснабжения завода по производству бытовой химии

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Разъединители 110 кВ марки РГ-110/1000	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 110 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 110 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 23,17 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 1000 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 1,18 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном.} = 40 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 2,84 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 40 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,18^2 \cdot 3 = 4,18 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 40^2 \cdot 3 \approx 4800 \text{ кА}^2\text{с.}$

Важным является выбор измерительных трансформаторов тока и напряжения для установки в электрической сети 110 кВ и 10 кВ системы электроснабжения завода по производству бытовой химии.

Выбираются для установки на ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения завода надёжные, компактные и экономичные трансформаторы тока ТВТ-110-У3 и ТЛО-10-У3.

Наличие указанных характеристик обуславливает целесообразность применения данных аппаратов в системе электроснабжения завода по производству бытовой химии.

Сводные результаты выбора и проверки высоковольтных трансформаторов тока в электрической сети 110 кВ и 10 кВ системы электроснабжения завода по производству бытовой химии представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Сводные результаты выбора и проверки высоковольтных трансформаторов тока в электрической сети 110 кВ и 10 кВ системы электроснабжения завода по производству бытовой химии

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Трансформаторы тока 110 кВ марки ТВТ-110-У3	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 110 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 23,17 \text{ А}$	$I_{ном} = 300 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин}$	$i_y = 2,84 \text{ кА}$	$i_{дин} = 40 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,18^2 \cdot 3 = 4,18 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 40^2 \cdot 3 \approx 4800 \text{ кА}^2\text{с}$
Трансформаторы тока 10 кВ марки ТЛО-10-У3	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 509,8 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин}$	$i_y = 3,07 \text{ кА}$	$i_{дин} = 20 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 3,07^2 \cdot 3 = 28,3 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$

Сводные результаты выбора и проверки высоковольтных трансформаторов напряжения в электрической сети 10 кВ системы электроснабжения завода по производству бытовой химии представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Сводные результаты выбора и проверки высоковольтных трансформаторов напряжения в электрической сети 10 кВ системы электроснабжения завода по производству бытовой химии

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
---	----------------	-----------------------	-------------------------------



Трансформаторы напряжения 10 кВ марки НАМИ-10	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 509,8 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 1000 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 3,07 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 40 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 3,07^2 \cdot 3 =$ $= 28,3 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 40^2 \cdot 3 =$ $= 4800 \text{ кА}^2\text{с.}$

Все выбранные электрические аппараты для установки в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ новой ГПП-110/10 кВ объекта реконструкции, удовлетворяют основным требованиям всех проверок. Все новые аппараты для установки на ГПП-110/10 кВ представлены в графической части работы.

Вывод.

В работе осуществлено практическое обоснование принятых ранее технических решений по реконструкции системы электроснабжения завода по производству бытовой химии.

В качестве нового источника питания для системы внешнего электроснабжения завода по производству бытовой химии, принята главная понизительная подстанция 110/10 кВ с двумя силовыми трансформаторами.

Выбраны рациональные схемные решения, позволяющие обеспечить требуемые условия надёжности, резервирования, обеспечения бесперебойности и секционирования на шинах 110 кВ и 10 кВ новой ГПП-110/10 кВ.

Также в реконструированной схеме принята одна двухцепная линия 110 кВ для питания новой ГПП-110/10 кВ внешней системы электроснабжения завода по производству бытовой химии (по одной цепи на каждый силовой трансформатор).

Проведён расчёт нагрузки реконструируемой системы электроснабжения завода по производству бытовой химии, с учётом ввода в эксплуатацию перспективной нагрузки электродвигателей 10 кВ котельной и компрессорной.

Исходя из результатов расчёта нагрузок организации, установлено, что на новой питающей ГПП-110/10 кВ завода по производству бытовой химии целесообразно установить два силовых трансформатора марки ТМН-6300/110.

В работе подтверждены мощности, количество и место установки трансформаторов ЦТП-10/0,4 кВ:

- ЦТП-1 – устанавливается в здании цеха подготовки основного производства (1 категория надёжности), 2 трансформатора марки ТМГ-1000/10У1;
- ЦТП-2 – устанавливается в здании цеха контроля и упаковки готовой продукции (1 категория надёжности), 2 трансформатора марки ТМГ-1000/10У1;
- ЦТП-3 – устанавливается в здании цеха производства бытовой химии (1 категория надёжности), 2 трансформатора марки ТМГ-1600/10У1.

В результате проведения проверки мощности, типономинала и количества силовых трансформаторов на цеховых подстанциях системы электроснабжения завода по производству бытовой химии вследствие реконструкции, установлено, что на всех трансформаторных подстанциях 10/0,4 кВ силовые трансформаторы не требуют замены. Для установки в системе электроснабжения завода по производству бытовой химии в результате проведения мероприятий по реконструкции, применяются следующие полученные результаты:

- выбрано и проверено сечение новой питающей воздушной линии 110 кВ для питания двух силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ от энергосистемы (провод марки АС-70/11);
- выбраны и проверены сечения новых кабельных линий распределительной сети 10 кВ, необходимых для питания новых высоковольтных асинхронных двигателей котельной (два кабеля марки АСБ-10(3×35)) и компрессорной (два кабеля марки АСБ-10(3×25));

- выполнена проверка сечений существующих кабельных линий распределительной сети 10 кВ для обеспечения питания трёх ЦТП-10/0,4 кВ от шин РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ (для питания ТП-1 и ТП-2 подтверждены кабели марки АСБ-10(3×25), для питания ТП-3 подтверждено сечение двух кабелей АСБ-10(3×35)).

Проведён выбор и проверки высоковольтных электрических аппаратов для установки на новой ГПП-110/10 кВ в электрической сети 110 кВ и 10 кВ системы электроснабжения завода по производству бытовой химии:

- выключатели высоковольтные элегазовые напряжением 110 кВ марки 145PM40-20;
- выключатели высоковольтные вакуумные напряжением 10 кВ марки ВВ/TEL-10-20-630-У2-48;
- разъединители 110 кВ марки РГ-110/1000;
- трансформаторы тока 110 кВ марки ТВТ-110-У3;
- трансформаторы тока 10 кВ марки ТЛО-10-У3;
- трансформаторы напряжения 10 кВ марки НАМИ-10.

Таким образом, по результатам проведённых исследований можно сделать вывод, что предложенные мероприятия по внедрению технических решений реконструкции в схему электрических соединений завода по производству бытовой химии, обусловленными вводом в эксплуатацию новых высоковольтных электродвигателей 10 кВ котельной и компрессорной данного предприятия, являются технически обоснованными и могут быть рекомендованы на объекте исследования.

### **3 Выбор устройств и расчёт уставок релейной защиты, молниезащиты и заземления завода по производству бытовой химии**

#### **3.1 Выбор основных типов релейной защиты и автоматики ГПП завода по производству бытовой химии**

При выборе основных типов релейной защиты и автоматики в системе электроснабжения завода по производству бытовой химии, предлагается применить новые типы защит трансформаторов, а также вводных, линейных и секционных присоединений, и выбрать современные микропроцессорные блоки РЗА для выполнения данной функции.

Как известно, устройства релейной защиты и автоматики (РЗА) устанавливаются на выключателях системы электроснабжения завода. Поэтому в работе устройства РЗА должны быть установлены на новой ГПП-110/10 кВ завода по производству бытовой химии.

На ГПП-110/10 кВ завода по производству бытовой химии защите подлежат силовые трансформаторы данной подстанции, а также отходящие, питающие и секционные присоединения сетей напряжением 110 кВ и 10 кВ.

Согласно [1], для защиты силовых трансформаторов системы электроснабжения ГПП-110/10 кВ завода по производству бытовой химии, должны быть предусмотрены следующие виды защит:

- дифференциальная защита (ДЗ) – является высокочувствительной РЗА трансформатора от всех видов короткого замыкания и прочих повреждений, рекомендуется применение продольной ДЗ на микропроцессорной основе;
- максимальная токовая защита (МТЗ) – является основной защитой силового трансформатора от внутренних и внешних коротких замыканий, рекомендуется установка двух комплектов МТЗ (на стороне ВН и на стороне НН трансформатора);

- защита от перегрузки (ЗП) – защищает силовой трансформатор от токов перегрузки, работает на сигнал;
- газовая защита – единственный вид РЗиА, реагирующий на внутренние короткие замыкания и явление «пожара стали» в трансформаторе;
- защита от однофазных КЗ на землю (ЗОЗ) – защищает силовой трансформатор от коротких замыканий на землю.

Согласно [1], на главных понизительных подстанциях на вводных, линейных и секционных присоединениях систем электроснабжения предприятий, должны быть предусмотрены следующие виды защит:

- дифференциальная защита линий (ДЗЛ) – является основной РЗиА линий и присоединений от внешних токов короткого замыкания, образует двухступенчатую защиту (вместе с МТЗ), устанавливается на всех присоединениях (вводных, линейных и секционных);
- максимальная токовая защита (МТЗ) – является основной защитой линий и присоединений от внутренних и внешних коротких замыканий, является вместе с ДЗЛ основной двухступенчатой защитой, перекрывая «мёртвую зону» ДЗЛ;
- защита от однофазных КЗ на землю (ЗОЗ) – защищает линии и присоединения от коротких замыканий на землю.

Помимо релейной защиты, в схеме ГПП-110/10 кВ завода по производству бытовой химии необходимо предусмотреть также устройства автоматики и сигнализацию.

Из устройств автоматики для питающих воздушных линий 110 кВ предусматривается автоматическое повторное включение (далее – АПВ), а для секционных присоединений – устройство автоматического включения резерва (далее – АВР).

Все принятые в работе дополнительные виды РЗиА при их внедрении способны значительно повысить надёжность релейной защиты, её быстродействие, селективность (избирательность), что в конечном итоге

позволит значительно снизить риск аварий в схеме главных электрических соединений всей ГПП-110/10 кВ завода по производству бытовой химии .

Для реализации всех перечисленных функций, с целью качественной защиты силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ, а также всех линий завода по производству бытовой химии, предлагается принять микропроцессорный блок релейной защиты серии БЗП-11 «Лютик» [1]. Такие блоки РЗиА серии БЗП-11 «Лютик» марки имеют ряд существенных преимуществ:

- высокая надежность: блоки релейной защиты серии БЗП-11 «Лютик» разрабатываются с учетом высокой степени надежности для обеспечения защиты силовых трансформаторов и линий от коротких замыканий, перегрузок и других аварийных режимов;
- быстродействие: блоки РЗиА серии БЗП-11 «Лютик» способны быстро обнаруживать и реагировать на повреждения в электрических цепях силовых трансформаторов и линий, что позволяет предотвратить их повреждения оборудования и обеспечить безопасность работы всей энергосистемы;
- доступная ценовая категория, значительно меньшая стоимость, чем аналогичных продуктов других компаний;
- простота и удобство монтажа, ремонта и эксплуатации, доступный интерфейс, что упрощает их установку и обслуживание, а также настройку параметров и уставок срабатывания.

Таким образом, выбор микропроцессорных блоков РЗиА серии БЗП-11 «Лютик», для непосредственного применения на ГПП-110/10 кВ завода по производству бытовой химии в результате проведения выбора её релейной защиты и автоматики, обоснован.

Основные схемные решения по применению РЗиА на объекте проектирования представлены в графической части работы.

### 3.2 Расчёт уставок релейной защиты силовых трансформаторов и линий ГПП завода по производству бытовой химии

Далее в работе необходимо провести непосредственный расчёт уставок релейной защиты силовых трансформаторов, установленных на ГПП-110/10 кВ завода по производству бытовой химии.

Рабочие токи и токи максимального режима силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ завода по производству бытовой химии рассчитаны в работе ранее.

«В качестве защиты трансформаторов подстанции 110/10 кВ от межфазных КЗ, используется продольная дифференциальная токовая защита с абсолютной селективностью» [13].

«Ток срабатывания этой защиты определяется путём отстройки от тока небаланса» [13]:

$$I_{с.з} \geq K_n \cdot (I_{раб.макс.НН} - I_{раб.макс.ВН}), \quad (44)$$

где  $I_{раб.макс.НН}$ ,  $I_{раб.макс.ВН}$  – «соответственно максимальный рабочий ток на сторонах НН и ВН силового трансформатора с учётом коэффициента запаса» [13];

$K_n$  – коэффициент надёжности» [13].

«Коэффициент чувствительности дифференциальной токовой защиты должен удовлетворять условию» [13]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{K_{\text{сх}}^{(\kappa)}}{K_{\text{сх}}^{(3)}} \cdot \frac{I_{\text{к.нач.мин}}}{I_{\text{с.з}}} \geq 1,5. \quad (45)$$

«Ток срабатывания продольной дифференциальной токовой защиты трансформатора подстанции 110/10 кВ» [13]:

$$I_{с.з} \geq 1,5 \cdot (509,8 - 23,17) = 729,9 \text{ А.}$$

«Коэффициент чувствительности продольной дифференциальной токовой защиты трансформаторов подстанции 110/10 кВ удовлетворяет требованиям» [13]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{1}{1} \cdot \frac{1180}{729,9} = 1,6 > 1,5.$$

«Для микропроцессорных блоков защит, защита от перегрузки отстраивается от максимального рабочего тока на стороне ВН силового трансформатора» [13]:

$$I_{с.з} \geq K_{\text{н}} \cdot I_{\text{раб.макс.ВН}}, \quad (46)$$

где  $K_{\text{н}}$  – «коэффициент надёжности» [13].

«Ток срабатывания защиты от перегрузки трансформатора подстанции 110/10 кВ» [13]:

$$I_{с.з} \geq 1,05 \cdot 23,17 \approx 24,3 \text{ А.}$$

«Ток срабатывания МТЗ силового трансформатора должен удовлетворять условию» [13]:

$$I_{с.з} \geq K_{\text{отс}} \cdot K_{\text{сзн}} \cdot I_{\text{раб.макс}}, \quad (47)$$

где  $K_{\text{отс}}$  – «коэффициент отстройки» [13];

$K_{\text{сзн}}$  – «коэффициент самозапуска» [13].

«Коэффициент чувствительности МТЗ» [14]:



$$K_{\text{ч}} = \frac{K_{\text{сх}}^{(\kappa)}}{K_{\text{сх}}^{(3)}} \cdot \frac{I_{\text{к.мин}}^{(\kappa)}}{I_{\text{с.з}}} \geq 1,2, \quad (48)$$

«где  $I_{\text{к.мин}}^{(\kappa)}$  - минимальный ток при КЗ в конце защищенной линии» [14];

« $K_{\text{сх}}^{(3)}$  - коэффициент схемы соединения ТТ и реле» [14];

« $K_{\text{сх}}^{(\kappa)}$  - коэффициент схемы соединения ТТ и реле при КЗ» [14];

« $I_{\text{с.з}}$  - ток срабатывания защиты» [14].

«Для комплекта МТЗ силового трансформатора на стороне ВН (110 кВ) значение тока срабатывания защиты» [13]:

$$I_{\text{с.з}} \geq 1,1 \cdot 1,6 \cdot 23,17 \approx 40,8 \text{ A.}$$

«Коэффициент чувствительности МТЗ трансформаторов подстанции на стороне ВН удовлетворяет требованиям» [13]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{1}{1} \cdot \frac{1180}{40,8} \approx 28,9 > 1,2.$$

«Аналогично проводится расчёт уставки тока срабатывания комплекта МТЗ силового трансформатора на стороне НН (10 кВ)» [13]:

$$I_{\text{с.з}} \geq 1,1 \cdot 1,6 \cdot 509,8 \approx 897,2 \text{ A.}$$

«Коэффициент чувствительности МТЗ трансформатора на стороне НН удовлетворяет требованиям» [13]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{1}{1} \cdot \frac{3070}{897,2} = 3,42 > 1,2.$$

«В качестве газовой защиты силовых трансформаторов, установленных на подстанции 110/10кВ, в работе используются усовершенствованные газовые реле типа РГТ-80» [14]. Такие газовые реле имеют современный функционал с несколькими поплавками, которые резервируют друг друга и повышают надёжность защиты. Чувствительная мембрана обеспечивает практически безотказную работу газового реле.

В работе для защиты силовых трансформаторов принимаются все защиты мгновенного действия (ДЗ, МТЗ, ЗОЗ), работающие на «отключение».

Защита от перегрузки выполняется с действием на сигнал, информируя оператора (диспетчера) о явлении перегрузки в цепи трансформатора и необходимости разгрузки системы.

Результаты выбора уставок РЗиА силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ завода по производству бытовой химии представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты выбора типа защит и уставок РЗиА силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ завода по производству бытовой химии

Тип РЗиА	$I_{с.з.}, A$	$t_{с.з.}, c$	Работа защиты
ДЗ	729,9	-	отключение
ЗП	24,3	5,0	сигнал
МТЗ (ВН)	40,8	1,0	отключение
МТЗ (НН)	897,2	1,5	отключение
ЗОЗ	5,0	-	отключение
ГЗ	-	-	отключение

Таким образом, силовые трансформаторы, установленные на ГПП-110/10 кВ завода по производству бытовой химии, будут надёжно защищены от основных ненормальных и аварийных режимов.

Далее в работе необходимо провести непосредственный расчёт уставок релейной защиты линейных присоединений (вводных, секционных и линейных), установленных на ГПП-110/10 кВ реконструируемой системы электроснабжения завода по производству бытовой химии. Рабочие токи и токи максимального режима линейных присоединений реконструируемой системы электроснабжения ГПП-110/10 кВ завода по производству бытовой химии рассчитаны в работе ранее.

«Ток срабатывания ДЗЛ» [13]:

$$I_{c.3} \geq K_o \cdot I_{\text{раб.макс.}} \quad (49)$$

где  $K_o$  – «коэффициент отстройки ДЗЛ» [13].

«Коэффициент чувствительности ДЗЛ» [13]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{K_{\text{сх}}^{(\kappa)}}{K_{\text{сх}}^{(3)}} \cdot \frac{I_{\text{к.нач.мин}}}{I_{c.3}} \geq 1,5. \quad (50)$$

«Для питающей воздушной линии 110 кВ уставка ДЗЛ» [13]:

$$I_{c.3} \geq 1,3 \cdot 23,17 = 30,1 \text{ A.}$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{1}{1} \cdot \frac{1180}{30,1} = 39,2 \geq 1,5.$$

«Выражение для выбора уставок МТЗ линий» [13]:

$$I_{c.3} \geq K_{\text{отс}} \cdot K_{\text{сзн}} \cdot I_{\text{раб.макс.}} \quad (51)$$

«Коэффициент чувствительности МТЗ» [13]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{K_{\text{сх}}^{(\kappa)}}{K_{\text{сх}}^{(3)}} \cdot \frac{I_{\text{к.мин}}}{I_{c.3}} \geq 1,2, \quad (52)$$

«Уставка МТЗ питающей линии 110 кВ» [13]:

$$I_{c.3} \geq 1,05 \cdot 1,1 \cdot 23,17 = 26,8 \text{ A.}$$

«Коэффициент чувствительности МТЗ» [13]:

$$K_y = \frac{1}{1} \cdot \frac{1180}{26,8} = 44,1 \geq 1,2.$$

Аналогично рассчитаны уставки РЗиА остальных (таблица 12).

Таблица 12 – Результаты выбора уставок РЗиА линейных присоединений

Наименование линии	Тип РЗиА	$I_{с.з.}, A$	$t_{с.з.}, c$	Работа РЗиА
Питающая ВЛ-110 кВ	ДЗ	30,1	-	отключение
	МТЗ	23,17	0,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
	АПВ	-	1,0	включение
Ввод 10 кВ	ДЗ	662,7	-	отключение
	МТЗ	611,8	2,0	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
Секционное присоединение 10 кВ	ДЗ	927,5	-	отключение
	МТЗ	856,5	2,0	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
	АВР	-	2,0	включение
ГПП-ЦТП-1	ДЗ	105,2	-	отключение
	МТЗ	97,1	2,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
ГПП-ЦТП-2	ДЗ	105,2	-	отключение
	МТЗ	97,1	2,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
ГПП-ЦТП-3	ДЗ	168,4	-	отключение
	МТЗ	155,4	2,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
ГПП-Насосная	ДЗ	97,2	-	отключение
	МТЗ	89,8	2,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
ГПП-Компрессорная	ДЗ	71,0	-	отключение
	МТЗ	65,5	2,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение

Уставки РЗиА удовлетворяют требованиям надёжности и селективности.

Таким образом, оба силовые трансформатора и все отходящие и питающие линии ГПП-110/10 кВ завода по производству бытовой химии, защищены от ненормальных режимов.

### 3.3 Расчёт устройств молниезащиты и заземления завода по производству бытовой химии

Далее в работе проводится расчёт системы заземления подстанции ГПП завода бытовой химии. «Допустимое время воздействия электрического тока на организм людей» [3]:

$$\tau_{\theta} = t_{p.з.} + t_{отк.в}, с. \quad (53)$$

$$\tau_{\theta} = 0,1 + 0,035 = 0,135 с.$$

Сопротивление растекания тока от ступней человека:

$$R_c = 1,5 \cdot \rho, Ом. \quad (54)$$

С учётом специфики оборудования и грунта подстанции ГПП завода бытовой химии:

$$R_c = 1,5 \cdot 0,009 = 0,0135 Ом.$$

Коэффициент сопротивления тела человека [3]:

$$\beta = \frac{R_q}{R_q + R_c}. \quad (55)$$

Для условий ГПП завода бытовой химии:

$$\beta = \frac{1000}{1000 + 0,0135} = 0,99.$$

«Длина горизонтального заземлителя» [19]:

$$L_r = \frac{130}{5} \cdot 48 + \frac{48}{5} \cdot 130 = 2496 \text{ м.}$$

Коэффициент напряжения прикосновения на ГПП:

$$K_n = \frac{M \cdot \beta}{\left( \frac{l_6 \cdot L_r}{a \cdot \sqrt{S}} \right)^{0,45}}. \quad (56)$$

$$K_n = \frac{0,5 \cdot 0,99}{\left( \frac{5 \cdot 2496}{5 \cdot \sqrt{130 \cdot 48}} \right)^{0,45}} = 0,105.$$

Напряжение на заземлителе контура заземления ГПП:

$$U_3 = \frac{U_{np.\partial on.}}{K_n}, \text{ кВ.} \quad (57)$$

$$U_3 = \frac{400}{0,105} = 3810 \text{ В} = 3,81 \text{ кВ.}$$

Сопротивление заземляющего устройства ГПП:

$$R_{3.\partial on.} = \frac{U_3}{I_3}, \text{ Ом.} \quad (58)$$

$$R_{3.\partial on.} = \frac{3,81}{1,3} = 2,931 \text{ Ом.}$$

Число ячеек по стороне квадрата контура заземления ГПП:

$$m = \frac{L_r}{2 \cdot \sqrt{S}} - 1. \quad (59)$$

$$m = \frac{2496}{2 \cdot \sqrt{130 \cdot 48}} - 1 = 14,8.$$

Принимается  $m=15$ .

Общее сопротивление сложного заземлителя спроектированного контура заземления ГПП завода бытовой химии удовлетворяет минимальным условиям проверки:

$$R_3 = 4,685 \cdot 10^{-5} \text{ Ом} \leq R_{3,\text{дон.}} = 2,931 \text{ Ом}.$$

Напряжение прикосновения в спроектированном контуре заземления ГПП завода бытовой химии:

$$U_{np} = K_n \cdot R_3 \cdot I_3, \text{ В.} \quad (60)$$

$$U_{np} = 0,105 \cdot 4,685 \cdot 10^{-5} \cdot 1,3 = 6,358 \cdot 10^{-3} \text{ В}.$$

Условие выполняется, система заземления подстанции рассчитано верно. В контуре заземления все части соединяются свариванием или глухими болтовыми соединениями. Коммутационные и защитные аппараты в системе заземления устанавливать запрещается [9]. Конструктивное выполнение спроектированной системы заземления ГПП-110/10 кВ представлено на графическом листе 6.

Согласно [7], от стоек конструкции ОРУ-110 кВ с молниеотводами, должно быть обеспечено растекание тока молнии по магистралям заземления не менее чем в трех-четырёх направлениях для ГПП завода бытовой химии.

Кроме того, должно быть установлено соответственно два-три или один-два вертикальных электрода длиной 3-5м на расстоянии, не меньших длины электрода.

Согласно [7]:

$$r_x = \frac{1,6 \cdot h_a}{1 + \frac{h_x}{h}} \cdot p, \quad (61)$$

«Где  $h_a, h_x$  – активная высота молниеотвода и самых высоких элементов;  
 $p$  – коэффициент использования молниеотвода» [7].

«Для системы молниезащиты ГПП завода бытовой химии» [7]:

$$h_a = h - h_x = 24 - 12 = 12 \text{ м.}$$

$$r_x = \frac{1,6 \cdot 12}{1 + \frac{12}{24}} \cdot 1 = 12,8 \text{ м.}$$

«Наименьшая ширина зоны защиты  $b_x$  определяется по формуле» [7]:

$$b_x = 4 \cdot r_x \cdot \frac{7h_a - 1}{14h_a - a}. \quad (62)$$

«Расстояние от оси установки молниеотводов» [7]:

$$b_{x1} = 4 \cdot 12,8 \cdot \frac{7 \cdot 12 - 40}{14 \cdot 12 - 40} = 17,6 \text{ м,}$$

$$b_{x2} = 4 \cdot 12,8 \cdot \frac{7 \cdot 12 - 42}{14 \cdot 12 - 42} = 17,1 \text{ м.}$$

«Условие для защиты объекта высотой  $h_x$  внутри зоны защиты» [4]:

$$D \leq 8 \cdot h_a \cdot p, \quad (63)$$

«где  $D$  – наибольшая диагональ четырехугольника» [4].

$$D = \sqrt{40^2 + 42^2} = 58 \text{ м.}$$



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

$$58 \text{ м} \leq 96 \text{ м.}$$

Условия соответствия системы молниезащиты ГПП завода бытовой химии минимальным условиям надёжности выполняются, следовательно, такая система может быть рекомендована к использованию на объекте.

Вывод.

В работе проведён выбор устройств и расчёт уставок релейной защиты силовых трансформаторов и линейных присоединений (вводных, секционных и отходящих) новой ГПП-110/10 кВ завода по производству бытовой химии.

Для реализации всех перечисленных функций, с целью качественной защиты силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ, а также всех линий завода по производству бытовой химии, выбраны микропроцессорные блоки релейной защиты серии БЗП-11 «Люттик».

Для защиты силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ и линейных присоединений принимаются все защиты мгновенного действия (ДЗ, МТЗ, ЗОЗ), работающие на «отключение». Защита от перегрузки силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ выполняется с действием на сигнал, информируя оператора (диспетчера) о явлении перегрузки в цепи трансформатора и необходимости разгрузки системы. Осуществлён расчёт уставок релейной защиты силовых трансформаторов и линейных присоединений ГПП-110/10 кВ завода.

Установлено, что все уставки РЗиА удовлетворяют требованиям надёжности и селективности.

Таким образом, силовые трансформаторы, установленные на ГПП-110/10 кВ завода по производству бытовой химии, а также все линейные присоединения системы электроснабжения объекта проектирования, будут надёжно защищены от основных ненормальных и аварийных режимов.

Расчитан контур заземления и устройство молниезащиты новой ГПП-110/10 кВ завода.

## Заключение

В результате выполнения работы, проведена разработка проекта реконструкции системы электроснабжения завода по производству бытовой химии на примере ООО «Компания Флора». На первом этапе приведена краткая характеристика технологического процесса, технических условий и объектов завода по производству бытовой химии.

Установлено, что на территории завода по производству бытовой химии находится в эксплуатации 15 производственных и непроизводственных объектов, которые требуются на предприятии согласно технологическому процессу. Установлено также, что нагрузка отдельных объектов (цехов, участков и подразделений) завода по производству бытовой химии варьируется в широком диапазоне (от 17 кВт до 1920 кВт), что предусматривает комплексный подход к выбору схемы системы электроснабжения. Также определено, что в системе электроснабжения завода по производству бытовой химии присутствуют объекты с преобладанием потребителей 1,2 и 3 категории надёжности. Кроме того, в связи с увеличением производственных мощностей и расширением производства, увеличилась нагрузка производственных мощностей, следовательно, возникла необходимость в больших объёмах воды и сжатого воздуха. Таким образом, для решения данной проблемы, было принято решение ввести в эксплуатацию высоковольтные насосы 10 кВ на котельной и компрессорной.

При этом установлено, что значительно увеличивается суммарная нагрузка завода, так как данные новые потребители имеют значительную потребляемую мощность:

- два новых высоковольтных электродвигателя 10 кВ насосной – 1850 кВт;
- два новых высоковольтных электродвигателя 10 кВ компрессорной – 1350 кВт.

Таким образом, суммарная нагрузка новых высоковольтных потребителей 10 кВ завода по производству бытовой химии, составляют 3200 кВт, что является значительным увеличением нагрузки (почти на 40% от первоначального значения).

Приведено описанием исходной схемы системы электроснабжения завода по производству бытовой химии. Установлено, что питание данной организации осуществляется от РП-10 кВ двумя воздушными линиями от энергосистемы. Показано, что для распределения электроэнергии на территории завода находятся три двухтрансформаторные подстанции 10/0,4 кВ. Определено, что все условия резервирования в исходной схеме электроснабжения завода по производству бытовой химии соблюдены.

Предложены следующие решения существующих проблем для применения в системе электроснабжения завода по производству бытовой химии:

- установлено, что в связи с увеличением производственных мощностей и расширением производства завода, увеличилась также нагрузка производственных мощностей, следовательно, возникла необходимость в больших объёмах воды и сжатого воздуха. Таким образом, для решения данной проблемы, было принято решение ввести в эксплуатацию высоковольтные насосы 10 кВ на котельной и компрессорной. Следовательно, при разработке мероприятий по реконструкции схемы электроснабжения завода по производству бытовой химии необходимо учесть совокупность приведённых факторов, выделив для данных новых потребителей дополнительные кабельные линии 10 кВ и установив новые ячейки в 10 кВ с соответствующим оборудованием;
- установлено, что в связи со значительным увеличением производственных мощностей на 40%, существующая схема питания от РП-10 кВ не удовлетворяет новым техническим условиям. При этом увеличение питающих мощностей на напряжении 10 кВ от

энергосистемы не планируется. В связи с данным фактом, предлагается вместо существующего РП-10 кВ в системе электроснабжения завода установить главную понизительную подстанцию (далее – ГПП) с высшим напряжением 110 кВ и низшим напряжением 10 кВ. Таким образом, значительно увеличится питающая мощность от энергосистемы, что сможет покрыть потребность в установке новых высоковольтных двигателей 10 кВ в помещениях насосной и компрессорной предприятия;

- в связи со значительным изменением схемы системы электроснабжения завода, необходимо выбрать и проверить уставки всех основных устройств системы релейной защиты и автоматики.

В качестве нового источника питания для системы внешнего электроснабжения завода по производству бытовой химии, принята главная понизительная подстанция 110/10 кВ с двумя силовыми трансформаторами. Выбраны рациональные схемные решения, позволяющие обеспечить требуемые условия надёжности, резервирования, обеспечения бесперебойности и секционирования на шинах 110 кВ и 10 кВ новой ГПП-110/10 кВ. Также в реконструированной схеме принята одна двухцепная линия 110 кВ для питания новой ГПП-110/10 кВ внешней системы электроснабжения завода по производству бытовой химии (по одной цепи на каждый силовой трансформатор). Проведён расчёт нагрузки реконструируемой системы электроснабжения завода по производству бытовой химии, с учётом ввода в эксплуатацию перспективной нагрузки электродвигателей 10 кВ котельной и компрессорной.

Исходя из результатов расчёта нагрузок организации, установлено, что на новой питающей ГПП-110/10 кВ завода по производству бытовой химии целесообразно установить два силовых трансформатора марки ТМН-6300/110.

В работе подтверждены мощности, количество и место установки трансформаторов ЦТП-10/0,4 кВ:

- ЦТП-1 – устанавливается в здании цеха подготовки основного производства (1 категория надёжности), 2 трансформатора марки ТМГ-1000/10У1;
- ЦТП-2 – устанавливается в здании цеха контроля и упаковки готовой продукции (1 категория надёжности), 2 трансформатора марки ТМГ-1000/10У1;
- ЦТП-3 – устанавливается в здании цеха производства бытовой химии (1 категория надёжности), 2 трансформатора марки ТМГ-1600/10У1.

В результате проведения проверки мощности, типономинала и количества силовых трансформаторов на цеховых подстанциях системы электроснабжения завода вследствие реконструкции, установлено, что на всех трансформаторных подстанциях 10/0,4 кВ силовые трансформаторы не требуют замены.

Для установки в системе электроснабжения предприятия в результате проведения мероприятий по реконструкции, применяются следующие полученные результаты:

- выбрано и проверено сечение новой питающей воздушной линии 110 кВ для питания двух силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ от энергосистемы (провод марки АС-70/11);
- выбраны и проверены сечения новых кабельных линий распределительной сети 10 кВ, необходимых для питания новых высоковольтных асинхронных двигателей котельной (два кабеля марки АСБ-10(3×35)) и компрессорной (два кабеля марки АСБ-10(3×25));
- выполнена проверка сечений существующих кабельных линий распределительной сети 10 кВ для обеспечения питания трёх ЦТП-10/0,4 кВ от шин РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ (для питания ТП-1 и ТП-2 подтверждены кабели марки АСБ-10(3×25), для питания ТП-3 подтверждено сечение двух кабелей АСБ-10(3×35)).

Проведён выбор и проверки высоковольтных электрических аппаратов для установки на новой ГПП-110/10 кВ в электрической сети 110 кВ и 10 кВ системы электроснабжения завода по производству бытовой химии:

- выключатели высоковольтные элегазовые напряжением 110 кВ марки 145PM40-20;
- выключатели высоковольтные вакуумные напряжением 10 кВ марки ВВ/TEL-10-20-630-У2-48;
- разъединители 110 кВ марки РГ-110/1000;
- трансформаторы тока 110 кВ марки ТВТ-110-У3;
- трансформаторы тока 10 кВ марки ТЛО-10-У3;
- трансформаторы напряжения 10 кВ марки НАМИ-10.

Для защиты силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ и линейных присоединений принимаются все защиты мгновенного действия (ДЗ, МТЗ, ЗОЗ), работающие на «отключение». Защита от перегрузки силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ выполняется с действием на сигнал, информируя оператора (диспетчера) о явлении перегрузки в цепи трансформатора и необходимости разгрузки системы. Осуществлён расчёт уставок релейной защиты силовых трансформаторов и линейных присоединений ГПП-110/10 кВ реконструируемого предприятия.

Установлено, что все уставки РЗиА удовлетворяют требованиям надёжности и селективности.

Таким образом, силовые трансформаторы, установленные на ГПП-110/10 кВ завода по производству бытовой химии, а также все линейные присоединения системы электроснабжения объекта проектирования, будут надёжно защищены от основных ненормальных и аварийных режимов.

Рассчитан контур заземления и устройство молниезащиты новой ГПП-110/10 кВ предприятия.

Все решения по реконструкции завода по производству бытовой химии подтверждены расчётами и проверками.

## Список используемых источников

1. АС. Провод неизолированный для воздушных линий [Электронный ресурс]: URL: <https://www.ruscable.ru/info/wire/mark/as/> (дата обращения: 21.11.2023).
2. ГОСТ 28249-93 Короткие замыкания в электроустановках. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.gostrf.com/normadata/1/4294845/4294845729.pdf> (дата обращения: 21.11.2023).
3. ГОСТ 29322-2014. «Напряжения стандартные» [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200115397> (дата обращения: 21.11.2023).
4. ГОСТ 32144-2013. «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301> (дата обращения: 21.11.2023).
5. ГОСТ Р 59279-2020 «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств от 35 до 750 кВ подстанций». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177281> (дата обращения: 21.11.2023).
6. Ерошенко С.А. Расчет токов коротких замыканий в энергосистемах: учебное пособие. УрФУ им. Б.Н. Ельцина. Екатеринбург: Изд. УрФУ, 2019. 108 с.
7. Михеев Г В. Ресурсосберегающая диагностика высоковольтного электрооборудования. [Электронный ресурс]: URL: <https://knigism.online/view/484859> (дата обращения: 21.11.2023).
8. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 174 с.
9. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и

электроснабжение. Дипломное проектирование: Учебное пособие. СПб.: Лань, 2018. 316 с.

10. ООО «Компания Флора». [Электронный ресурс]: URL: <http://www.floratlt.ru/> (дата обращения: 05.10.2023).

11. 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: 21.11.2023).

12. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 6-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2019. 174 с.

13. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2018. 392 с.: ил.

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

15. РД 153-34.0-20.527-98 «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования» [Электронный ресурс]: URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294817/4294817179.htm> (дата обращения: 05.10.2023).

16. РЗ БЗП-11 «Лютик» [Электронный ресурс]: URL: <https://bizkim.uz/ru/catalog/rele/2> (дата обращения: 05.10.2023).

17. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. М.: Директ-Медиа, 2020. 462 с.

18. СТО 56947007- 29.240.30.047-2010. «Рекомендации по применению типовых принципиальных электрических схем распределительных устройств подстанций 35 - 750 кВ». [Электронный ресурс]: URL: [https://doc-baza.ru/content/sto\\_56947007-29\\_240\\_30\\_047-2010\\_rekomendatsii\\_po\\_primeneniyu\\_tipovykh\\_printsipialnykh\\_elektricheskikh\\_skhem\\_raspredelite](https://doc-baza.ru/content/sto_56947007-29_240_30_047-2010_rekomendatsii_po_primeneniyu_tipovykh_printsipialnykh_elektricheskikh_skhem_raspredelite) (дата обращения: 21.11.2023).

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



электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения». [Электронный ресурс]: URL: [https://doc-baza.ru/content/sto\\_56947007-29\\_240\\_30\\_010-2008\\_skhemy\\_printsipialnye\\_elektricheskie\\_raspredelitelnykh\\_ustroistv\\_podstantsii\\_35-750\\_kv\\_t](https://doc-baza.ru/content/sto_56947007-29_240_30_010-2008_skhemy_printsipialnye_elektricheskie_raspredelitelnykh_ustroistv_podstantsii_35-750_kv_t) (дата обращения: 21.11.2023).

20. 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: 21.11.2023).