

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра Электроснабжение и электротехника

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Реконструкция электрической части ЗРУ-10 кВ химического предприятия

Обучающийся

В. А. Старовойтов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., И. В. Горохов

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

Консультант

ст. преподаватель, О.Н. Головач

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

Тольятти 2023

Аннотация

В работе проведена реконструкция схемы главных электрических соединений нормального режима с модернизацией основного оборудования закрытого распределительного устройства 10 кВ (далее – ЗРУ-10 кВ) понизительной подстанции 35/10 кВ (далее – ТП-35/10 кВ) химического предприятия на примере ПАО «Тольяттиазот».

Реконструкция схемы электрических соединений ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ связана с введением в эксплуатацию второго силового трансформатора на объекте и, как результат, изменения схемы главных соединений подстанции, а также присоединения новых линий 10 кВ в связи с необходимостью увеличения производственных мощностей химического предприятия.

Также в связи со значительным износом основного электрооборудования ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот», проведена его замена на современные модели инновационного оборудования соответствующих типов.

Внедрённые решения позволяют значительно повысить технические и экономические показатели на объекте.

Abstract

In the work, the reconstruction of the main electrical connections of the normal mode was carried out with the modernization of the main equipment of the closed switchgear 10 kV of the step-down substation 35/10 kV of the chemical enterprise.

Reconstruction of the electrical connection diagram of the facility is associated with the commissioning of the second power transformer at the facility and, as a result, changes in the scheme of the main connections of the substation, as well as the connection of new 10 kV lines due to the need to increase the production capacity of the chemical enterprise.

Also, due to the significant wear and tear of the main electrical equipment of the facility, it was replaced with modern models of innovative equipment of the appropriate types.

The implemented solutions can significantly improve the technical and economic performance at the facility.

In the work, based on the calculated values of electrical loads of consumers and the results of calculations of short-circuit currents, taking into account the electrical connection diagram of the electrical part of the substation, as well as the results of the analysis of modern developments and innovative solutions in the field of high-voltage equipment, the selection and verification of power transformers, conductors, and as well as new modern electrical switching and protective devices with a voltage of 10 kV for installation in a 10 kV switchgear of an object, which have increased indicators of reliability, safety and efficiency.

Содержание

Введение	5
1 Анализ исходных данных на выполнение работы	8
1.1 Характеристика объекта проектирования	8
1.2 Анализ требований нормативных документов к распределительным устройствам трансформаторных подстанций	12
1.3 Обоснование необходимости реконструкции ЗРУ-10 кВ	14
2 Внедрение мероприятий по реконструкции ЗРУ-10 кВ химического предприятия.....	18
2.1 Расчёт электрических нагрузок	18
2.2 Проверка силовых трансформаторов подстанции с учётом реконструкции ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот»	22
2.3 Выбор и проверка проводников	25
2.4 Расчёт токов короткого замыкания	29
2.5 Выбор и проверка электрических аппаратов	37
3 Выбор устройств релейной защиты и автоматики ЗРУ-10 кВ химического предприятия.....	44
4 Выбор системы учёта и контроля электроэнергии ЗРУ-10 кВ химического предприятия.....	47
Заключение	50
Список используемых источников.....	53

Введение

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

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

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

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

Основной целью данной работы является реконструкция схемы электрических соединений с внедрением мероприятий по модернизации основного оборудования закрытого распределительного устройства напряжением 10 кВ (далее – ЗРУ-10 кВ) на примере химического предприятия ПАО «Тольяттиазот» (далее – ПАО «Тольяттиазот»), которая осуществляется путём замены некоторых электрических аппаратов, морально и технически устаревших, на современные марки и модели, обладающие высокими критериями надёжности, экономичности, экологичности, быстродействия, селективности (избирательности), электробезопасности и прочими аналогичными показателями.

Объектом «исследования в работе является схема электрических соединений нормального режима ПАО «Тольяттиазот»» [3].

«Предметом исследования являются схема электрических соединений, а также электрооборудование напряжением 10 кВ рассматриваемой в работе схемы электрических соединений ЗРУ-10 кВ ПАО «Тольяттиазот»» [3].

Для решения поставленных задач, проведён анализ работы электрической подстанции 35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот», в которую входит ЗРУ-10 кВ, а также проведён анализ основного оборудования исходной схемы электрических соединений объекта исследования.

На основе результатов проведённого анализа, выявлены проблемы в ЗРУ-10 кВ электрической подстанции ПАО «Тольяттиазот», связанные с необходимостью реконструкции схемы электрических соединений и модернизации основного оборудования.

Установлено, что на подстанции 35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот», в которую входит рассматриваемое в работе ЗРУ-10 кВ, «внедряются необходимые мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений подстанции, заключающиеся во вводе второго силового трансформатора на объекте, что, как результат, влечёт изменения (реконструкцию) схемы главных соединений» [3] самой подстанции, включая и её ЗРУ-10 кВ. Вторым аспектом требуемой реконструкции схемы ЗРУ-10 кВ

является тот факт, что к ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» планируется подключить дополнительно три отходящих линии к потребителям 10 кВ (перспективная нагрузка). Таким образом, совокупность данных факторов обуславливают актуальность темы и практическую ценность данной работы.

Кроме того, на «ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» необходимо провести выбор и проверку силовых трансформаторов, проводников питающей и распределительной сети, а также предварительный расчёт электрических нагрузок и токов короткого замыкания» [5].

Таким образом, основываясь на основных теоретических положениях, можно сделать предварительный вывод, что проведённая в работе «модернизация электрооборудования и реконструкция схемы электрических соединений подстанции ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» позволит значительно повысить показатели надёжности и экономичности объекта исследования» [7].

Данные предположения необходимо подтвердить в работе аналитическим и расчётным методами на основе полученных результатов исследований.

Результатом работы является разработка, проверка и практическая реализация технических решений, позволяющих внедрить качественные мероприятия по реконструкции схемы главных электрических соединений и модернизации электрооборудования ЗРУ-10 кВ электрической подстанции 35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот».

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

1 Анализ исходных данных на выполнение работы

1.1 Характеристика объекта проектирования

ПАО «Тольяттиазот» - это крупнейшее в России и одно из важнейших в мире производство аммиака и его производных продуктов [8].

Компания была создана в 1967 году в городе Тольятти Самарской области. Сегодня «Тольяттиазот» является окислителем аммиака в России, а также производит азотные удобрения, меламин, селитру, а также прочие химические продукты [8].

Основным потребителем продукции «Тольяттиазота» является сельскохозяйственный сектор, который использует азотные удобрения для получения урожая различных культур [8].

Кроме того, производство компании находит применение в других сферах, в том числе в производстве лекарственных средств, синтетических материалов и прочих аналогичных продуктах [8].

Компания активно развивает свое производство, инвестирует в новые технологии и повышает производительность, что позволяет добиться высокой эффективности на рынке. В 2022 году ПАО «Тольяттиазот» отмечал свой юбилейный 55-й день рождения и объявил о запуске нового производства метанола на базе аммиака [8].

Известно, что химическое производство является энергоёмким. Не исключением является и ПАО «Тольяттиазот».

Для обеспечения электроснабжения предприятия от энергосистемы, используется главная понизительная подстанция 110/35 кВ, от которой получает питание сеть двухтрансформаторных подстанций 35/10 кВ.

Таким образом, на химическом предприятии ПАО «Тольяттиазот» применяется трёхступенчатая схема распределения электроэнергии: ГПП-ТП-35/10 кВ-ТП-10/0,4 кВ.

Одна из таких понизительных подстанций классом напряжения 35/10 кВ, в которую входит рассматриваемое в работе закрытое распределительное устройство 10 кВ (далее – ЗРУ-10 кВ) детально рассматривается в работе.

Её детальное описание проводится в работе далее.

Согласно исходной схеме электрических соединений, с учётом расположения в энергосистеме, рассматриваемая ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» «является однострансформаторной подстанцией тупикового типа» [13].

«Питание подстанции ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» осуществляется отпайкой воздушной линии электропередачи 35 кВ» [18] (опора 40, ВЛ-Т205) от главной понизительной подстанции предприятия.

Таким образом, установлено, что исходная схема питания подстанции «ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» - магистрального типа» [3].

«Такая схема экономичная, однако пригодна только для обеспечения электроснабжения потребителей III категории надёжности исходя из нормативных требований» [10].

«От сборных шин 35 кВ, которые получают питание отпайкой воздушной линии электропередачи» [2] 35 кВ (опора 40, ВЛ-Т205) от главной понизительной подстанции предприятия. В исходной схеме «для питания силового трансформатора ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» применяется одна линия (фидер) 35 кВ» [11].

«На отходящих линиях в ОРУ-35 кВ понизительной подстанции переменного напряжения 35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» установлены» [3]:

- «масляные баковые выключатели марки С-35М-630-10 БУ1 – 1 единица (год изготовления – 1975, введён в эксплуатацию на подстанции в 1977 году)» [19];
- «разъединители марки РЛНДЗ-35/630 (с одним заземляющим ножом на полюс) – 3 единицы (год изготовления – 1976, введены в эксплуатацию на подстанции в 1977 году)» [3];

- «ограничители перенапряжения ОПН-П-35/40,5/10/680-II УХЛ1 (год изготовления – 2007, год ввода введены в эксплуатацию на подстанции в 2012 году)» [3].

«На рассматриваемой подстанции переменного напряжения 35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» установлен один силовой трансформатор марки ТМН-1800/35 (год изготовления – 1976, год ввода введён в эксплуатацию на подстанции – 1977)» [3].

«Далее рассматривается закрытое распределительное устройство номинальным напряжением 10 кВ (далее» [7] – ЗРУ-10 кВ), являющееся конструктивной частью ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот».

Согласно исходным техническим данным, «на отходящих линиях в ЗРУ-10 кВ понизительной подстанции переменного напряжения 35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» установлены следующие защитные и коммутационные аппараты (основное оборудование)» [7]:

- «горшковые масляные выключатели марки ВМГ-10/630 – 5 единиц (год изготовления – 1966, год ввода в эксплуатацию на подстанции – 1967), установлены на вводе (1 единица), на отходящих линиях (4 единицы: 3 единицы – к потребителям, 1 единица – резерв)» [7];
- «разъединители марки РВЗ-1-10/400 – 11 единиц (год изготовления – 1967, год ввода в эксплуатацию на подстанции» [7] – 1967): из них 10 единиц применяется для шунтирования всех выключателей схемы (устанавливаются до и после выключателей), 1 единица – на вводе к ячейке трансформатора напряжения РУ-10 кВ;
- «измерительные трансформаторы тока: марки ТПЛ-10 – по 2 единицы во всех пяти присоединениях (вводном и линейных), по схеме неполной звезды (год изготовления – 1992, введены в эксплуатацию на подстанции в 2001 году)» [7];
- «измерительные трансформаторы напряжения марки НАМИ-10У2 – 1 единица (год изготовления – 1998, год ввода в эксплуатацию на подстанции – 2001)» [7];

– «ограничители перенапряжения марки ОПН-П1-10/12/102УХЛ (год изготовления – 2009, год ввода в эксплуатацию на подстанции – 2012), включают 2 присоединения (ввод 10 кВ и ТН), по 3 единицы на каждое присоединение» [7].

«Подстанция 35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» предназначена для электроснабжения промышленных потребителей» [17] предприятия, основными из которых являются цеховые трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ, получающие питание от сборных шин ЗРУ-10 кВ подстанции.

«Основные потребители подстанции ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» относятся к III категории надёжности, однако в связи с расширением производства и подключением новых потребителей I и II категорий надёжности» [16] к шинам подстанции, которые изначально не были учтены в схеме электрических соединений при проектировании, необходимо кардинально пересмотреть схему электрических соединений подстанции 35/10 кВ и входящей в него ЗРУ-10 кВ, с учётом текущих изменений.

В результате проведения анализа установлено, что совокупная доля потребителей I и II категорий надёжности подстанции 35/10 кВ, которые получают питание от её ЗРУ-10 кВ, с учётом подключения новых потребителей, по состоянию на май 2023 г. составляет около 60%.

Следовательно, остаточная доля потребителей III категории на подстанции будет составлять около 40%.

В результате технического задания на реконструкцию, установлено, что к шинам ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» планируется подключить дополнительно три отходящих линии к потребителям 10 кВ (перспективная нагрузка).

Технические данные нагрузки существующих и новых подключаемых потребителей ЗРУ-10 кВ подстанции ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» Самарской области, представлены в данной работе в форме таблицы 1.

В таблице 1 для удобства и наглядности проведено разделение существующей и перспективной (подключаемой) нагрузки.

Таблица 1 – Технические данные нагрузки ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» с учётом значений действующей фактической и перспективной нагрузки потребителей

Номер ячейки потребителя	Наименование присоединения	Максимальная активная нагрузка присоединения, P_m , кВт
Подключённые потребители (действующая нагрузка)		
1	1Л-10	350
3	2Л-10	420
4	ТСН	25
5	3Л-10	380
Всего по ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» (действующая нагрузка)		1175
Новые потребители (перспективная нагрузка)		
-	4Л-10	300
-	5Л-10	300
-	6Л-10	300
Всего по ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» (перспективная нагрузка)		900
Всего по ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» (действующая и перспективная нагрузка)		2075

Таким образом, установлено, что к шинам ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» планируется подключить дополнительно три отходящих линии к потребителям 10 кВ (перспективная нагрузка).

Исходная схема электрических соединений ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» до проведения реконструкции схемы главных электрических соединений и модернизации оборудования, приведена на графическом листе 1. На основании приведённой исходной технической информации, далее в работе проводится решение основных поставленных задач.

1.2 Анализ требований нормативных документов к распределительным устройствам трансформаторных подстанций

Для обоснования реконструкции объекта проектирования, важно и необходимо привести основные требования, предъявляемые к распределительным устройствам трансформаторных подстанций нормативными документами [11].

Распределительные устройства (РУ) трансформаторных подстанций (ТП) должны соответствовать следующим требованиям:

- надежность и безопасность: РУ должны быть выполнены из материалов, обеспечивающих электрическую безопасность и надежность работы устройств в условиях эксплуатации. Все РУ должны иметь защиту от коротких замыканий и перегрузок, а также быть оснащены устройствами автоматического отключения при возникновении аварийных ситуаций;
- эффективность и энергоэкономичность: РУ должны обеспечивать эффективное распределение электроэнергии и оптимальное использование энергоресурсов, в том числе с использованием современных систем автоматического управления и контроля;
- удобство эксплуатации: РУ должны быть легко доступными для обслуживания и ремонта, а также иметь удобный и понятный интерфейс управления для операторов;
- соответствие нормативным требованиям: РУ должны соответствовать нормам и правилам, установленным в Российской Федерации для трансформаторных подстанций и электросетевых устройств;
- гибкость и масштабируемость: РУ должны быть гибкими и масштабируемыми, чтобы обеспечивать возможность адаптации к изменяющимся условиям и потребностям;
- совместимость с другими устройствами: РУ должны быть совместимы с другими устройствами трансформаторной подстанции и электросетевой инфраструктуры, включая трансформаторы, силовое оборудование, а также оборудование вторичных цепей коммутации;
- устойчивость к внешним воздействиям: РУ должны быть устойчивыми к внешним воздействиям, таким как пыль, влага, вибрации, температурные изменения, атмосферные электрические разряды и прочим климатическим факторам.

Данные требования также распространяется и на ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот», являющимся объектом исследования в данной работе.

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

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

1.3 Обоснование необходимости реконструкции ЗРУ-10 кВ

Далее в работе, на основании систематизации технических данных подстанции и анализа требований и норм к проектированию распределительных устройств подстанций, «проводится обоснование необходимости проведения реконструкции ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот»» [12].

Установлено, что реконструкцию ЗРУ-10 кВ необходимо рассматривать в комплексе с ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот», в который входит данное ЗРУ-10 кВ.

В «данной работе, после проведения анализа, предложены следующие рекомендации по реконструкции электрической части ЗРУ-10 кВ понизительной подстанции ПАО «Тольяттиазот» класса напряжения 35/10 кВ» [12], с учётом комплексной реконструкции схемы соединений данной подстанции:

- «модернизация устаревших электрических аппаратов ЗРУ-10 кВ, которая реализуется путём замены их на современные модели и марки, отличающиеся улучшенными техническими и экономическими характеристиками» [12];
- «в связи с реконструкцией схемы электрических соединений подстанции на стороне 35 кВ, предусматривающей установку второго трансформатора на подстанции, так как в связи с изменением

категорийности новых потребителей, примерно 60% которых относится к I и II категории надёжности, необходим второй источник питания в виде силового трансформатора. В виду этого, необходима также реконструкция схемы электрических соединений ЗРУ-10 кВ, обусловленных данным фактом» [12];

- вторым аспектом требуемой реконструкции схемы ЗРУ-10 кВ является тот факт, что к ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» планируется подключить дополнительно три отходящих линии к потребителям 10 кВ (перспективная нагрузка). Следовательно, расширение ЗРУ-10 кВ также обуславливает необходимость его реконструкции.

Таким образом, совокупность данных факторов обуславливают актуальность темы и практическую ценность данной работы.

Выводы по разделу.

В работе проведено описание первоначального состояния подстанции 35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот».

Проведено описание оборудования подстанции, включая исходную техническую характеристику РУ-10 кВ данной подстанции, реконструкция которого планируется в работе.

В результате проведения анализа оборудования электрической части ЗРУ-10 кВ ПАО «Тольяттиазот» было установлено, что на объекте используются следующие устаревшие электрические аппараты, которые выработали свой ресурс.

Данные аппараты рекомендовано заменить на новые современные типы, лишённые недостатков устаревшего оборудования.

Такая замена будет иметь значительный технико-экономический эффект, так как позволит предотвратить возникновение аварий оборудования электрической части ПАО «Тольяттиазот», а в случае их возникновения – быстро их локализовать, значительно снизить денежные затраты на монтаж, обслуживание и ремонт нового оборудования, так как практически на все

новейшие модификации завод-изготовитель даёт расширенную гарантию не менее 15-20 лет.

В итоге значительно снизится перерыв в электроснабжении потребителей ЗРУ-10 кВ электрической станции ПАО «Тольяттиазот» Самарской области, что также принесёт эффект как технический, так и экономический.

Кроме того, также в работе дополнительно целесообразно выбрать и проверить новое оборудование для установки в ОРУ-35 кВ подстанции.

Таким образом, в работе будет внедрён полный комплекс по модернизации оборудования всей рассматриваемой в работе понизительной подстанции предприятия.

Предложенная модернизация по замене устаревшего оборудования в электрической части ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» является актуальным и обоснованным заданием.

Рассмотрены требования основных документов, предъявляемых к распределительным устройствам трансформаторных подстанций энергосистемы и промышленных предприятий.

На основе анализа исходных данных и требований к распределительным устройствам подстанций, установлено, что реконструкцию ЗРУ-10 кВ необходимо рассматривать в комплексе с ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот», в который входит данное ЗРУ-10 кВ.

После проведения анализа, предложены следующие практические рекомендации по непосредственной реконструкции электрической части ЗРУ-10 кВ понизительной подстанции ПАО «Тольяттиазот» класса напряжения 35/10 кВ, с учётом комплексной реконструкции схемы соединений данной подстанции:

- в связи с «реконструкцией схемы электрических соединений подстанции на стороне 35 кВ, предусматривающей установку второго трансформатора на подстанции, в связи с изменением категоричности новых потребителей, примерно 60% которых относится к I и II

категории надёжности, необходим второй источник питания в виде силового трансформатора. В виду этого, необходима также реконструкция схемы электрических соединений ЗРУ-10 кВ, обусловленных данным фактом» [8] (первый аспект необходимости проведения реконструкции ЗРУ-10 кВ);

- вторым аспектом требуемой реконструкции схемы ЗРУ-10 кВ является тот факт, что к ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» планируется подключить дополнительно три отходящих линии к потребителям 10 кВ (перспективная нагрузка). Следовательно, расширение ЗРУ-10 кВ также обуславливает необходимость его реконструкции.

Указанные рекомендации по реконструкции схемы и модернизации оборудования ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» проверяются в работе далее расчётно-аналитическим способом.

2 Внедрение мероприятий по реконструкции ЗРУ-10 кВ химического предприятия

2.1 Расчёт электрических нагрузок

Для достижения поставленной цели далее в работе следует провести расчёт электрических нагрузок, которые далее используются для расчёта максимальных рабочих токов с последующими выбором и проверкой силовых трансформаторов, проводников линий, а также основного оборудования электрической части ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» и всей данной подстанции в целом.

В работе в ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» подлежат расчёту следующие виды нагрузки:

- активная расчётная нагрузка, кВт;
- реактивная расчётная нагрузка, квар;
- полная расчётная нагрузка, кВА.

«С учётом этого, расчётная активная расчётная нагрузка присоединений потребителей» [11] электрической части ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» [11]:

$$P_{пр} = K_з \cdot P_{м.}, \text{ кВт}, \quad (1)$$

где $P_{м}$ – максимальная активная нагрузка присоединений потребителей напряжением 10 кВ электрической части ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот», кВт (по исходным данным, таблица 1);

$K_з$ – коэффициент загрузки потребителей напряжением 10 кВ электрической части ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот», о.е. [6].

Расчётная реактивная расчётная нагрузка присоединений потребителей электрической части ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» [11]:

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

где $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности, соответствующий текущему значению коэффициента активной мощности энергосистемы ($\cos \varphi$).

Расчётная полная нагрузка присоединений потребителей электрической части ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» [11]:

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

На основании известных выражений (1) – (3) для расчёта электрических нагрузок, проводится практический расчёт активной, реактивной и полной нагрузок для всех присоединений потребителей ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот».

Расчёт проводится на примере присоединения потребителя 10 кВ «1Л-10» (ячейка СШ-1 ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот») по выражениям (1)-(3):

$$\begin{aligned} P_{np} &= 350 \cdot 1 = 350 \text{ кВт}, \\ Q_{np} &= 350 \cdot 0,4 = 140 \text{ квар}, \\ S_{np} &= \sqrt{350^2 + 140^2} \approx 377 \text{ кВА}. \end{aligned}$$

«Аналогично проведён расчёт электрических нагрузок остальных присоединений потребителей 10 кВ ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» с приведением результатов расчёта в форме результирующей таблицы 2» [19].

При этом новая (перспективная) нагрузка подключается на 2СШ 10 кВ ЗРУ-10 кВ подстанции ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот».

Таблица 2 – Результаты расчёта электрических нагрузок ЗРУ-10 кВ

Наименование присоединения	$P_{пр.}$, кВт	$Q_{пр.}$, квар	$S_{пр.}$, кВА
Подключённые потребители (действующая нагрузка) – 1СШ ЗРУ-10 кВ			
1Л-10	350,0	140,0	377,0
2Л-10	420,0	168,0	452,4
ТСН	25,0	10,0	26,9
3Л-10	380,0	152,0	409,3
Всего по 1СШ 10 кВ	1175,0	470,0	1265,2
Новые потребители (перспективная нагрузка) – 2СШ ЗРУ-10 кВ			
4Л-10	300,0	120,0	323,1
5Л-10	300,0	120,0	323,1
6Л-10	300,0	120,0	323,1
Всего по 2СШ 10 кВ	900,0	360,0	969,3
Всего по РУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот»	2075,0	830,0	2234,8

«Значение расчётной активной нагрузки секций сборных шин ЗРУ-10 кВ и всей ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» с учётом коэффициента одновременности» [14]:

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

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

получающих питание от секций сборных шин электрической части ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот»;

« K_0 – значение коэффициента одновременности максимумов нагрузки на шинах ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» [14].

«Расчёт проводится на примере I секции шин ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот»» [11]:

$$P_{\Sigma} = 0,9 \cdot 1175 = 1057,5 \text{ кВт.}$$

«Значение расчётной реактивной нагрузки секций сборных шин ЗРУ-10 кВ с учётом коэффициента одновременности» [14]:

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

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

получающих питание от секций сборных шин электрической части ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот».

Расчёт проводится «на примере I секции шин ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот»» [20]:

$$Q_{\Sigma} = 0,9 \cdot 470 = 423 \text{ квар.}$$

«Значение расчётной полной нагрузки секций сборных шин ЗРУ-10 кВ и всей ТП-35/10 кВ» [20] ПАО «Тольяттиазот» [14]:

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

Расчёт проводится на примере I секции шин ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот»:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{1057,5^2 + 423^2} \approx 1139 \text{ кВА.}$$

Таким образом, в работе определена расчётная нагрузка на примере I секции шин ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» с учётом максимального коэффициента одновременности максимумов нагрузки (таблица 3).

Таблица 3 – Результаты расчёта нагрузок секций сборных шин ЗРУ-10 кВ

Наименование секции (ТП)	P_{Σ} , кВт	Q_{Σ} , квар	S_{Σ} , кВА
Всего по I секции шин РУ-10 кВ (с учётом значения K_0)	1057,5	423,0	1139,0
Всего по II секции шин РУ-10 кВ (с учётом значения K_0)	810,0	324,0	872,4
Всего по ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» (с учётом значения K_0)	1867,5	747,0	2011,4

«Результаты, полученные при расчёте электрических нагрузок ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот», используются в работе далее для выбора и проверки трансформаторов, проводников и аппаратов» [18].

2.2 Проверка силовых трансформаторов подстанции с учётом реконструкции ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот»

«Как было указано ранее, на рассматриваемой в работе подстанции переменного напряжения 35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» до проведения реконструкции был установлен один трансформатор марки ТМН-1800/35» [16].

«После внедрения мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений подстанции, в работе была обоснована установка двух силовых трансформаторов, номинальную мощность которых необходимо выбрать» [11] на основе расчётных нагрузок с учётом подключения перспективной нагрузки потребителей ЗРУ-10 кВ.

В виду этого, необходимо проверить силовые трансформаторы на соответствие новым техническим условиям.

«Расчётная мощность силового трансформатора» [12]:

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

«где $S_{\text{ПС}}$ – значение полной расчетной нагрузки трансформаторной подстанции ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот»» [12].

$$S_{ном.т.р} = 0,7 \cdot 2011,4 \approx 1408 \text{ кВА.}$$

Проверка по расчётной мощности выполняется [22]:

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

$$S_{ном.т} = 1800 \text{ кВА} \geq S_{ном.т.р} = 1408 \text{ кВА.}$$

Значит, два силовых трансформатора марки ТМН-1800/35 удовлетворяют нагрузочной способности.

Проверка на допустимую загрузку трансформаторов в нормальном режиме выполняется [15]:

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

$$K_{з.н} = \frac{0,5 \cdot 2011,4}{1800} = 0,56 \leq 0,7.$$

Проверка на допустимую перегрузку трансформаторов в послеаварийном режиме выполняется [15]:

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

$$K_{з.н} = \frac{0,5 \cdot 2011,4}{1800} = 0,56 \leq 0,7.$$

На подстанции на потребители III категории надёжности приходится примерно 40% всех потребителей (с учётом новой перспективной нагрузки подстанции).

Значит:

$$K_{з.п} = \frac{2011,4}{1800} = 1,12 \leq 1,4.$$

Условие проверки выполняется.

В результате проведения расчётов и проверок установлено, что в результате реконструкции схемы электрических соединений ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» и подключения перспективной нагрузки в ЗРУ-10 кВ подстанции, один силовой трансформатор марки ТМН-1800/35 рекомендуется заменить на два аналогичных трансформатора такой же номинальной мощности и марки (ТМН-1800/35).

При этом силовые трансформаторы большей номинальной мощности не рекомендуется устанавливать на ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот», «так как они будут постоянно недогружены, что повлечёт резкое увеличение реактивной мощности в сети потребителей и увеличение потерь холостого хода» [5], и в конечном итоге скажется на всей системе электроснабжения предприятия [5].

Кроме того, в режиме недогрузки коэффициент полезного действия на выходе системы электроснабжения будет равен нулю, что приведёт к увеличению оплаты за потреблённую электроэнергию.

Данные аспекты обуславливают правильность выбора трансформатора на подстанции для питания потребителей ЗРУ-10 кВ после реконструкции схемы.

Таким образом, в результате проведения соответствующих расчётов по проверке силовых трансформаторов на подстанции установлено, что условия всех требуемых проверок соблюдается, следовательно, силовые трансформаторы марки ТМН-1800/35, предложенные для установки на подстанции переменного напряжения 35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» после проведения реконструкции, подходят для установки на данном объекте с учётом подключения дополнительной перспективной нагрузки ЗРУ-10 кВ.

2.3 Выбор и проверка проводников

Далее необходимо провести выбор и проверку проводников ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» с учётом подключения дополнительной перспективной нагрузки, а также реконструкции схемы электрических присоединений ЗРУ-10 кВ данной подстанции.

Также в работе целесообразно проверить сечение провода питающей линии 35 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот», что связано с реконструкцией схемы ОРУ-35 кВ всей подстанции.

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

Известно, что выбор сечений проводников напряжением выше 1 кВ (питающей воздушной линии напряжением 35 кВ и распределительных воздушных линий напряжением 10 кВ) ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот», осуществляется по известному условию экономической плотности тока [11]:

$$F_э = \frac{I_p}{j_э}, \quad (11)$$

«где $j_э$ – экономическая плотность тока, А/мм²» [10];

« I_p – расчётный ток нормального режима воздушной линии.

Следовательно, для определения сечения проводников воздушных ЛЭП, необходимо найти значение рабочего тока (тока нормального режима), который определяется для соответствующих линий, исходя из значений полной нагрузки (таблицы 2 и 3), а также номинального тока [11]:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}, \text{ A.} \quad (12)$$

«где S_p – расчётная полная нагрузка воздушной линии, кВА» [10];

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

Для проверки выбранного сечения проводников воздушных линий на понизительной подстанции ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот», необходимо рассчитать их максимальный ток послеаварийного режима (далее – ПАВ режима) работы с учётом условий резервирования в схеме.

По упрощённой методике, значение максимального тока ПАВ режима можно принять равным рабочему току, помноженному на коэффициент резервирования, равный 1,4 [10]:

$$I_{p.\max} = 1,4 \cdot \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}} = 1,4 \cdot I_p. \quad (13)$$

«где S_p – расчётная полная нагрузка воздушной линии, кВА» [10];

« I_p – расчётный ток нормального режима воздушной линии передачи (таблица 2)» [10];

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

Проверка выбранного сечения провода воздушных линий в нормальном режиме работы проводится, исходя из условия нагрева провода линии рабочим током [11]:

$$I_{дон} \geq I_p, \quad (14)$$

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

Аналогично проводится проверка выбранного сечения провода воздушной линии в послеаварийном режиме работы, в которой учтён нагрев воздушной ЛЭП током ПАВ режима [11]:

$$I_{доп} \geq I_{p.max}, \quad (15)$$

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

«Кроме того, по механической прочности проводники воздушных линий должны быть не меньшего сечения чем стандартное минимально-допустимое сечение для условий местности по гололёду и ветру, с учётом типа опор и количества цепей линии» [23]:

$$F_{ст} \geq F_{мин}, \text{ мм}^2. \quad (16)$$

На основе приведённых расчётных формул согласно принятой методики выбора и проверки проводов воздушных линий электропередач, проводится «проверка сечения провода питающей воздушной линии ВЛ-35 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот»» [10].

Как было указано ранее, на ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» по условию (12):

$$I_p = \frac{1800}{\sqrt{3} \cdot 35} \approx 29,7 \text{ А.}$$

«Расчётное сечение питающей ВЛ-35 кВ понизительной подстанции переменного напряжения 35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» по условию экономической плотности тока» [10]:

$$F_s = \frac{29,7}{1,1} = 27,0 \text{ мм}^2.$$

«Исходя из полученных результатов расчёта, для питания силового трансформатора подстанции на стороне 35 кВ с учётом его максимальной

нагрузки, принимается минимально допустимое сечение по климатическим условиям для питающей линии напряжением 35 кВ с выполнением проводом марки АС-50/8» [10].

Максимальный расчётный ток ПАВ «режима питающей ВЛ-35 кВ для питания каждого трансформатора» [20] ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» с учётом резервирования в схеме:

$$I_p = 1,4 \frac{1800}{\sqrt{3} \cdot 35} \approx 41,6 \text{ А.}$$

Проверка провода по току нормального режима выполняется:

$$210 \text{ А} \geq 29,7 \text{ А.}$$

Проверка провода по максимальному току ПАВ режима выполняется:

$$210 \text{ А} \geq 41,6 \text{ А.}$$

Проверка выбранного сечения провода питающей ВЛ-35 кВ понизительной подстанции ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» по механической прочности по гололёду и ветру также выполняется:

$$50 \text{ мм}^2 = 50 \text{ мм}^2.$$

«Условия проверок выполняются, следовательно, данный провод марки АС-50/8 полностью удовлетворяет всем условиям выбора и проверки и подходит в качестве провода для питающей линии 35 кВ к трансформаторам подстанции ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» после её реконструкции. Аналогично выбраны остальные проводники распределительной сети напряжением 10 кВ подстанции (таблица 4)» [14].

«Таблица 4 – Результаты выбора и проверки сечения воздушных линий питающей (35 кВ) и распределительной (10 кВ) сетей» [14] ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» после проведения реконструкции

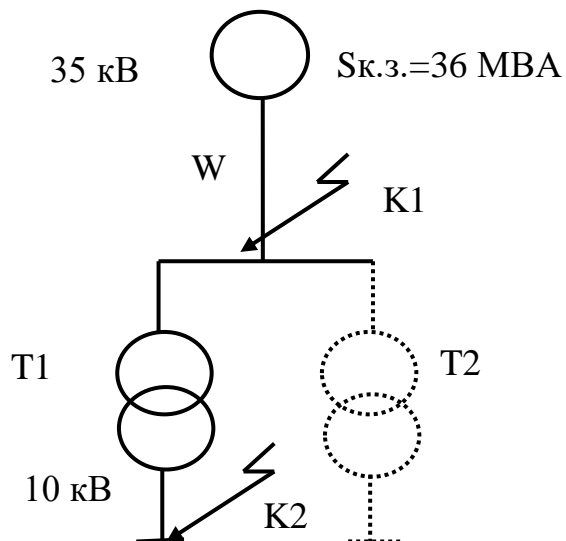
Наименование линии	I_p , А	$I_{p,max}$, А	$F_{ст}$, мм ²	Марка провода	$I_{доп}$, А
ВЛ-35 кВ					
ВЛ-35 кВ-1Т	29,7	41,6	50	АС-50/8	210
ВЛ-35 кВ-2Т	29,7	41,6	50	АС-50/8	210
ВЛ-10 кВ					
1Л-10	21,7	30,5	35	АС-35/6,2	175
2Л-10	26,1	36,6	35	АС-35/6,2	175
3Л-10	23,6	33,1	35	АС-35/6,2	175
4Л-10	18,7	26,1	35	АС-35/6,2	175
5Л-10	18,7	26,1	35	АС-35/6,2	175
6Л-10	18,7	26,1	35	АС-35/6,2	175

«Результаты выбора линий питающей (35 кВ) и распределительной (10 кВ) сетей» [10] ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» после проведения реконструкции показаны в графической части.

2.4 Расчёт токов короткого замыкания

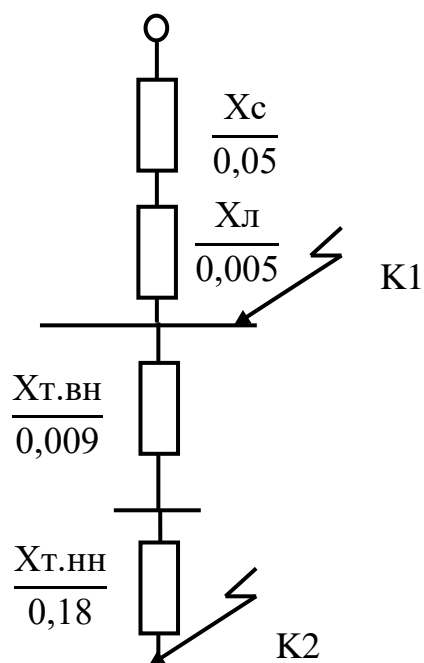
Далее в работе проводится расчёт значения максимального тока трёхфазного короткого замыкания на сборных шинах ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот», по которому будут проверены на термическую и электродинамическую стойкость электрические аппараты, выбранные для установки в ЗРУ-10 кВ.

Исходная расчётная схема, непосредственно используемая для расчёта максимального трёхфазного тока короткого замыкания (далее – «КЗ») на сборных шинах ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот», представлена в работе на рисунке 1» [18].



«Рисунок 1 – Исходная упрощённая схема для расчёта токов КЗ в максимальном режиме на ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» (Т2 – отключён, питание Т1 и ЗРУ-10 кВ – по одной линии 35 кВ)» [10]

«Исходная схема замещения для расчёта токов короткого замыкания на ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» в максимальном режиме с учётом приведённых выше технических условий, представлена на рисунке 2» [17].



«Рисунок 2 – Исходная схема замещения для расчёта токов КЗ на ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» в максимальном режиме» [10]

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

«Базисная мощность принимается равной номинальной мощности силового трансформатора ТП-35/10 кВ» [12] ПАО «Тольяттиазот», оставшегося в работе в послеаварийном режиме (при этом второй трансформатор подстанции отключён, что отображено в расчётной схеме и схеме замещения, а также учтено при расчётах далее) [12]:

$$S_{\sigma} = 1800 \text{ кВА} = 1,8 \text{ МВА}.$$

Базисное напряжение схемы определяется с учётом номинального напряжения [16]:

$$U_{\sigma} = 1,05 \cdot U_{\text{ном}}, \text{кВ}. \quad (17)$$

Таким образом, базисные напряжения для двух ступеней трансформации схемы (35 кВ и 10 кВ):

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

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

Базисный ток рассчитывается по известной формуле:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3}U_{\sigma}}. \quad (18)$$

Базисный ток для двух ступеней трансформации схемы (35 кВ и 10 кВ):

$$I_{\delta 1} = \frac{1,8}{\sqrt{3} \cdot 36,75} \approx 0,03 \text{ кА},$$

$$I_{\delta 2} = \frac{1,8}{\sqrt{3} \cdot 10,5} \approx 0,1 \text{ кА}.$$

Далее проводится расчёт параметров схемы замещения ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» в именованных единицах.

Сопротивление энергосистемы в «схеме замещения определяется по известной формуле» [16]:

$$X_c = \frac{S_{\delta}}{S_{кз}}, \quad (19)$$

«где $S_{кз}$ - полная мощность трёхфазного КЗ на шинах энергосистемы (по данным энергосистемы)» [2].

«Численное значение обобщённого индуктивного сопротивления системы с учётом мощности КЗ на шинах энергосистемы» [10]:

$$X_c = \frac{1,8}{36} = 0,05 \text{ Ом}.$$

«Сопротивление питающей ВЛ-35 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» с учётом её длины, в относительных единицах, при приведении к базисным условиям» [10]:

$$X_l = X_0 \cdot L \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{cp.cm}^2}, \quad (20)$$

«где x_0 - удельное сопротивление ВЛ, Ом/км» [16];

« L - суммарная длина ВЛ, км» [1].

По условию (20):

$$X_{л} = 0,4 \cdot 6,5 \cdot \frac{1,8}{36,75^2} = 0,005 \text{ Ом.}$$

Далее проводится расчёт индуктивных сопротивлений силового трансформатора ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» с учётом паспортных данных, в относительных единицах, при приведении к базисным условиям [12].

Для обмотки ВН (35 кВ) трансформатора, оставшегося в работе на ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот»:

$$X_{т.вн} = \frac{0,125 \cdot U_{квн\%} S_{б.}}{100 \cdot S_{н.т.}} \quad (21)$$

«Для трансформатора подстанции (1800 кВА) с учётом приведения к базисным условиям схемы» [24]:

$$X_{т.вн} = \frac{0,125 \cdot 7,5 \cdot 1,8}{100 \cdot 1,8} = 0,009 \text{ Ом.}$$

Для обмотки НН (10 кВ) трансформатора, оставшегося в работе на ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот»

$$X_{т.нн} = \frac{1,75 \cdot U_{квн\%} S_{б.}}{100 \cdot S_{н.т.}} \quad (22)$$

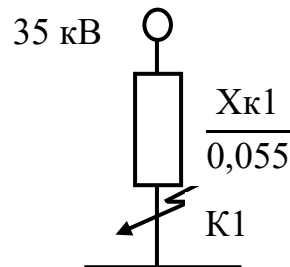
«Для трансформатора подстанции (1800 кВА) с учётом приведения к базисным условиям схемы» [10]:

$$X_{m.nn} = \frac{1,75 \cdot 10,5 \cdot 1,8}{100 \cdot 1,8} = 0,18 \text{ Ом.}$$

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

$$I'' = \frac{E''}{x_{рез}^*} \cdot I_{\theta}^* \quad (23)$$

Далее, исходя из определённых ранее индуктивных сопротивлений всех основных элементов схемы замещения, определяются результирующие (эквивалентные) сопротивления к каждой точке КЗ (рисунок 3).



«Рисунок 3 – Схема замещения, преобразованная для расчёта токов КЗ в расчётной точке $K1$ » [10]

«Результирующее сопротивление к точке $K1$ в именованных расчётных единицах» [10]:

$$X_{к1} = X_c + X_l \quad (24)$$

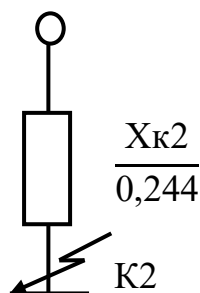
«В числовых значениях» [10]:

$$X_{\kappa 1} = 0,05 + 0,005 = 0,055 \text{ Ом.}$$

«Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания в расчётной точке К1» [10]:

$$I''_{\kappa 1} = \frac{1}{0,055} \cdot 0,03 \approx 0,55 \text{ кА.}$$

«Схема замещения для расчета тока трёхфазного короткого замыкания в расчётной точке К2 представлена на рисунке 4» [17].



«Рисунок 4 – Схема замещения, преобразованная для расчёта токов КЗ в расчётной точке К2»

«Результирующее сопротивление к точке К2 в именованных расчётных единицах» [10]:

$$X_{\kappa 2} = X_c + X_l + X_{т.вн} + X_{т.нн}, \quad (25)$$

$$X_{\kappa 2} = 0,05 + 0,005 + 0,009 + 0,18 = 0,244 \text{ Ом.}$$

«Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания в расчётной точке К2, при приведении к базисным условиям, в именованных единицах, определяется с учётом того, что точка К2 в схеме замещения находится не на основной ступени, следовательно, полученный в работе результат необходимо умножить на коэффициент трансформации трансформатора ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот»» [9] представлены в таблице 5:

$$I''_{к2} = \frac{E}{X_{к2}} \cdot I_{б2} \cdot K_m, \quad (26)$$

$$I''_{к2} = \frac{1}{0,244} \cdot 0,1 \cdot \frac{36,75}{10,5} \approx 1,43 \text{ кА}.$$

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

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot \kappa_{уд} \cdot I''_K, \text{ кА}, \quad (27)$$

«Где $\kappa_{уд}$ – ударный коэффициент» [12].

«По условию (27)» [10]:

– «в точке К1» [10]:

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 1,6 \cdot 0,55 = 1,24 \text{ кА}.$$

– «в точке К2» [10]:

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 1,43 = 2,83 \text{ кА}.$$

Таблица 5 – «Результаты расчёта токов короткого замыкания, а также величины ударных токов, на» [10] шинах 35 кВ и 10 кВ в максимальном режиме работы ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот»

Параметр	Единица измерения	Расчётная точка КЗ	
		Точка К1 (35 кВ)	Точка К2 (10 кВ)
I_k	кА	0,55	1,43
$i_{уд}$	кА	1,24	2,83

«Все полученные в работе результаты расчёта токов короткого замыкания, а также величины ударных токов, на» [10] шинах 35 кВ и 10 кВ в максимальном режиме работы ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот».

2.5 Выбор и проверка электрических аппаратов

Одним из этапов предложенных мероприятий по реконструкции рассматриваемого в работе ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот», является модернизация оборудования на данном объекте. Необходимо установить новое, современное оборудование, которое характеризуется повышенной надёжностью, экономичностью, коммутационным ресурсом и прочими необходимыми качествами, которые должны быть присущи современным электрическим аппаратам (таблица 6).

Кроме того, также в работе дополнительно целесообразно выбрать и проверить новое оборудование для установки в ОРУ-35 кВ подстанции. Таким образом, в работе будет внедрён полный комплекс по модернизации оборудования всей рассматриваемой в работе подстанции.

Таблица 6 – Предварительный выбор электрических аппаратов

Тип аппарата	Марка аппарата	Завод-изготовитель
ОРУ-35 кВ		
Выключатель высокого напряжения	ВР35НС-35-20/1600	ООО «НТЭАЗ Электрик»
Разъединитель	РГП.1А-III-35/1000 УХЛ1	ООО «НТЭАЗ Электрик»
РУ-10 кВ		
Выключатель высокого напряжения	ВРС-10	ООО «НТЭАЗ Электрик»
Разъединитель	РВ-10/630УХЛ2	ООО «НТЭАЗ Электрик»

«Далее на основании расчётов необходимо выбрать и проверить предварительно выбранное новое оборудование для установки на ТП-35/10 кВ» [8] ПАО «Тольяттиазот», рекомендованное к установке в результате модернизации подстанции.

Для защиты и коммутации оборудования в ПАО «Тольяттиазот» устанавливаются высоковольтные выключатели. Известно, что выключатели высокого напряжения – это основные аппараты для защиты и коммутации электрической сети и единственные аппараты на подстанции, которыми можно отключать сеть под нагрузкой, а также они отключают сеть при

возникновении ненормальных режимов (в частности, токов КЗ). Поэтому к выключателям предъявляются повышенные требования по коммутационной способности, а также по стойкости.

«Выбор выключателей по номинальному напряжению» [8]:

$$U_{уст} \leq U_n. \quad (28)$$

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

$$I_{раб.макс} \leq I_n. \quad (29)$$

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

$$I_{пт} \leq I_{откн}. \quad (30)$$

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

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

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

$$(\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{откн.н} (1 + \beta_n), \quad (31)$$

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

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

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

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

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}, \quad (32)$$

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

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

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

$$i_y \leq i_{нр.с}, \quad (33)$$

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

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

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

$$B_k \leq I_T^2 t_T, \quad (34)$$

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

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

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

«Тепловой импульс» [18]:

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a). \quad (35)$$

По приведённым выше условиям, с учётом рассчитанных параметров электрической сети 35 кВ и 10 кВ, далее в работе необходимо осуществить выбор выключателей высокого напряжения и разъединителей для их

установки в соответствующих распределительных устройствах на модернизируемой ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот».

Результаты выбора новых выключателей высокого напряжения современного типа для установки в ОРУ-35 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» в результате внедрения мероприятий по модернизации оборудования, представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты выбора новых выключателей высокого напряжения для установки в ОРУ-35 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» в результате внедрения мероприятий по модернизации оборудования подстанции

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Выключатели ВР35НСМ-20/1600 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 41,6 \text{ А.}$	$I_{ном} = 1600 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 0,55 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 1,24 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 52 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 0,55^2 \cdot 3 = 0,91 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$

Все выбранные выключатели ОРУ-35 кВ удовлетворяют требуемым условиям. Аналогично выбраны выключатели для установки в ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» в результате внедрения мероприятий по модернизации оборудования подстанции (таблица 8).

Таблица 8 – Результаты выбора выключателей высокого напряжения для установки в ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» в результате внедрения мероприятий по модернизации оборудования подстанции

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Выключатели вакуумные ВРС-10-20/1000 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 145,7 \text{ А.}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 1,43 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 2,83 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 31,5 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,43^2 \cdot 3 = 6,13 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$

Все выбранные новые выключатели РУ 10 кВ удовлетворяют требуемым условиям.

Далее проводится выбор новых разъединителей для установки в РУ 35 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот».

Разъединитель – это аппарат высокого напряжения, служащий для обеспечения видимого разрыва с целью безопасного проведения работ в электроустановках. В работе для установки в РУ 35 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» выбирается новый разъединитель марки РГП.1А-III-35/1000 УХЛ1 (завод-изготовитель – ООО «НТЭАЗ Электрик»).

Так как разъединители не отключают цепь под нагрузкой, они, в отличие от выключателей высокого напряжения, не проверяются на коммутационную способность при отключении токов КЗ согласно [12]. Проверка разъединителей осуществляется по динамической и термической устойчивости к токам КЗ и ударным токам.

Результаты выбора и проверки разъединителей для установки в РУ 35 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот», представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты выбора разъединителей для установки в ОРУ-35 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» в результате внедрения комплексных мероприятий по модернизации оборудования подстанции

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Разъединители РГП.1А-III-35/1000 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 41,6 \text{ А.}$	$I_{ном} = 1600 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_{дин.} = 31,5 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$B_K = 31,5^2 \cdot 3 =$ $= 2977 \text{ кА}^2\text{с.}$

Окончательно для установки в РУ 35 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» выбираются новые разъединители марки РГП.1А-III-35/1000 УХЛ1, удовлетворяющие всем требованиям выбора и проверок.

Аналогично выбраны разъединители для установки в РУ-10 кВ подстанции.

«Результаты выбора и проверки разъединителей для установки в РУ 10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот», представлены в таблице 10» [8].

Таблица 10 – Результаты выбора разъединителей для установки в ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» в результате внедрения мероприятий по модернизации оборудования подстанции

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Разъединители РВ-10/630УХЛ2	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 145,7 \text{ А.}$	$I_{ном} = 630 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 2,83 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 31,5 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,43^2 \cdot 3 = 6,13 \text{ кА}^2 \text{ с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \text{ с.}$

Окончательно для установки в РУ 10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» выбираются новые разъединители марки РВ-10/630УХЛ2, удовлетворяющие всем требованиям выбора и проверок.

Ограничители перенапряжения (далее – ОПН), устанавливаются в наружных системах (на воздушных линиях – защита от атмосферных перенапряжений), а также в ячейках современных распределительных устройств напряжением 6(10)-35 кВ с воздушными, кабельными и шинными вводами (для защиты от внутренних перенапряжений).

«ОПН выбирают по номинальному напряжению сети» [9], в которую они устанавливаются, а также по максимальному рабочему току и соответствию термической и динамической стойкости [9].

Для установки в ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» выбираются ограничители перенапряжения следующих типов и марок:

- для установки в ОРУ 35 кВ – ОПН типа ОПН-П-35/40,5/10/680-П УХЛ1 (завод-изготовитель – НИИ «Защитных аппаратов и изоляторов»);

– для установки в ЗРУ 10 кВ – ОПН типа ОПН-П1-10/12/102УХЛ (завод-изготовитель – НИИ «Защитных аппаратов и изоляторов»).

Следовательно, сделан вывод, что их можно использовать для установки в ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» для защиты и коммутации электрических сетей и потребителей.

Таким образом, в работе приняты современные технические решения по выбору и проверке электрооборудования подстанции ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот», включающие применение нового современного оборудования, которое характеризуется высокими техническими и экономическими характеристиками.

Все выбранные и проверенные новые электрические аппараты напряжением 35 кВ и 10 кВ для установки на ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» в результате внедрения практических мероприятий по её комплексной модернизации и реконструкции, показаны в графической части работы.

Выводы по разделу.

В работе, для подтверждения работоспособности схемы электрических соединений ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот», обусловленная реконструкцией схемы ЗРУ-35 кВ и вводом в эксплуатацию второго силового трансформатора, проведено техническое обоснование принятых решений по реконструкции схемы электрических соединений и модернизации оборудования ЗРУ-10 кВ данной подстанции.

Выбраны и проверены электрические аппараты, а также проводники ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот».

Принятые в работе технические решения подтверждены расчётно-аналитическим путём и могут быть рекомендованы к применению.

3 Выбор устройств релейной защиты и автоматики ЗРУ-10 кВ химического предприятия

Далее в работе проводится выбор устройств релейной защиты и автоматики (далее – РЗА) для применения в ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот».

Выбор устройств релейной защиты и автоматики для применения в ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ химического предприятия зависит от ряда факторов, таких как конкретные условия эксплуатации, требования к надежности, безопасности и эффективности работы системы, а также стандарты и нормативы, регулирующие деятельность в данной отрасли [13].

Однако, общепринятой практикой при выборе устройств релейной защиты и автоматики для применения в ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ является следующее:

- выбор релейной защиты, обеспечивающей необходимый уровень защиты от различных видов электрических аварий, включая короткое замыкание, перегрузки, обрывы фаз, и прочие ненормальные режимы. В зависимости от требований к надежности и быстродействию, могут применяться различные типы релейной защиты, такие как электромеханическая, электронная, микропроцессорная и прочие;
- выбор автоматики, обеспечивающей автоматическое управление и контроль параметров работы ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ, такие как напряжение, ток, мощность и прочие. В зависимости от конкретных условий эксплуатации и требований к системе, могут применяться различные типы автоматики, такие как автоматическое включение резерва, автоматическая частотная разгрузка, автоматическое повторное включение.

Важно учитывать, что выбор устройств релейной защиты и автоматики должен осуществляться комплексно, с учетом всех аспектов работы системы и требований к ее надежности, безопасности и эффективности. Также

необходимо соблюдать все требования и стандарты в области электроэнергетики [8].

Для применения в ЗРУ-10 кВ выбирается микропроцессорная защита с использованием блока Seram 1000+S40 [12].

«Внешний вид и основной функционал микропроцессорной защиты с использованием блока Seram 1000+S40 представлены на рисунке 5» [13].



Рисунок 5 – Внешний вид и основной функционал микропроцессорной защиты с использованием блока Seram 1000+S40

Микропроцессорная защита с использованием блока Seram 1000+S40 является высокотехнологичным и надежным решением для обеспечения защиты и контроля параметров работы электроэнергетических систем [12].

Seram 1000+S40 – это блок микропроцессорной защиты, который предназначен для защиты и автоматизации высоковольтных и низковольтных электроустановок.

Он имеет высокую точность и быстродействие, обеспечивает защиту от различных видов аварий, таких как короткое замыкание, перегрузка, обрыв фазы и прочие аналогичные виды защит.

Основные преимущества микропроцессорной защиты Seram 1000+S40:

- высокая точность и быстродействие;
- обеспечение защиты от различных видов аварий;

- возможность удаленного мониторинга и управления;
- гибкость и удобство настройки;
- легкая интеграция с другими системами управления и контроля.

Seram 1000+S40 поддерживает различные современные протоколы связи, включая Modbus, IEC 60870-5-103, DNP 3.0, что обеспечивает возможность интеграции с другими системами управления и контроля.

Также, блок микропроцессорной защиты Seram 1000+S40 имеет возможность удаленного мониторинга и управления, что позволяет оперативно реагировать на возможные аварии и проблемы в работе системы.

В целом, использование микропроцессорной защиты Seram 1000+S40 позволяет обеспечить надежную защиту и контроль параметров работы электроэнергетических систем, снизить вероятность аварий и улучшить эффективность работы системы.

Схемы релейной защиты вводных, секционного и линейных выключателей, установленных в ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот», выполненные с использованием микропроцессорной защиты Seram 1000+S40, представлены в графической части работы.

Выводы по разделу.

На основании требований к релейной защите и автоматике распределительных устройств, для применения в ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот», выбрана микропроцессорная защита Seram 1000+S40, что позволяет обеспечить надежную защиту и контроль параметров работы системы, снизить вероятность аварий и улучшить эффективность работы РЗА.

4 Выбор системы учёта и контроля электроэнергии ЗРУ-10 кВ химического предприятия

Далее в работе проводится выбор системы учёта и контроля электроэнергии в ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот».

Известно, что выбор системы учета и контроля электроэнергии для ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ химического предприятия зависит от ряда факторов, таких как требования к точности измерения, возможности управления и контроля, функциональности, надежности и безопасности системы, а также финансовых возможностей предприятия [9].

Одним из распространенных решений является использование автоматической системы учета электроэнергии (АСУЭ), которая обеспечивает точный и надежный учет электроэнергии, а также возможность контроля и управления потреблением электроэнергии [25].

Преимущества использования АСУЭ для ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ химического предприятия включают [21]:

- точный учет потребления электроэнергии;
- возможность контроля и управления потреблением электроэнергии;
- оптимизация затрат на энергопотребление электрической энергии;
- увеличение эффективности работы электроэнергетической системы;
- уменьшение вероятности ошибок и потерь электроэнергии;
- возможность интеграции с другими аналогичными системами управления и контроля.

В зависимости от конкретных условий и требований к системе учета и контроля электроэнергии, могут применяться различные типы АСУЭ, такие как системы с использованием счетчиков электроэнергии, системы на основе многотарифных счетчиков, системы с использованием средств передачи данных и прочие аналогичные системы [20].

На основе требований к системам учёта и контроля электроэнергии, в работе для решения целевой задачи в ЗРУ-10 кВ принята автоматизированная

система технического учёта электроэнергии (далее – АСТУЭ), выполненная с применением современного микропроцессорного счётчика отечественного производства марки «Меркурий 234 ARTM F04 Лартех». Это – усовершенствованные счётчики современного типа, разработанные в результате модернизации счётчиков марки «Меркурий 234» [16].

Конструктивное выполнение и основной функционал современного микропроцессорного счётчика отечественного производства марки «Меркурий 234 ARTM F04 Лартех» показаны на рисунке 6.



Рисунок 6 – Конструктивное выполнение и основной функционал современного микропроцессорного счётчика отечественного производства марки «Меркурий 234 ARTM F04 Лартех»

Система АСТУЭ со счетчиками «Меркурий 234 ARTM F04 Лартех» является одним из распространенных решений для учета и контроля

потребления электроэнергии на объектах различного назначения, включая электроэнергетические системы ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ химического предприятия.

Счетчики «Меркурий 234 ARTM F04 Лартех» – это электронные счетчики электроэнергии, которые обеспечивают точный и надежный учет электроэнергии. Они имеют высокую точность измерения и обладают широким диапазоном измерения параметров, таких как напряжение, ток, мощность, частота.

Система АСТУЭ со счетчиками «Меркурий 234 ARTM F04 Лартех» позволяет проводить автоматический учет потребления электроэнергии, а также осуществлять контроль и управление потреблением.

Такая система обеспечивает возможность мониторинга и анализа потребления электроэнергии по времени суток, дням недели, месяцам и годам, что позволяет оптимизировать затраты на энергопотребление.

Преимущества системы АСТУЭ со счетчиками «Меркурий 234 ARTM F04 Лартех»:

- точный учет потребления электроэнергии;
- возможность контроля и управления потреблением электроэнергии;
- оптимизация затрат на энергопотребление;
- увеличение эффективности работы электроэнергетической системы;
- уменьшение вероятности ошибок и потерь электроэнергии;
- возможность интеграции с другими системами управления и контроля.

Таким образом, выбор АСТУЭ для решения данной целевой задачи, является обоснованным.

Выводы по разделу.

На основе анализа современных систем контроля и учёта электроэнергии, для учёта и контроля электроэнергии в ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ, выбрана АСТУЭ со счетчиками «Меркурий 234 ARTM F04 Лартех».

Заключение

В результате выполнения работы, проведена реконструкция электрической части реконструкция схемы электрических соединений с внедрением мероприятий по модернизации основного оборудования закрытого распределительного устройства напряжением 10 кВ (далее – ЗРУ-10 кВ) на примере химического предприятия ПАО «Тольяттиазот».

В результате проведения анализа оборудования электрической части ЗРУ-10 кВ ПАО «Тольяттиазот» было установлено, что на объекте используются следующие устаревшие электрические аппараты, которые выработали свой ресурс. Данные аппараты рекомендовано заменить на новые современные типы, лишённые недостатков устаревшего оборудования. Кроме того, также в работе дополнительно целесообразно выбрать и проверить новое оборудование для установки в ОРУ-35 кВ подстанции. Таким образом, в работе будет внедрён полный комплекс по модернизации оборудования всей рассматриваемой в работе подстанции.

Рассмотрены требования основных документов, предъявляемых к распределительным устройствам трансформаторных подстанций энергосистемы и промышленных предприятий. На основе анализа исходных данных и требований к распределительным устройствам подстанций, установлено, что реконструкцию ЗРУ-10 кВ необходимо рассматривать в комплексе с ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот», в который входит ЗРУ-10 кВ.

После проведения анализа, предложены следующие рекомендации по непосредственной реконструкции электрической части ЗРУ-10 кВ понизительной подстанции ПАО «Тольяттиазот» класса напряжения 35/10 кВ, с учётом комплексной реконструкции схемы соединений данной подстанции:

- в связи с «реконструкцией схемы электрических соединений подстанции на стороне 35 кВ, предусматривающей установку второго трансформатора на подстанции, в связи с изменением категорийности новых потребителей, примерно 60% которых относится к I и II

категории надёжности, необходим второй источник питания в виде силового трансформатора. В виду этого, необходима также реконструкция схемы электрических соединений ЗРУ-10 кВ, обусловленных данным фактом» [4] (первый аспект необходимости проведения реконструкции ЗРУ-10 кВ);

- вторым аспектом требуемой реконструкции схемы ЗРУ-10 кВ является тот факт, что к ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» планируется подключить дополнительно три отходящих линии к потребителям 10 кВ (перспективная нагрузка). Следовательно, расширение ЗРУ-10 кВ также обуславливает необходимость его реконструкции.

В рамках предварительно принятых решений, «на ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» внедрены мероприятия по комплексной модернизации оборудования подстанции» [8]:

- «выбрано и проверено новое оборудование для установки в ОРУ-35 кВ подстанции, а именно: выключатели высокого напряжения марки ВР35НСМ и разъединители марки РГП.1А-III-35/1000 УХЛ1» [8];
- «выбрано и проверено новое оборудование для установки в ЗРУ-10 кВ подстанции: выключатели высокого напряжения марки ВРС-10 и разъединители марки РВ-10/630УХЛ2» [8].

«Также в работе, на основе расчёта электрических нагрузок установлено, что в результате проведённой реконструкции на ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот», необходимо установить два силовых трансформатора марки ТМН-1800/35, которые выдержат систематическую нагрузку нормального режима, а также перегрузку в послеаварийном режимах работы» [18].

«Выбраны и проверены сечения воздушных линий электропередачи на ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот», включая питающую линию 35 кВ (принято сечение провода марки АС-50/8) и отходящие линии 10 кВ» [8] (на всех линиях принято сечение провода марки АС-35/6,2).

На основании требований к релейной защите и автоматике распределительных устройств, для применения в ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот», выбрана микропроцессорная защита Seram 1000+S40, что позволяет обеспечить надежную защиту и контроль параметров работы системы, снизить вероятность аварий и улучшить эффективность работы РЗА.

На основе анализа современных систем контроля и учёта электроэнергии, для учёта и контроля электроэнергии в ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ, выбрана АСТУЭ со счетчиками «Меркурий 234 ARTM F04 Лартех».

Таким образом, в работе расчётно-аналитическим «путём показано, что внедрённые практические мероприятия по реконструкции ЗРУ-10 кВ ТП-35/10 кВ ПАО «Тольяттиазот» позволят значительно повысить надёжность схемы электрических соединений подстанции и потребителей в целом» [6].

Принятые в работе технические решения подтверждены расчётно-аналитическим путём и могут быть рекомендованы к применению.

Список используемых источников

1. 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: 29.04.2023).
2. 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: 29.04.2023).
3. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 343 с.
4. Климова Г.Н. Электроэнергетические системы и сети. Энергосбережение. Учебное пособие для прикладного бакалавриата. М.: Юрайт, 2019. 180 с.
5. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для ВУЗов. 5-е издание, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2018. 608 с.
6. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование: Учебное пособие. СПб.: Лань, 2018. 316 с.
7. ПАО «Тольяттиазот» [Электронный ресурс]: URL: <https://www.toaz.ru/> (дата обращения: 29.04.2023).
8. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2019. 174 с.
9. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. М.: ЗАО «Энергосервис», 2019. 324 с.
10. Правила устройства электроустановок. Издание 7 [Электронный

ресурс]: URL: <https://www.elec.ru/library/direction/pue.html> (дата обращения: 29.04.2023).

11. Релейная защита SEPAM [Электронный ресурс]: URL: https://msavtomatika.com.ua/raspredelenie_ehlektronehnergii/relejnaja_zashhita_sepam (дата обращения: 29.04.2023).

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

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

14. СТО 56947007- 29.240.30.047-2010. «Рекомендации по применению типовых принципиальных электрических схем распределительных устройств подстанций 35 - 750 кВ». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.twirpx.com/file/2616342/> (дата обращения: 29.04.2023).

15. СТО 56947007-29.240.30.010-2008. «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.twirpx.com/file/24666/> (дата обращения: 29.04.2023).

16. Счётчик Меркурий 234 ARTM F04 Лартех [Электронный ресурс]: URL: https://yaenergetik.ru/devices/mercury_234_artm_f04_lartech/ (дата обращения: 29.04.2023).

17. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 № 35-ФЗ об энергосбережении [Электронный ресурс]: URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/ (дата обращения: 29.04.2023).

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

19. Эксплуатация распределительных устройств. Главные схемы распределительных устройств. [Электронный ресурс]: URL: <https://forca.ru/knigi/oborudovanie/ekspluataciya-raspredelitelnyh-ustroystv->

2.html (дата обращения: 29.04.2023).

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

21. Chen C.S. Development of distribution feeder loss models by artificial neural networks. IEEE Transactions on Power Systems, 2018. Vol. 19, 4. P. 1056–1062.

22. Kang Meei – Song. A Systematic Loss Analysis of Taipower Distribution System. IEEE Transactions on Power Systems. 2018. vol. 21, 3. P. 1062–1068.

23. Van Meetern H. P. Short – term load prediction with a combination of different models. IEEE Conf. Proc: Power Ind. Comput. Appl. Conf. PICA-19, Cleveland, Ohio. 2019. P. 192 – 197.

24. Zadeh L.A. Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. 2020. Vol. SMC 3. P. 28 – 44.

25. Zadeh L.A. The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning, Part 1, 2, 3. Information Sciences. 2019. Vol. 9. P. 43 – 80.