

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 Электроснабжение цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот»

Обучающийся

А. А. Назимкин

(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 результате работы осуществлено внесение изменений в схему главных электрических соединений нормального режима участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», что обусловлено вводом в эксплуатацию нового оборудования на объекте, а также необходимости в модернизации электрических аппаратов и сетей.

«На основе проведённого анализа схемы электрических соединений и характеристик» [8] участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», осуществлено внедрение выбранных и обоснованных предложений по внесению соответствующих изменений в схему данного объекта с учётом принятых мероприятий по модернизации электрооборудования.

Рассчитаны электрические нагрузки, токи трёхфазного короткого замыкания, на основании чего выбраны и проверены сечения проводников, а также новые защитные аппараты и устройства релейной защиты и автоматики на объекте.

Результатом «работы является разработка, проверка и реализация технических решений, позволяющих внедрить качественные мероприятия по разработке схемы главных электрических соединений» [8] нормального режима объекта путём выбора более надёжной и совершенной схемы, с учётом модернизации основного электрооборудования в схеме электрических соединений участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот».

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных по системе электроснабжения объекта.....	6
1.1 Краткая характеристика предприятия	6
1.2 Характеристика системы электроснабжения цеха	9
1.3 Постановка основной цели и задач на выполнение работы	16
2 Практическое внедрение мероприятий по проектированию системы электроснабжения цеха.....	22
2.1 Определение расчётных электрических нагрузок	22
2.2 Проверка силовых трансформаторов на питающей подстанции участка цеха на допустимую перегрузку.....	27
2.3 Выбор и проверка проводников	30
2.4 Расчёт токов короткого замыкания	36
2.5 Выбор и проверка электрических аппаратов	43
3 Выбор устройств и уставок релейной защиты системы электроснабжения	53
3.1 Выбор блоков релейной защиты и автоматики	53
3.2 Выбор уставок релейной защиты и автоматики	57
Заключение	59
Список используемых источников.....	62

Введение

Химическая промышленность России имеет большой потенциал для развития в будущем.

Некоторые из перспективных направлений развития включают развитие российского рынка.

Россия имеет потенциал для расширения экспорта продуктов на мировой рынок. Для этого необходимо потребление качественной продукции, повышение производительности и потока логистических процессов.

Однако для реализации этой задачи необходимо провести технологический уровень и инфраструктуру, а также улучшить бизнес-климат в стране, чтобы начать инвестиции и развивать сотрудничество с зарубежными предприятиями.

Установлено, что применение современных электрических аппаратов и проводников в системах электроснабжения промышленных предприятий всех типов, создаёт необходимые условия для обеспечения нормальной и надёжной работоспособности не только данной системы, но и всей электрической сети и, как результат, - всей энергосистемы в целом.

Поэтому реконструкция и модернизация схем электрических соединений нормального режима с учётом модернизации основного оборудования современных технологических механизмов производства, является актуальным заданием современной электроэнергетики.

Указанные аспекты формируют актуальность данной темы.

Основной целью данной работы является разработка проекта путём внесения изменений в схему главных электрических соединений нормального режима на участке цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», что обусловлено вводом в эксплуатацию нового оборудования на объекте, а также необходимости в модернизации электрических аппаратов и сетей.

ПАО «КуйбышевАзот» является основным производителем сульфата аммония в России. Цех сульфата аммония на заводе имеет большое значение

и увеличивает до 750 тыс. тонн сульфата аммония в год [8]. Сульфат аммония – это удобрение, широко используемое в сельском хозяйстве для получения урожая и качества сельскохозяйственных культур. Кроме того, сульфат аммония может использоваться в качестве промышленного сырья для производства других пищевых продуктов.

Продукция цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» включает в себя как гранулированный, так и кристаллический сульфат аммония различных марок. Эти продукты имеют широкий спектр применения в сельском хозяйстве и других отраслях экономики. Кроме того, ПАО «КуйбышевАзот» имеет высокий уровень экологической безопасности производства, что позволяет снизить вредное воздействие на окружающую среду и, как следствие, безопасность для здоровья людей.

Объектом исследования в работе является система электроснабжения участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», находящаяся на балансе данной организации. Предметом исследования являются схема электрических соединений нормального режима на объекте исследования, а также основное электрооборудование и электрические сети участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот».

Для достижения поставленной цели, в работе проводится расчёт электрических нагрузок, токов трёхфазного короткого замыкания, на основании чего выбраны и проверены силовые трансформаторы, установленные на питающей подстанции объекта исследования, сечения проводников, а также новые защитные аппараты и «устройства релейной защиты и автоматики на» [15] объекте. Результатом «работы является разработка, проверка и реализация технических решений, позволяющих внедрить качественные мероприятия по разработке схемы главных электрических соединений» [7] нормального режима объекта путём выбора более надёжной и совершенной схемы, с учётом модернизации основного электрооборудования в схеме электрических соединений участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот».

1 Анализ исходных данных по системе электроснабжения объекта

1.1 Краткая характеристика предприятия

Рассматриваемое в работе предприятие «ПАО «КуйбышевАзот»» территориально расположено в РФ, Самарская обл., г. Тольятти, ул. Новозаводская, дом № 6, корпус 706 [7].

Предприятие производит широкий спектр продукции химической промышленности, начиная от простых элементов и их соединений (аммиак, кислород и прочие газы) до высокопрочных синтетических тканей и удобрений.

Сегодня ПАО «КуйбышевАзот» является одним из крупнейших поставщиков удобрений и аналогичной продукции на мировые рынки.

Полный список выпускаемой продукции ПАО «КуйбышевАзот» представлен на рисунке 1.

Аммиак и Азотные удобрения	Капролактамы и Полиамид-6	Циклогексанон технический
Аммиак безводный сжиженный	Капролактамы	Циклогексан технический
Аммиачная селитра	Полиамид-6	Масло ПОД очищенное
Карбамид	Инженерные пластики	Щелочной сток производства капролактама
Сульфат аммония кристаллический и гранулированный	Полиамид-6 вторичный	Растворитель СФПК
КАС (удобрения жидкие азотные)	Полиамидные нити и ткани, шинный корд	Сода кальцинированная
Селитра аммиачная серосодержащая (двухкомпонентное удобрение N+S)	Технические высокопрочные нити	Сырьё полимерное
Удобрение азотное жидкое (N:S)	Текстильные нити	Гептановая фракция
Раствор питательный серосодержащий	Ткань кордная капроновая пропитанная	Промышленные газы
Аммиак водный (Аммиачная вода)	Ткань кордная анидная пропитанная	Аргон жидкий
	Полиамидные и смесовые ткани	Аргон газообразный
	Промышленная химия	Азот и кислород
		Двуокись углерода пищевая

Рисунок 1 – Полный список продукции предприятия ПАО «КуйбышевАзот»

ПАО «КуйбышевАзот» является основным производителем сульфата аммония в России. Цех сульфата аммония на заводе имеет большое значение и увеличивает до 750 тыс. тонн сульфата аммония в год [8].

Сульфат аммония – это удобрение, широко используемое в сельском хозяйстве для получения урожая и качества сельскохозяйственных культур.

Кроме того, сульфат аммония может использоваться в качестве промышленного сырья для производства других пищевых продуктов, например, кислоты, нитраты и фосфаты.

«Активная инвестиционная политика обеспечивает «КуйбышевАзоту» быстрый и эффективный рост и устойчивое развитие» [7].

Кроме того, дополнительные виды деятельности ПАО «КуйбышевАзот» включают [7]:

- строительно – монтажные работы различной степени сложности, включая строительство жилого и нежилого фонда на территории населённых пунктов и вне их, а также чистовую отделку и непосредственную сдачу в эксплуатацию объектов строительства;
- транспортные и пассажирские перевозки автомобильным и железнодорожным транспортом;
- электромонтажные работы различной степени сложности;
- ремонт и обслуживание электрооборудования и сетей высоких, сверхвысоких и низких напряжений;
- плановые и внеплановые испытание электрооборудования, включая приёмо – сдаточные испытания;
- очистка сточных вод;
- краткосрочное и долгосрочное хранение и сопровождение грузов;
- услуги по проживанию в гостинице ПАО «КуйбышевАзот»;
- разработка и реализация проектов по строительству, электроэнергетике, промышленности, охраны труда и прочих;
- проведение научных исследований и разработок;

- предоставление образовательных и консультативных профессиональных услуг.

В состав ПАО «КуйбышевАзот» входит ремонтно-производственная база (РПБ) [7]. Также на территории предприятия есть ещё несколько крупных, мелких и средних ремонтно-производственных баз, однако все они входят в структуру РПБ. Ремонтно-производственная база ПАО «КуйбышевАзот» осуществляет следующие виды деятельности и оказывает комплекс услуг [7]:

- ремонт кабельных и воздушных линий электропередач,
- ремонт зданий и сооружений трансформаторных подстанций и распределительных пунктов,
- ремонт и обслуживание машин и оборудования, реализация запчастей к указанной технике,
- строительно – монтажные работы и т.д.

Структура корпоративного управления ПАО «КуйбышевАзот» представлена на рисунке 2 [7].

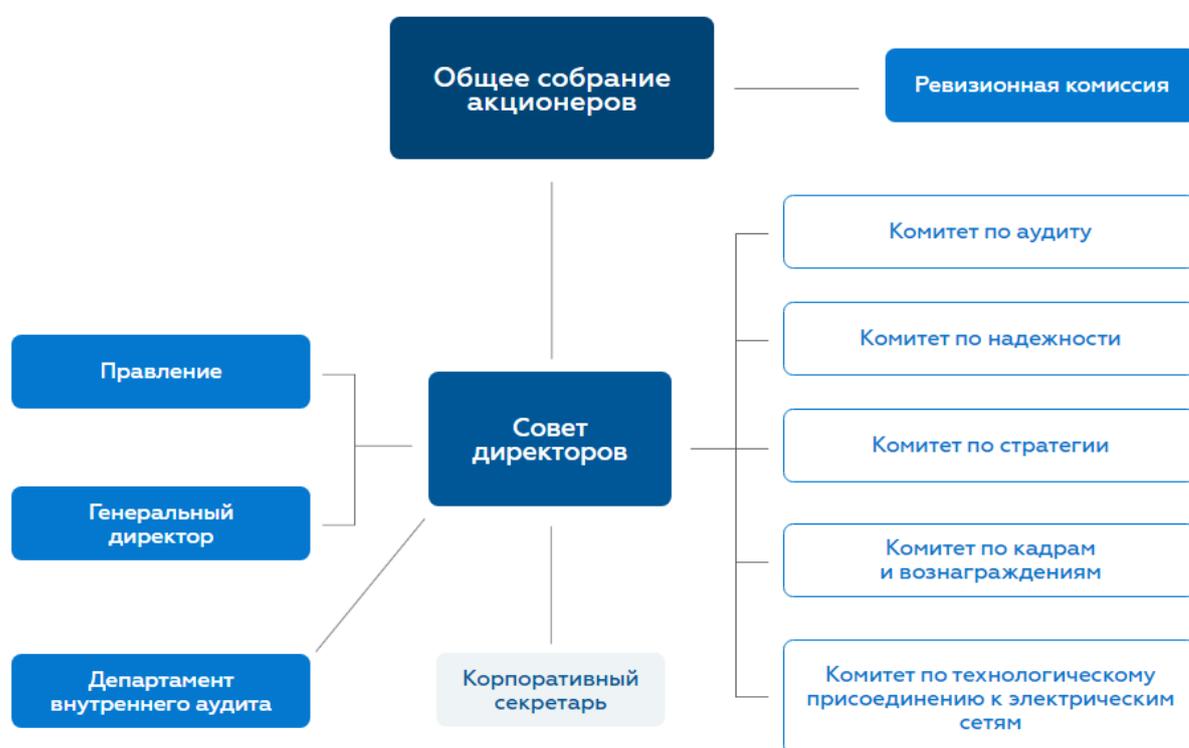


Рисунок 2 – Структура корпоративного управления ПАО «КуйбышевАзот»

ПАО «КуйбышевАзот» добилось значительных успехов в своей деятельности, зарекомендовав себя с положительной стороны среди партнёров.

Компания также активно развивает свою производственную мощность, модернизирует оборудование и внедряет новые технологии производства, что позволяет повысить эффективность производства и качество продукции. Также компания активно потребляет энергию энергоэффективности и экологической безопасности, сокращая расходы на энергоресурсы и уменьшая вредные выбросы в окружающую среду. Компания имеет широкий рынок сбыта своей продукции как в России, так и за ее пределами.

Сульфат аммония и другие продукты ПАО «КуйбышевАзот» экспортируются в различные страны, включая страны Европы, Азии и Америки. Компания активно развивает свою производственную мощность и внедряет новые технологии, которые позволяют достичь максимальной производительности на рынке. В работе рассматривается один из наиболее важных производственных объектов ПАО «КуйбышевАзот» - участка цеха сульфата аммония, который на сегодняшний день является технологически важнейшим подразделением данного предприятия.

1.2 Характеристика системы электроснабжения цеха

На первом этапе, в работе необходимо провести аналитический обзор исходной характеристики схемы электрических соединений и оборудования участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот».

Согласно техническим данным, цех сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» (цех №25), является крупным энергоёмким подразделением предприятия и по категории надёжности относится к производственной группе I категории надёжности.

Структурная схема питающей сети системы электроснабжения цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» представлена на рисунке 3.

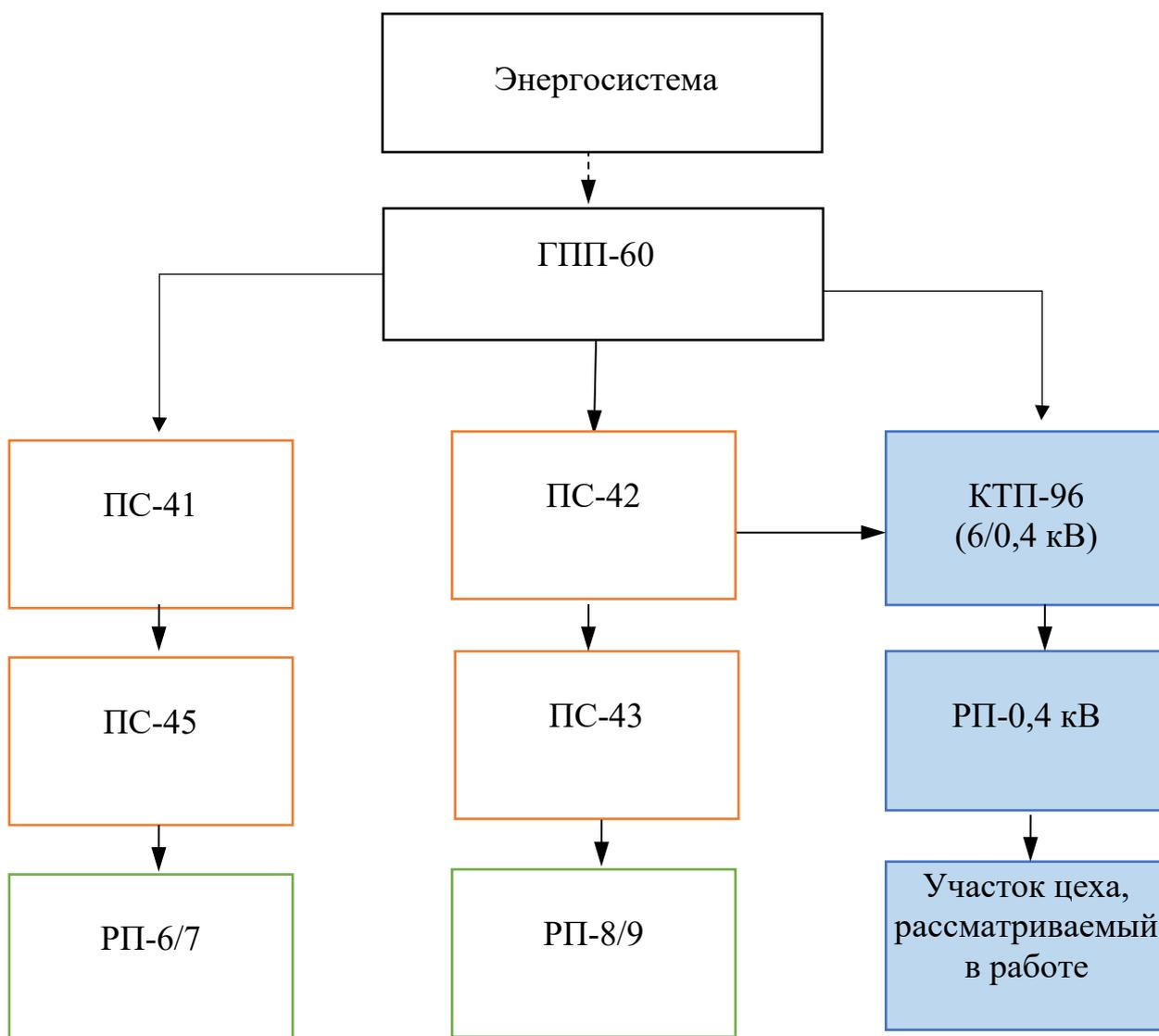


Рисунок 3 – Структурная схема питающей сети системы электроснабжения цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот»

Исходя из структурной схемы питающей сети системы электроснабжения цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», можно сделать вывод, что данный цех является энергоёмким и имеет значительное число питающих звеньев:

- первое звено – понизительная ГПП-60;
- второе звено – понизительные подстанции питающей сети: ПС-41, ПС-42, ПС-43, ПС-45;
- третье звено – распределительные пункты РП-6/7 и РП-8/9;
- четвёртое звено – КТП-96 (показано вместе с питающим РП-0,4 кВ).

В виду того, что данная схема системы электроснабжения цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» является громоздкой и объективно не сможет быть представлена на листах формата А1, в работе детально рассматривается участок данного цеха, получающий питание от четвертого звена – КТП-96 (на рисунке 3 показана в квадратах с голубой заливкой).

Кроме того, по данному участку цеха системы электроснабжения цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» собрана детальная информация в результате прохождения практики на данном предприятии.

Далее в работе рассматривается и характеризуется схема электроснабжения данного участка цеха системы электроснабжения цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот».

Питание рассматриваемого в работе участка цеха системы электроснабжения цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» осуществляется от комплектной трансформаторной подстанции (далее в работе – КТП), абонентский номер – «КТП-96», классы напряжения – 6/0,4 кВ.

Данная КТП-96 расположена в помещении участка данного цеха.

Она является одной из потребительских подстанций участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», обеспечивая электроснабжение для исключительно данной организации.

Питающая «подстанция КТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», является двухтрансформаторной комплектной подстанцией тупикового типа наружной установки с кабельными вводами, а также с резервированием на сторонах 6 кВ (ВН) и 0,4 кВ (НН)» [2].

Питание данной подстанции 6/0,4 кВ осуществляется двумя линиями электропередачи с применением силового кабеля марки АСБл-10 (3×120), по радиальной схеме электроснабжения (без наличия любых ответвлений к другим потребителям).

Распределительное устройство 6 кВ питающей КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», представляет собой

закрытое распределительное устройство, выполненное в виде двухэтажного здания. Оно было введено в эксплуатацию в 1978 году.

Из основного оборудования, в РУ-6 кВ питающей КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», установлены устаревшие и технически изношенные ячейки одностороннего обслуживания типа КСО-366.

В этих ячейках находятся выключатели высокого напряжения марки ВМГ-133, а также разъединители РВ-6, которые были установлены в ячейках вместе с их вводом в эксплуатацию (1978 год).

Эти аппараты устарели, также устарели и износились ячейки РУ-6 кВ, поэтому в работе предлагается их заменить на новое оборудование, которое необходимо обосновать и подтвердить на основе технических расчётов.

Замена устаревшего оборудования и ячеек РУ-6 кВ КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» рассматривается в работе далее детально.

Следующим основным элементом на КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», являются силовые трансформаторы, понижающие напряжение с 6 кВ до 0,4 кВ, на котором и питаются потребители объекта.

В исходной схеме КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» установлены два силовых трансформатора марки ТМГ-630/10.

«Эти трансформаторы были введены в работу на подстанции» [1] в 2012 году и по состоянию на начало 2023 года только дважды проходили капитальный ремонт.

Таким образом, установлено, что силовые трансформаторы ТМГ-630/10, установленные на объекте исследования, не требуют замены.

В работе они проверяются на условия перегрузочной аварийной способности (с учётом реконструкции схемы подстанции).

«Распределительное устройство номинальным напряжением 0,4 кВ (далее – РУ-0,4 кВ) КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО

«КуйбышевАзот», конструктивно выполнено комплектным, наружной установки, с применением ячеек стационарного типа (выбираются в зависимости от применяемого оборудования» [2].

В схеме РУ-0,4 кВ КТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», предусмотрена одна рабочая, секционированная выключателем с АВР, система сборных шин с резервированием.

«Защита и коммутация схемы РУ-0,4 кВ подстанции обеспечивается автоматическими воздушными выключателями (автоматами), установленными в шкафах РУ-0,4 кВ КТП-6/0,4 кВ» [1] участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот».

Все автоматы в схеме – марки ВА, новые, надёжные, были установлены в результате модернизации сети напряжением 0,4 кВ на КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» в 2012 году.

Поэтому они не требуют замены.

«Такая схема с наличием автоматического резервирования на стороне 0,4 кВ подстанции КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», полностью соответствует условиям для питания I и II категорий потребителей» [10].

«Схема электрических соединений КТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения» [12] участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», представлена в данной работе в графической части.

Далее от КТП-6/0,4 кВ по радиальной схеме двумя кабельными линиями, получает питание вводное распределительное устройство (ВРУ) системы электроснабжения участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот».

Известно, что схема ВРУ влияет на результаты расчёта электрических нагрузок всей системы электроснабжения участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» [3].

От ВРУ, в свою очередь, по смешанной схеме кабельными линиями электропередачи, питаются панели и распределительные шкафы (щиты): распределительные и осветительные (соответственно, далее – ЩР и ЩО).

От данных щитов получают питание конечные электроприёмники объекта (по смешанной схеме электроснабжения). При этом электрическая силовая нагрузка объекта на секции сборных шин РУ-0,4 кВ КТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», распределена на секциях шин относительно равномерно.

Также разделено питание рабочего и аварийного освещения объекта, их щитки питаются от разных трансформаторов ТП-6/0,4 кВ, что повышает уровень надёжности.

Описанная в работе исходная схема электроснабжения РУ-0,4 кВ КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» - надёжная и экономичная, поэтому может быть рекомендована к применению на объекте без внесения качественных изменений [15].

От панелей и силовых распределительных шкафов участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», получают питание конечные потребители, которые работают на номинальном напряжении 0,38/0,22 кВ.

К основному технологическому оборудованию участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» относятся: элеваторы, специальные транспортёры, шнековые конвейеры, компрессоры, обогреватели ёмкостей, вибросита, дозировочные насосы, барабан сушки, барабан-охладитель, дробилка, барабан для нанесения покрытий, вентиляторы, шлюзовые питатели, гранулятор, насосы дозировочные, насосы смазки валов, насосы силовой гидросистемы компактора, вентиляторы производственные.

При этом многое оборудование было заменено вследствие проведённой недавно модернизации. Исходные данные основного технологического оборудования, включая недавно установленное в результате модернизации, на участке цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» с учётом распределения нагрузок по панелям и шкафам, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные основного технологического оборудования участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» с учётом распределения нагрузок по панелям и шкафам

Наименование потребителя	Номер по плану	$P_{уст}$, кВт	Категория надёжности	$U_{ном}$, кВ
Панель 1				
ЩСУ-1				
Барабан для нанесения покрытий	1	11	I	0,38
Вентилятор	2	50	I	0,38
Вентилятор	3	30	I	0,38
Шлюзовый питатель	4	1,5	I	0,38
Шлюзовый питатель	5	1,5	I	0,38
Всего по ЩСУ-1	-	94,0	I, II	0,38
ЩСУ-2				
Элеватор (заслонка)	6	11	II	0,38
Элеватор	7	50	I	0,38
Элеватор	8	30	I	0,38
Транспортёр спиральный	9	1,5	I	0,38
Конвейер шнековый	10	1,5	I	0,38
Конвейер шнековый	11	5,50	I	0,38
Гранулятор	12	37,00	I	0,38
Всего по ЩСУ-2	-	136,50	I, II	0,38
Всего по панели 1	-	230,5	I, II	0,38
Панель 2				
ЩСУ-3				
Вибросито	13	15	I	0,38
Конвейер	14	15	I	0,38
Конвейер	15	7,5	I	0,38
Конвейер	16	5,5	I	0,38
Вибросито	17	7,5	I	0,38
Дозировочный насос (резерв)	18	1,5	II	0,38
Дозировочный насос (основной)	19	5,5	I	0,38
Всего по ЩСУ-3	-	57,5	I, II	0,38
ЩСУ-4				
Барабан сушки	20	30	I	0,38
Барабан-охладитель	21	30	I	0,38
Дробилка	22	110	I	0,38
Всего по ЩСУ-4	-	170	I, II	0,38
Всего по панели 2	-	227,5	I, II	0,38
Всего по участку цеха	-	384,1	I, II	0,38
Освещение участка цеха	-	18,5	I, II	0,22
Всего с освещением	-	402,6	I, II	0,38/0,22

Исходные данные основного технологического оборудования участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» с учётом распределения нагрузок по панелям и шкафам, а также осветительной сети, указанные в

таблице 1, являются основанием для расчёта нагрузок данного объекта и выбора сечения сетей и марок аппаратов, а также проверки силовых трансформаторов на питающей КТП-96.

1.3 Постановка основной цели и задач на выполнение работы

На основе кратких основных нормативных положений, с учётом проведённого ранее анализа, проводится постановка основной цели и задач на выполнение работы на объекте исследования.

Известно, что к современным системам электроснабжения промышленных потребителей предъявляются жёсткие требования по следующим техническим критериям, а именно [18]:

- условия надёжности питания потребителей соответствующих категорий согласно [7];
- принцип бесперебойности передачи электроэнергии потребителям соответствующих категорий надёжности согласно принятых схем нормальных режимов;
- нормы электробезопасности при выполнении электромонтажных, ремонтных работ и работ по обслуживанию и осмотру всего оборудования системы электроснабжения предприятия и цехов;
- применение резервирования на всех ответственных участках распределительной, питающей сети и потребителей системы электроснабжения предприятия и цехов, отказ от системы «холодного» резерва (оборудование не находится в работе в нормальной схеме подстанции);
- применение секционирования на всех звеньях электрической сети в распределительных устройствах системы электроснабжения предприятия и цехов (как правило, применяется секционирование систем сборных шин распределительных устройств);
- применение стандартных разработанных схем распределительных

- устройств и подстанций системы электроснабжения предприятия и цехов, в которые изменения должны быть обоснованы только расчётным технико-экономическим путём;
- обеспечения коммутационной способности оборудования распределительных устройств подстанций системы электроснабжения предприятия и цехов (путём установки коммутационной аппаратуры в распределительных устройствах подстанций);
 - обеспечение динамической устойчивости системы (проверяется соответствующими расчётами и моделированием всей системы, в которую входит система электроснабжения объекта);
 - обеспечение транзита и резерва мощностей для питания других объектов (применяется для узловых и транзитных питающих подстанций системы электроснабжения предприятия и цехов);
 - соблюдение баланса мощностей во всех режимах, включая баланс по реактивной мощности, применение компенсирующих устройств реактивной мощности (при необходимости);
 - обеспечение защиты всех важнейших узлов и ветвей цепи подстанций системы электроснабжения предприятия и цехов, а также важнейшего оборудования (например, трансформаторов), для чего применяются аппараты защиты с установленными на их приводах устройствами релейной защиты;
 - использование термически устойчивого оборудования, способного выдерживать длительные сквозные токи короткого замыкания;
 - автоматизация силового, контрольного, измерительного оборудования путём внедрения средств и устройств автоматики в схемы нормальных режимов системы электроснабжения предприятий и цехов;
 - применение современных средств автоматизации на всех уровнях и звеньях системы электроснабжения предприятия и цехов:

телеизмерений, автоматизированных систем учёта и контроля электроэнергии, автоматизированных систем управления режимами, систем управления электроснабжением;

- ремонтнопригодность всего оборудования схемы нормальных соединений системы электроснабжения предприятия и цехов;
- «живучесть» основных узлов, систем и оборудования трансформаторных подстанций системы электроснабжения предприятия и цехов;
- возможность дальнейшего расширения, модернизации и реконструкции схемы главных соединений распределительных устройств системы электроснабжения предприятия и цехов;
- применение блочных конструкций на питающих подстанциях и распределительных пунктах всех уровней системы электроснабжения предприятия и цехов;
- использование современного оборудования распределительных устройств подстанций системы электроснабжения предприятия и цехов (приоритет отдаётся устройствам с элегазовой и вакуумной изоляцией);
- минимальные стоимости эксплуатации и ремонта основного оборудования системы электроснабжения предприятия и цехов при максимальном технико-экономическом эффекте.

Таким образом, основываясь на приведённой основной теоретической информации, в результате проведения анализа исходных технических данных схемы нормальных соединений и состояния основного оборудования участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», было установлено, что:

- схема электрических соединений участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» (радиальная схема с резервированием на высшем и низшем напряжениях) полностью соответствует нормативным требованиям и подходит для электроснабжения потребителей I и II категорий надёжности данного объекта. По этой

причине она не нуждается в реконструкции. В силу данных обстоятельств, в работе необходимо проверить принятые технические решения по выбору трансформаторов и кабельных линий (сетей) питающей КТП-6/0,4 кВ с учётом подключения нового оборудования данного цеха;

- с учётом проведённой модернизации основного технологического оборудования, произошло изменение установленных мощностей участка цеха сульфата аммония ПАО «КуйбышевАзот». Исходя из данного факта, необходимо проверить и выбрать новые коммутационные аппараты и проводники во внутрицеховой системе электроснабжения данного объекта;
- предложено осуществить модернизацию ячеек РУ-6 кВ КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония ПАО «КуйбышевАзот», осуществляемую с заменой устаревшего основного оборудования, на новое современное оборудование. Таким образом, в работе предложено заменить неэффективные, ненадёжные и старые ячейки типа КСО-366 с оборудованием 6 кВ, на современные ячейки типа КРУ внутренней установки (марку необходимо выбрать в работе).

Всё это позволит значительно повысить надёжность, экономичность, электробезопасность и экологичность на объекте исследования, при этом значительно снизив затраты времени и финансовой составляющей на монтаж, обслуживание, технические осмотры, дефектацию и ремонт данного оборудования.

Таким образом, далее в работе необходимо решить комплексную задачу по внедрению предложенных мероприятий по проверке на работоспособность схемы главных электрических соединений нормального режима внешнего электроснабжения с учётом модернизации оборудования и сетей внутреннего электроснабжения участка цеха сульфата аммония на предприятии ПАО «КуйбышевАзот».

Данные мероприятия рассматриваются в работе далее.

Выводы по разделу.

В работе было приведено описание и анализ исходной схемы электрических соединений КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», с анализом технических данных нагрузки потребителей.

В работе детально рассмотрены все звенья системы электроснабжения данного цеха.

Рассмотрены основные требования нормативных документов электроэнергетики, которыми необходимо пользоваться в процессе выполнения работы.

В результате проведения анализа исходных технических данных схемы нормальных соединений и состояния основного оборудования на КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», было установлено и обосновано следующее:

- схема электрических соединений участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» (радиальная схема с резервированием на высшем и низшем напряжениях) полностью соответствует нормативным требованиям и подходит для электроснабжения потребителей I и II категорий надёжности данного объекта. По этой причине она не нуждается в реконструкции. В силу данных обстоятельств, в работе необходимо проверить принятые технические решения по выбору трансформаторов и кабельных линий (сетей) питающей КТП-6/0,4 кВ с учётом подключения нового оборудования данного цеха;
- с учётом проведённой модернизации основного технологического оборудования, произошло изменение установленных мощностей участка цеха сульфата аммония ПАО «КуйбышевАзот». Исходя из данного факта, необходимо проверить и выбрать новые коммутационные аппараты и проводники во внутрицеховой системе электроснабжения данного объекта;

– предложено осуществить модернизацию ячеек РУ-6 кВ КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония ПАО «КуйбышевАзот», осуществляемую с заменой устаревшего основного оборудования, на новое современное оборудование. Исходя из этого, в работе предложено заменить неэффективные, ненадёжные и старые ячейки типа КСО-366 с оборудованием 6 кВ, на современные ячейки типа КРУ внутренней установки (марку которых необходимо выбрать в работе далее).

Таким образом, далее в работе необходимо решить комплексную задачу по внедрению предложенных мероприятий по проверке на работоспособность схемы главных электрических соединений нормального режима внешнего электроснабжения с учётом модернизации оборудования и сетей внутреннего электроснабжения участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот».

Решение поставленных основных задач, с внедрением полученных и обоснованных предложений, осуществляется в работе далее.

2 Практическое внедрение мероприятий по проектированию системы электроснабжения цеха

2.1 Определение расчётных электрических нагрузок

Известно, что расчётные электрические нагрузки объектов энергетики являются основой для проектирования и реконструкции систем электроснабжения.

Поэтому далее в работе, для достижения поставленной цели, следует провести расчёт электрических нагрузок, которые далее будут использованы для расчёта максимальных рабочих токов с последующими выбором и проверкой силовых трансформаторов, проводников линий, сборных шин, а также нового основного оборудования электрической части участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот».

В работе расчёту подлежат значения активной, реактивной и полной расчётных нагрузок одиночных присоединений потребителей участка цеха, систем сборных шин, а также питающей подстанции КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот».

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

Определяются расчётные нагрузки распределительных щитов силовой и осветительной сети, исходя из принятой проектной схемы распределения их нагрузки согласно технологическому процессу.

При этом в качестве нагрузки КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» принимаются фактические максимальные значения потребляемой активной мощности распределительных щитов (силовых и осветительных), получающих питание от ВРУ-0,4 кВ данной организации.

В работе указанные расчетные нагрузки определяются методом упорядоченных диаграмм [7].

Расчёты проводятся по принятой методике с использованием табличных коэффициентов [12]. По данной методике, на первом этапе проводится расчёт нагрузки одиночных присоединений потребителей, далее – расчёт нагрузки распределительных шкафов, и на заключительном этапе – расчёт нагрузки КТП-6/0,4 кВ.

Активная расчётная нагрузка одиночных присоединений потребителей электрической части участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» [11]:

$$P_{p.1} = K_3 \cdot P_{уст.}, \text{ кВт}, \quad (1)$$

где $P_{уст.}$ – максимальная установочная активная номинальная нагрузка

присоединений потребителей напряжением 0,38/0,22 кВ

электрической части участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», кВт (таблица 1);

K_3 – коэффициент загрузки потребителей напряжением 0,38/0,22 кВ электрической части участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», о.е. Принимается равным единице с учётом трёхсменного графика работы на предприятии и продолжительного режима работы [6].

Реактивная расчётная нагрузка одиночных присоединений потребителей электрической части участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» [11]:

$$Q_{p.1} = P_{p.1} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ – «коэффициент реактивной мощности, соответствующий значению коэффициента активной мощности системы ($\cos \varphi$)» [8].

Полная расчётная нагрузка одиночных присоединений потребителей электрической части участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» [11]:

$$S_{p.1} = \sqrt{P_{p.1}^2 + Q_{p.1}^2}. \quad (3)$$

Расчётный ток нормального режима одиночных присоединений потребителей электрической части участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» [11]:

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

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

На основании известных выражений (1) – (4) для расчёта электрических нагрузок, проводится практический расчёт активной, реактивной, полной нагрузок, а также расчётного тока нагрузки нормального режима, для всех одиночных присоединений потребителей участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот».

Проводится расчёт нагрузки одиночных присоединений подстанции на примере первого присоединения одиночных потребителей «Барабан для нанесения покрытий» участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» .

По условию (1) расчётная активная нагрузка первого присоединения одиночных потребителей «Барабан для нанесения покрытий» участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот»:

$$P_p = 11 \cdot 1 = 11 \text{ кВт}.$$

По условию (2) расчётная реактивная нагрузка первого присоединения одиночных потребителей «Барабан для нанесения покрытий» участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот»:

$$Q_p = 11 \cdot 1,17 = 14,63 \text{ квар.}$$

По условию (3) расчётная полная нагрузка первого присоединения одиночных потребителей «Барабан для нанесения покрытий» участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот»:

$$S_p = \sqrt{11^2 + 14,63^2} = 18,3 \text{ кВА.}$$

По условию (4) расчётное значение тока нагрузки нормального режима первого присоединения одиночных потребителей «Барабан для нанесения покрытий» участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот»:

$$I_p = \frac{18,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 28,16 \text{ А.}$$

Аналогично проведён расчёт электрических нагрузок остальных присоединений потребителей участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» с приведением результатов расчёта в форме таблицы 2.

Также в таблице 2 расчёт суммарной нагрузки секций сборных шин (панелей КТП-6/0,4 кВ) и всей питающей подстанции КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» проводится с учётом коэффициента одновременности максимума нагрузки согласно [14].

В связи с этим, проверено также условие равномерности распределения нагрузки, с учётом различия мощностей на взаиморезервируемых секциях сборных шин и панелей (отличие не более 20%) [15].

Данное условие выполняется.

Таблица 2 – Результаты расчёта электрических нагрузок участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот»

Наименование потребителя (панели, ЩСУ, цеха)	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
Панель 1				
ЩСУ-1				
Барaban для нанесения покрытий	11	14,63	18,30	28,16
Вентилятор	50	58,50	76,96	118,39
Вентилятор	30	35,10	46,17	71,04
Шлюзовый питатель	1,5	1,76	2,31	3,55
Шлюзовый питатель	1,5	1,13	1,88	2,88
Всего по ЩСУ-1	94,0	111,11	145,54	223,91
ЩСУ-2				
Элеватор (заслонка)	11	14,63	18,30	28,16
Элеватор	50	58,50	76,96	118,39
Элеватор	30	35,10	46,17	71,04
Транспортёр спиральный	1,5	1,76	2,31	3,55
Конвейер шнековый	1,5	1,13	1,88	2,88
Конвейер шнековый	5,50	6,44	8,47	13,02
Гранулятор	37,00	27,75	46,25	71,15
Всего по ЩСУ-2	136,50	145,30	199,36	306,70
Всего по панели 1	230,5	256,41	344,78	530,43
Панель 2				
ЩСУ-3				
Вибросито	15	19,95	24,96	38,40
Конвейер	15	17,55	23,09	35,52
Конвейер	7,5	8,78	11,54	17,76
Конвейер	5,5	6,44	8,47	13,02
Вибросито	7,5	5,63	9,38	14,42
Дозировочный насос (резерв)	1,5	1,76	2,31	3,55
Дозировочный насос (основной)	5,5	4,13	6,88	10,58
Всего по ЩСУ-2	57,50	64,22	86,20	132,61
ЩСУ-4				
Барaban сушики	30	39,90	49,92	76,80
Барaban-охладитель	30	35,10	46,17	71,04
Дробилка	110	128,70	169,30	260,47
Всего по ЩСУ-1	170	203,70	265,32	408,18
Всего по панели 2	227,5	267,92	351,49	540,74
Всего по участку цеха	458	524,33	696,19	1071,1
Освещение участка цеха	18,5	7,40	19,930	30,65
Всего с освещением	476,5	531,73	714,00	1098,45

Полученные результаты расчёта электрических нагрузок участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» используются в работе далее в качестве основы для выбора и проверки электрических проводников,

аппаратов на всех звеньях системы электроснабжения, а также трансформаторов на питающей КТП-96.

2.2 Проверка силовых трансформаторов на питающей подстанции участка цеха на допустимую перегрузку

«Как было указано ранее, на рассматриваемой в работе подстанции переменного напряжения КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» были установлены два силовых трансформатора ТМГ-630/6» [11].

Оба силовые трансформатора на понизительной подстанции переменного напряжения КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» находятся в рабочем исправном состоянии и периодически проходили регламентные текущие и капитальные ремонты.

Они были заменены в результате реконструкции, проведённой в ячейках трансформаторов подстанции в 2012 году.

Проводится предварительная проверка правильности выбора силовых трансформаторов КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», исходя из значения максимальной нагрузки подстанции.

«Как известно, номинальная мощность силового трансформатора для его установки на подстанции переменного напряжения КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», определяется с учётом возможного и перспективного питания сторонней нагрузки (в случае её наличия), по условию» [13]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{P_{\text{р.}} + P_{\text{ст.}}}{N\beta_{\text{т}}}, \text{ кВА}, \quad (5)$$

где « $S_{\text{ном.т}}$ – номинальная (паспортная) мощность силового трансформатора подстанции переменного напряжения КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот»» [11];

« $S_{ном.т.р}$ – расчетная мощность трансформатора, установленного на подстанции переменного напряжения КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот»» [11];

« P_p – суммарная активная нагрузка потребителей, которые получают питание от подстанции переменного напряжения КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот»» [11];

« $P_{ст.}$ – суммарная активная нагрузка сторонних потребителей, которые получают питание от подстанции переменного напряжения КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот»» [11].

«По условию выбора (5), для участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» сторонних потребителей» [11]:

$$S_{ном.т} \geq S_{ном.т.р} = \frac{476,5}{2 \cdot 0,7} = 340,36 \text{ кВА.}$$

«Исходя из результатов расчёта, для установки на КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», предлагается в работе оставить два силовых трансформатора марки ТМГ-630/10» [11], которые на данный момент установлены на питающей КТП-96.

«В нормальном режиме работы» [12]

$$K_3^n = \frac{0,5 \cdot S_p}{S_{ном.т}} \leq 0,8. \quad (6)$$

«Проверка выбранных трансформаторов на подстанции переменного напряжения КТП-6/0,4 кВ» [11] участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» в нормальном режиме выполняется:

$$K_3^H = \frac{714}{630 \cdot 2} = 0,57 \leq 0,8.$$

Следовательно, два силовых трансформатора, установленные на подстанции, должны получать питание от различных независимых источников.

Таким образом, в схеме электроснабжения не будет «холодного резерва», который не рекомендуем [5].

Исходя из этого, «проверка в максимальном режиме» [12]:

$$K_3^{n.av} = \frac{S_p}{S_{ном.т}} \leq 1,6. \quad (7)$$

«Проверка трансформаторов подстанции переменного напряжения КТП-6/0,4 кВ» [11] участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» в максимальном режиме также выполняется:

$$K_3^{n.av} = \frac{714}{630 \cdot (2-1)} = 1,13 \leq 1,4.$$

Трансформаторы ТМГ-630/10 могут быть рекомендованы к установке на объекте исследования в результате проведения мероприятий по модернизации системы электроснабжения участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», с учётом подключения нового технологического оборудования данного цеха.

Установка данных трансформаторов меньшего типонаминала марки ТМГ-630/10, по сравнению с трансформаторами большего типонаминала (например, марки ТМГ-1000/10 и выше), эффективна технически и экономически [12]. Таким образом, выбор данного типа трансформатора является обоснованным.

2.3 Выбор и проверка проводников

Далее необходимо провести выбор и проверку проводников системы электроснабжения участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот».

Исходя из этого, в работе выбору подлежат следующие проводники системы электроснабжения участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», выполненные кабельными линиями электропередачи:

- напряжением 6 кВ: питающая кабельная линия, состоящая из двух силовых кабелей, для питания КТП-6/0,4 кВ от ГПП-60 по радиальной схеме;
- напряжением 0,38/0,22 кВ: питающая сеть для обеспечения электроснабжения ЩСУ объекта от РУ-0,4 кВ ТП-6/0,4 кВ;
- напряжением 0,38/0,22 кВ: питающая сеть для обеспечения электроснабжения отдельных потребителей участка цеха от ЩСУ.

В первую очередь необходимо выбрать сечение и марку кабельной линии 6 кВ для питания КТП-6/0,4 кВ от шин РУ-6 кВ ГПП-60, с учётом проведённой модернизации и ввода нового технологического оборудования.

Проводится выбор кабельных линий не только для электроснабжения питающей КТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», но и для всей системы электроснабжения объекта.

«Расчётный рабочий ток линии» [7]:

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

«Максимальный расчётный ток линии» [11]:

$$I_{p.max} = 1,4 I_{p.} \quad (9)$$

Проверка кабельной линии по условию нагрева максимальным рабочим током [11]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{p.\text{max}}. \quad (10)$$

где « $I_{\text{доп}}$ – длительно – допустимый ток силового кабеля стандартного сечения, А» [1];

« $I_{p.\text{max}}$ – максимальный ток участка (линии) с учётом перегрузок и резервирования, А» [1].

«Кабели напряжением выше 1 кВ выбираются по экономической плотности тока» [2]:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{p.}}{j_{\text{э}}}. \quad (11)$$

Расчётный ток питающей кабельной линии 6 кВ:

$$I_{p.} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 36,4 \text{ А.}$$

Расчётное сечение питающей кабельной линии 6 кВ, использующейся для питания КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» в результате проведения реконструкции схемы электрических соединений РУ-6 кВ объекта:

$$F_{\text{э}} = \frac{36,4}{1,6} = 22,7 \text{ мм}^2.$$

Исходя из результатов расчёта, для питания КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», полученное в результате

проведения реконструкции схемы электрических соединений РУ-6 кВ объекта, принимается сечение на питающей кабельной линии 6 кВ, равное 25 мм². «Предварительно принимается к установке силовой трёхжильный кабель марки АСБл-10 (3×25) с $I_{доп}=115$ А» [12].

Максимальный расчётный ток линии:

$$I_{p,max} = 1,4 \cdot 36,4 \approx 51 \text{ А.}$$

«Условие проверки питающей кабельной линии 6 кВ выполняется» [11]:

$$90 \text{ А} \geq 51 \text{ А.}$$

Для КЛ 6 кВ КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», полученной в результате проведения реконструкции схемы электрических соединений РУ-6 кВ, окончательно выбирается «кабель марки АСБл-10 (3×25), условия прокладки – в стандартной земляной траншее» [11].

Для электроснабжения сети 0,38/0,22 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» (ВРУ, ЩР и ЩО) в приняты марки ВВГнг-LS.

Выбор кабельных линий 0,38/0,22 кВ для питающей сети участка системы электроснабжения участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» осуществляется по условиям допустимого перегрева (приведены в работе ранее). Результаты сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты выбора сечения кабелей питающей сети 0,38/0,22 кВ потребителей участка системы электроснабжения участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот»

Потребитель	I_p , А	Марка кабеля	$I_{доп}$, А
Панель 1			
ЩСУ-1	223,91	ВВГнг-LS (5×70)	237
ЩСУ-2	306,70	ВВГнг-LS (5×120)	321
Панель 2			
ЩСУ-3	132,61	ВВГнг-LS (5×35)	158,0
ЩСУ-4	408,18	ВВГнг-LS (5×240)	468,0

Выбор кабельных линий 0,38/0,22 кВ для распределительной сети участка системы электроснабжения участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» представлен в форме таблицы 4.

Таблица 4 – Результаты выбора сечения кабелей распределительной сети 0,38/0,22 кВ потребителей участка системы электроснабжения участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот»

Наименование потребителя (панели, ЩСУ, цеха)	I_p , А	Марка кабеля	$I_{доп}$, А	Прокладка
Панель 1				
ЩСУ-1				
Барaban для нанесения покрытий	18,30	ВВГнг-LS (4×2,5)	40,0	Лоток
Вентилятор	76,96	ВВГнг-LS (4×10)	86,0	Лоток
Вентилятор	46,17	ВВГнг-LS (4×6)	64,0	Лоток
Шлюзовый питатель	2,31	ВВГнг-LS (4×2,5)	40,0	Лоток
Шлюзовый питатель	1,88	ВВГнг-LS (4×2,5)	40,0	Лоток
ЩСУ-2				
Элеватор (заслонка)	18,30	ВВГнг-LS (4×2,5)	40,0	Лоток
Элеватор	76,96	ВВГнг-LS (4×10)	86,0	Лоток
Элеватор	46,17	ВВГнг-LS (4×6)	64,0	Лоток
Транспортёр спиральный	2,31	ВВГнг-LS (4×2,5)	40,0	Лоток
Конвейер шнековый	1,88	ВВГнг-LS (4×2,5)	40,0	Лоток
Конвейер шнековый	8,47	ВВГнг-LS (4×2,5)	40,0	Лоток
Гранулятор	46,25	ВВГнг-LS (4×6)	64,0	Лоток
Панель 2				
ЩСУ-3				
Вибросито	24,96	ВВГнг-LS (4×2,5)	40,0	Лоток
Конвейер	23,09	ВВГнг-LS (4×2,5)	40,0	Лоток
Конвейер	11,54	ВВГнг-LS (4×2,5)	40,0	Лоток
Конвейер	8,47	ВВГнг-LS (4×2,5)	40,0	Лоток
Вибросито	9,38	ВВГнг-LS (4×2,5)	40,0	Лоток
Дозировочный насос (резерв)	2,31	ВВГнг-LS (4×2,5)	40,0	Лоток
Дозировочный насос (основной)	6,88	ВВГнг-LS (4×2,5)	40,0	Лоток
ЩСУ-4				
Барaban сушики	49,92	ВВГнг-LS (4×6)	64,0	Лоток
Барaban-охладитель	46,17	ВВГнг-LS (4×6)	64,0	Лоток
Дробилка	169,30	ВВГнг-LS (4×50)	192	Лоток
Освещение участка цеха (рабочее)	19,930	ВВГнг-LS (4×2,5)	40,0	Лоток
Освещение участка цеха (аварийное)	1,99	ВВГнг-LS (4×2,5)	40,0	Лоток

Все выбранные проводники системы электроснабжения участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» удовлетворяют условиям выбора и проверки, поэтому могут быть применены на данном объекте.

Таким образом, в работе расчётным путём, используя принятую методику выбора и проверки, выбраны сечения кабельной линии 6 кВ, полученной с учётом модернизации и подключения нового основного технологического оборудования.

Также подтверждены все сечения проводников питающей и распределительных линий 0,38 кВ, применяемых на участке системы электроснабжения участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», которую питает ТП-6/0,4 кВ.

Выбор сборных шин распределительного устройства 6 кВ КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» проводится по максимальному рабочему току по приведённому ранее условию выбора.

В РУ-6 кВ КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» в результате проведения модернизации схемы, которая проводится параллельно с заменой устаревших ячеек и их оборудования, рекомендована к применению основная жёсткая ошиновка из сборных алюминиевых шин марки АДЗ1Т-5×25-3 АДЗ1Т, а также ответвительная жёсткая ошиновка марки ОЖ-СЭЩ-6/2000 [8]. Такие виды и типы ошиновки типичны для применения в соответствующих распределительных устройствах комплектного типа современных понизительных подстанций [8].

В работе для установки в РУ-6 кВ принимается жёсткая ошиновка из сборных алюминиевых шин марки АДЗ1Т-5×25-3 АДЗ1Т.

Проводится проверка выбранной ошиновки по максимальному рабочему току:

$$1450 A \geq 540,79 A.$$

Условие проверки выполняется, следовательно, в качестве ошиновки для установки в РУ-6 кВ принимается жёсткая ошиновка из сборных алюминиевых шин марки АДЗ1Т-5×25-3 АДЗ1Т с допустимым током одной секции шин $I_{дон}=1450 A$.

В качестве ответвительной жёсткой ошиновки (для присоединения электрических аппаратов трансформаторных вводов, отходящих линий к сборным шинам РУ 6 кВ КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот»), принимается современная жёсткая ошиновка марки ОЖ-СЭЩ-6/2000 с $I_{don} = 2000$ А [7].

Условие проверки этой ошиновки для установки в РУ 6 кВ КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» выполняется (с учётом того, что максимальный рабочий ток шин равен $I_m = 2000$ А):

$$2000 \text{ А} \geq 540,79 \text{ А.}$$

Таким образом, для второго трансформаторного ввода и питающей его кабельной линий 6 кВ КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», это условие также будет выполнено.

Исходя из поставленной задачи, в результате практической реализации предложенных мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений РУ-6 кВ КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», а также учитывая полную замену ячеек РУ-6 кВ с основным оборудованием, в работе выбраны и проверены сечения проводников [9]:

- «для питающей кабельной линии 6 кВ КТП-6/0,4 кВ объекта выбраны силовые кабели марки АСБл-10 (3×25), условия прокладки – в стандартной земляной траншее» [11];
- «для электроснабжения питающей и распределительной сети потребителей напряжением 0,38/0,22 кВ объекта (ЩСУ), в работе приняты низковольтные пятижильные негорючие кабели марки ВВГнг-LS при питании по радиальной схеме без ответвлений» [11];
- в качестве ошиновки для установки в РУ-6 кВ принята жёсткая ошиновка из сборных алюминиевых шин марки АДЗ1Т-5×25-3 АДЗ1Т с допустимым током одной секции шин $I_{don}=1450$ А;

– в качестве ответвительной жёсткой ошиновки (для присоединения электрических аппаратов трансформаторных вводов, отходящих линий к сборным шинам РУ 6 кВ КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот»), принята современная жёсткая ошиновка марки ОЖ-СЭЩ-6/2000 с $I_{дон} = 2000$ А.

Все принятые решения удовлетворяют условиям выбора и проверок.

2.4 Расчёт токов короткого замыкания

Далее в работе проводится расчёт значения максимального тока трёхфазного короткого замыкания на сборных шинах КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», по которому будут проверены на термическую и электродинамическую стойкость электрические аппараты и шинные конструкции, выбранные для установки в соответствующих распределительных устройствах цеха.

Значения токов КЗ в системе КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» будут использованы при выборе и проверке нового оборудования распределительного устройства РУ-6 кВ и РУ-0,4 кВ в работе далее.

Кроме того, результаты выбора уставок релейной защиты и автоматики для их установки в реконструированной схеме соединений нормального режима в системе КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», должны быть проверены на условия чувствительности. Для этой цели в работе также необходимо провести расчёт минимального двухфазного тока КЗ.

«Исходная расчётная схема для расчёта токов КЗ на понизительной подстанции КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» представлена на рисунке 4» [19].

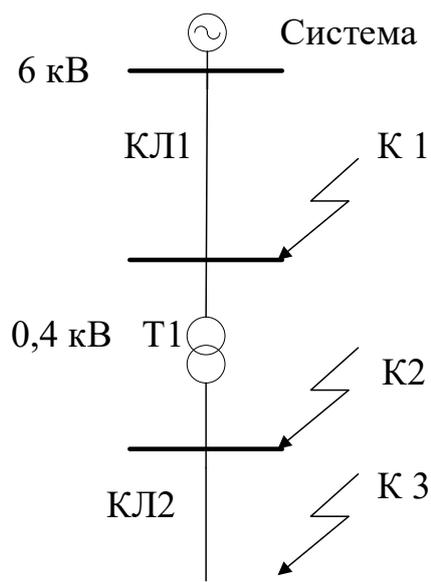


Рисунок 4 – Исходная упрощённая схема для расчёта токов КЗ в максимальном режиме в системе электроснабжения участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот»

Исходя из исходной расчетной схемы, составляется исходная схема замещения для расчёта токов КЗ в максимальном режиме в системе электроснабжения КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» (рисунок 5).

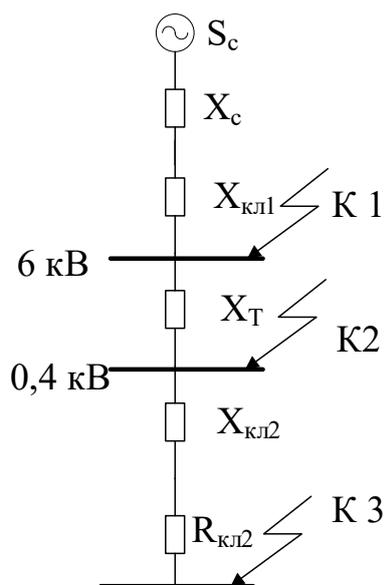


Рисунок 5 – Исходная схема замещения для расчёта токов КЗ в максимальном режиме в системе электроснабжения участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот»

Следующим шагом алгоритма расчёта токов КЗ, будет расчёт сопротивлений элементов схемы замещения.

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

Выбираются базисные условия для проведения расчётов.

«В качестве основной базисной ступени для расчёта в работе выбирается ступень высшего напряжения – 6 кВ. Мощность энергосистемы принимается равной номинальной полной мощности трансформаторов КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот»» [16].

«Базисная мощность также для удобства принимается равной номинальной полной мощности трансформаторов КТП-6/0,4 кВ» [19] участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот»:

$$S_{\sigma} = 630 \text{ кВА} = 0,63 \text{ МВА}.$$

Базисное напряжение схемы ЭС участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» определяется так [6]:

$$U_{\sigma} = 1,05 \cdot U_{ном}, \text{кВ}. \quad (12)$$

По условию (12):

$$U_{\sigma.1} = 1,05 \cdot 6 = 6,3 \text{ кВ}.$$

$$U_{\sigma.2} = 1,05 \cdot 0,38 = 0,4 \text{ кВ}.$$

Базисный ток на сторонах ВН и НН схемы замещения системы ЭС участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» [8]:

$$I_{\bar{\sigma}} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{3}U_{\bar{\sigma}}}. \quad (13)$$

По условию (13):

$$I_{\bar{\sigma}1} = \frac{0,63}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 0,03 \text{ кА.}$$

$$I_{\bar{\sigma}2} = \frac{0,63}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 0,9 \text{ кА.}$$

«Значение индуктивного сопротивления кабельных линий схемы замещения, с учётом длины линии» [16] и удельных сопротивлений кабеля, для каждой цепи линии, с учётом приведения результатов к базисным условиям [16]:

$$X_W = \frac{1}{n} \cdot X_{уд.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_B^2}. \quad (14)$$

«Для кабельных линий схемы» [19]:

$$X_{KL1} = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \cdot 6 \cdot \frac{0,63}{6,3^2} = 0,005 \text{ о.е.}$$

$$X_{KL2} = 0,09 \cdot 0,15 \cdot \frac{0,63}{0,4^2} = 0,0135 \text{ о.е.}$$

«Известно, что при расчёте токов КЗ в сетях 6(10)/0,4 кВ необходимо учитывать активные сопротивления всех элементов схемы замещения» [8].

«Значение активного сопротивления кабельных линий схемы замещения, с учётом длины линии и удельных сопротивлений кабеля, для каждой цепи линии» [16], с учётом приведения результатов к базисным условиям [17]:

$$R_W = \frac{1}{n} \cdot R_{y\partial.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_B^2}. \quad (15)$$

«Для кабельных линий схемы» [19]:

$$R_{KL1} = \frac{1}{2} \cdot 0,46 \cdot 6 \cdot \frac{0,63}{6,3^2} = 0,006 \text{ о.е.}$$

$$R_{KL2} = 0,62 \cdot 0,15 \cdot \frac{0,63}{0,4^2} = 0,093 \text{ о.е.}$$

«Индуктивное сопротивление силового трансформатора» [16]:

$$X_{T1} = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{K.3.}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{H.T}}. \quad (16)$$

$$X_{T1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{10,5}{100} \cdot \frac{0,63}{0,63} = 0,0525 \text{ о.е.}$$

«Максимальное значение токов трёхфазного КЗ» [20] ЭС участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», при приведении к именованным единицам, согласно методике расчёта токов КЗ [20]:

$$X_{T1} = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{K.3.}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{H.T}}. \quad (17)$$

«Полное сопротивление цепи КЗ и ток КЗ в расчётной точке К1» [16]:

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(X_c + X_{KL1})^2 + R_{KL2}^2}. \quad (18)$$

$$\ll Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(0,005 + 0,005)^2 + 0,006^2} = 0,012 \text{ о.е.}$$

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{1}{0,012} \cdot 0,03 = 1,25 \text{ кА.}$$

«Полное сопротивление цепи КЗ и ток в точке К2:

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(X_c + X_{KЛ1} + X_T)^2 + R_{KЛ2}^2}. \quad (19)$$
$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(0,005 + 0,005 + 0,0525)^2 + 0,006^2} = 0,062 \text{ о.е.}$$
$$I_{k2}^{(3)} = \frac{1}{0,062} \cdot 0,9 = 3,71 \text{ кА.}$$

«Полное сопротивление цепи КЗ и ток КЗ в точке К3:

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(X_c + X_{KЛ1} + X_T + X_{KЛ2})^2 + (R_{KЛ1} + R_{KЛ2})^2}. \quad (20)$$
$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(0,005 + 0,005 + 0,0525 + 0,0135)^2 + (0,006 + 0,093)^2} = 0,125 \text{ о.е.}$$
$$I_{k3}^{(3)} = \frac{1}{0,125} \cdot 0,9 = 1,84 \text{ кА.}$$

Ударный ток в расчётных точках схемы:

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial} \cdot I_{k}^{(3)}. \quad (21)$$
$$i_{y\partial.k1} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 1,25 = 2,47 \text{ кА.}$$
$$i_{y\partial.k2} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 3,71 = 5,25 \text{ кА.}$$
$$i_{y\partial.k3} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 1,84 = 2,6 \text{ кА.}$$

Формула для расчёта двухфазного несимметричного тока КЗ, необходимое для проверки условий чувствительности уставок РЗА:

$$I_{k}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{k}^{(3)}, \text{ кА.} \quad (22)$$

Двухфазное КЗ в точках К1-К3 в числовых значениях:

$$I_{к1}^{(2)} = 0,87 \cdot 1,25 = 1,09 \text{ кА.}$$

$$I_{к1}^{(2)} = 0,87 \cdot 3,71 = 3,23 \text{ кА.}$$

$$I_{к1}^{(2)} = 0,87 \cdot 1,84 = 1,60 \text{ кА.}$$

Дальнейший расчет сопротивлений цепи питания КЗ и расчётов токов КЗ для других точек выполнен аналогично с приведением полученных результатов в форме таблицы 5.

«Все полученные в работе результаты расчёта токов трёхфазного и двухфазного короткого замыкания, а также ударных токов, выполненных в расчётных точках КЗ системы электроснабжения участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», приведены в форме таблицы 5» [18].

Таблица 5 – Результаты расчетов токов короткого замыкания в расчётных точках системы электроснабжения участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот»

Параметр	Единица измерения	Числовое значение параметра		
		Точка К1	Точка К2	Точка К3
$I_{к3}^{(3)}$	кА	1,25	3,71	1,84
$I_{к3}^{(2)}$	кА	1,09	3,23	1,60
$i_{уд.к}$	кА	2,47	5,25	2,60

Полученные в работе результаты расчёта токов короткого замыкания, а также величины ударных токов и токов двухфазного КЗ, на шинах 6 кВ и 0,4 кВ в максимальном режиме работы КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», используются в работе для соответствующих проверок выбранного нового оборудования распределительных устройств подстанции, а также для проверки уставок релейной по условиям чувствительности защиты силовых трансформаторов и питающих линий на стороне 6 кВ объекта исследования.

Данные мероприятия проводятся в работе далее с необходимым техническим обоснованием.

2.5 Выбор и проверка электрических аппаратов

Далее в работе, на основании технических исходных данных подстанции и полученных расчётных результатов электрических нагрузок, рабочих и максимальных токов, а также токов трёхфазного КЗ, проводится непосредственный выбор и проверка основного оборудования распределительных устройств с целью проведения модернизации участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», которая осуществляется путём замены ячеек и оборудования в РУ-6 кВ.

Ранее в работе было установлено, что к морально и технически устаревшим и выработавшим свой ресурс электрическим аппаратам, которые требуют замены на новые современные аппараты соответствующих марок, в РУ-6 кВ на рассматриваемой подстанции КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», относятся устаревшие масляные горшковые выключатели высокого напряжения, которые являются морально и физически устаревшими марками оборудования.

Кроме того, также было установлено, что требуют замены все устаревшие ячейки РУ-6 кВ типа КСО-366.

Перечисленные ячейки и аппараты предлагается в работе заменить на новые, современные модификации, отличающиеся повышенными критериями надёжности, экономичности, безопасности, а также быстродействием и селективностью.

При этом модернизация оборудования проводится параллельно с практическим внедрением изменений в схеме электрических соединений РУ-6 кВ объекта, что значительно упрощает задачу и ускоряет данный технологический процесс.

На основании обзора современных типов ячеек распределительных устройств классов напряжения 6(10) кВ, в работе в «РУ-6 кВ предложено установить новые ячейки комплектного распределительного устройство типа

КРУ серии К-213 (изготовитель – электротехническая компания «ДАК-Энергетика»)» [13].

Внешний вид и конструкция ячеек комплектного распределительного устройство типа КРУ серии К-213(изготовитель – электротехническая компания «ДАК-Энергетика»), которые применяется на РУ-6 кВ подстанции КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» в результате проведения модернизации, показан на рисунке 6.



Рисунок 6 – Внешний вид и конструкция ячеек комплектного распределительного устройство типа КРУ серии К-213(изготовитель – электротехническая компания «ДАК-Энергетика»)

Предварительно для установки в новых ячейках КРУ серии К-213 принимается выключатели вакуумные нового образца и модификации, предназначенные для установки в ячейках КРУ, марки VD-4-10-20/630-У2-48 (производитель – фирма АВВ, Швеция).

Разъединители в новых ячейках КРУ серии К-213 не устанавливаются по технической комплектации (их заменяют втычные контакты).

Далее на основании расчётов необходимо проверить предварительно выбранное новое оборудование для установки на подстанции КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот».

Проверяются новые выключатели для установки в ячейках КРУ серии К-213 с целью защиты и коммутации оборудования в КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот».

Известно, что выключатели высокого напряжения – это основные аппараты для защиты и коммутации электрической сети и единственные аппараты на подстанции, которыми можно отключать сеть под нагрузкой, а также они отключают сеть при возникновении ненормальных режимов (в частности, токов КЗ).

Поэтому к выключателям предъявляются повышенные требования по коммутационной способности, а также по стойкости к сквозным токам КЗ и ударным токам.

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

- по номинальному напряжению:

$$U_{уст} \leq U_n \quad (23)$$

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

- по максимальному рабочему току:

$$I_{раб.макс} \leq I_n \quad (24)$$

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

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

$$I_{пт} \leq I_{откн}. \quad (25)$$

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

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

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

$$(\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{откн.н} (1 + \beta_n), \quad (26)$$

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, определяется так» [16]:

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}, \quad (27)$$

где « $t_{з.мин}$ – минимальное время действия релейной защиты, с» [16];

$t_{с.в}$ – собственное время отключения выключателя, с» [16];

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

$$i_y \leq i_{пр.с}, \quad (28)$$

где « $i_{пр.с}$ – 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]:

$$B_K \leq I_T^2 t_T, \quad (29)$$

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

« I_T – предельный ток термической устойчивости, $A^2 \cdot c$ » [16];

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

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

$$B_K = I_K^2 (t_{отк} + T_a). \quad (30)$$

По приведённым выше условиям, с учётом рассчитанных параметров электрической сети 6 кВ, далее в работе необходимо осуществить проверку выключателей высокого напряжения для их установки в соответствующих распределительных устройствах на реконструируемой и модернизируемой КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» .

Результаты выбора выключателей высокого напряжения представлены в работе в форме таблицы 6.

Таблица 6 – Результаты выбора новых выключателей высокого напряжения для установки в РУ-6 кВ питающей КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот»

Наименование аппарата	Условие выбора	Расчетные данные	Паспортные данные
Выключатели высокого напряжения VD-4-10-20/630-У2-48 (производитель – фирма АВВ, Швеция)	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 50,98 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном}$	$I_{н.т} = 1,25 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{дин}$	$i_y = 2,47 \text{ кА}$	$i_{дин} = 32 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,25^2 \cdot 3 = 4,69 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \text{ с}$

Выбранные выключатели удовлетворяют всем требуемым условиям.

Совместно с данными выключателями в ячейках также устанавливаются ограничители перенапряжения марки ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1.

Они защищают сеть 6 кВ от атмосферных и коммутационных типов перенапряжений. В данном случае, перенапряжения, которые возможны в сети 6 кВ питающей КТП-96, возникают в связи с коммутацией вакуумного выключателя.

Также вместе с высоковольтными выключателями, в ячейках РУ-6 кВ КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» устанавливаются также трансформаторы тока (таблица 7).

Таблица 7 – Результаты выбора трансформаторов тока для установки в ячейках РУ-6 кВ питающей КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот»

Наименование аппарата	Условие выбора	Расчетные данные	Паспортные данные
Трансформаторы тока ТПОЛМ-10	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 50,98 \text{ А}$	$I_{ном} = 100 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин}$	$i_y = 2,47 \text{ кА}$	$i_{дин} = 20 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,25^2 \cdot 3 =$ $= 4,69 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2\text{с}$

Все выбранные электрические аппараты напряжением 6 кВ показаны на графическом листе 2.

Далее проводится проверочный расчёт электрических аппаратов напряжением 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот». Установлено, что они не нуждаются в модернизации, поэтому в работе выполняется их проверка на соответствие условиям сети. Для защиты и коммутации питающей и распределительной сети 0,38/0,22 кВ в работе применяются автоматические воздушные выключатели (автоматы). Они устанавливаются в РУ-0,4 кВ питающей КТП-

6/0,4 кВ, а также во всех ЩСУ для защиты и коммутации отходящих потребителей участка цеха.

Известно, что автоматы являются наилучшим вариантом защиты и коммутации сети 0,4 кВ. Они обеспечивают автоматическое отключение цепи под действием токов КЗ и прочих ненормальных режимов. Также автоматы используются в коммутационных схемах с целью включения и отключения линий. Такие процессы возможно осуществлять как в автоматическом режиме, так и в ручном. Основными элементами автомата, обеспечивающим отключение, являются расцепители. Наибольшее распространение получили автоматы с тепловыми и электромагнитными типами расцепителей. Такие автоматы просты в исполнении, ремонтнопригодные, надёжные и экономичные. Поэтому в работе устанавливаются во всех распределительных устройствах автоматы данной модификации.

«Номинальные токи автомата и уставки теплового расцепителя автомата выбираются, исходя из условий» [15]:

$$I_{ном.а} \geq I_p \cdot \quad (31)$$

$$I_{у.т.р} \geq 1,1 \cdot I_p \cdot \quad (32)$$

«Ток электромагнитного расцепителя» [15]:

$$I_{ном.э.р} \geq K_{то} \cdot I_p \geq I_k \cdot \quad (33)$$

«Для автомата с регулируемым электромагнитным расцепителем» [15]:

$$I_{у.э.р} \geq K \cdot I_{у.т.р} \cdot \quad (34)$$

где « K – кратность тока уставки ЭМ-расцепителя» [19].

«Выбор автоматов питающей сети представлены в таблице 8» [16].

Таблица 8 – Результаты выбора автоматов ввода и секционного автомата питающей КТП-6/0,4 кВ, а также питающей сети 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот»

Потребитель	I_p , А	Марка	$I_{ном.а}$, А	$I_{у.т.р.}$, А	$I_{у.э.р.}$, А
ТП-6/0,4 кВ					
Вводные автоматы	969,2	ВА 55-41	1000	1000	3000
Секционный автомат	860,12	ВА 55-41	1000	1000	3000
ЩСУ (панели)-0,4 кВ					
Вводной автомат ЩСУ-1	223,91	ВА 52-35	250	200	600
Вводной автомат ЩСУ-2	306,70	ВА 52-37	400	320	960
Вводной автомат ЩСУ-3	132,61	ВА 52-35	250	200	600
Вводной автомат ЩСУ-4	408,18	ВА 57-39	630	630	1890

Результаты выбора автоматических выключателей системы электроснабжения участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» для защиты и управления распределительной сети представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты выбора трёхфазных автоматов распределительной сети 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот»

Потребитель	I_p , А	Марка	$I_{ном.а}$, А	$I_{у.т.р.}$, А	$I_{у.э.р.}$, А
Барабан для нанесения покрытий	18,30	ВА 47-29	25	25	75
Вентилятор	76,96	ВА 52-31	100	100	300
Вентилятор	46,17	ВА 52-31	100	63	189
Шлюзовый питатель	2,31	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9
Шлюзовый питатель	1,88	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9
Элеватор (заслонка)	18,30	ВА 47-29	25	25	75
Элеватор	76,96	ВА 52-31	100	100	300
Элеватор	46,17	ВА 52-31	100	63	189
Транспортёр спиральный	2,31	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9
Конвейер шнековый	1,88	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9
Конвейер шнековый	8,47	ВА 47-29	10	10	30
Гранулятор	46,25	ВА 52-31	100	63	189
Вибросито	24,96	ВА 47-29	25	25	75
Конвейер	23,09	ВА 47-29	25	25	75
Конвейер	11,54	ВА 47-29	16	16	48
Конвейер	8,47	ВА 47-29	10	10	30
Вибросито	9,38	ВА 47-29	10	10	30
Дозировочный насос (резерв)	2,31	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9
Дозировочный насос (основной)	6,88	ВА 47-29	10	10	30
Барабан сушки	49,92	ВА 52-31	100	63	189
Барабан-охладитель	46,17	ВА 52-31	100	63	189
Дробилка	169,30	ВА 52-35	250	200	600
Освещение участка цеха (рабочее)	19,93	ВА 47-29	25	25	75
Освещение участка цеха (аварийное)	1,99	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9

Выводы по разделу.

В результате внедрения практических мероприятий по модернизации устаревшего оборудования и замены типа ячеек РУ-6 кВ на трансформаторной подстанции КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», обоснованы и рекомендованы к внедрению следующие практические мероприятия:

- проведён расчёт нагрузок отдельных присоединений потребителей, секций сборных шин, а также всей питающей трансформаторной подстанции КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» в целом;
- для установки на трансформаторной подстанции КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» обоснованы и рекомендованы силовые трансформаторы марки ТМГ-630/10. Выбранные трансформаторы проверены на загрузку мощностью в нормальном режиме работы, а также на допустимую аварийную перегрузку;
- выбраны и проверены сечения проводников трансформаторной подстанции КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», а также питающей и распределительной сетей системы электроснабжения данного участка цеха. «Для питающей кабельной линии 6 кВ КТП-6/0,4 кВ объекта выбраны силовые кабели марки АСБл-10 (3×25), условия прокладки – в стандартной земляной траншее. Для электроснабжения питающей и распределительной сети потребителей напряжением 0,38/0,22 кВ участка цеха в работе приняты, соответственно, низковольтные пятижильные и четырёхжильные кабели марки ВВГнг-LS» [4];
- проведён расчёт максимальных токов трёхфазного и двухфазного короткого замыкания, а также ударных токов, в сети напряжением 6 кВ и 0,38/0,22 кВ;

- выбраны новые современные ячейки РУ-6 кВ комплектного распределительного устройство типа КРУ серии К-213 (изготовитель – электротехническая компания «ДАК-Энергетика»);
- для установки в новых ячейках КРУ типа КРУ К-213, обоснован выбор вакуумных выключателей нового образца и модификации марки VD-4-10-20/630-У2-48 (производитель – фирма АВВ, Швеция), а также трансформаторов тока марки ТПОЛМ-10;
- проверено оборудование для установки в РУ-0,4 кВ трансформаторной подстанции КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», а также в питающей и распределительной системе электроснабжения организации напряжением 0,38/0,22 кВ, в результате чего проверены вводные и секционный автоматы для установки в РУ-0,4 кВ питающей ТП-6/0,4 кВ, а также вводные и линейные автоматы для защиты и коммутации питающих и отходящих линий 0,38/0,22 кВ.

Таким образом, в работе расчётно-аналитическим путём решена комплексная задача по внедрению предложенных мероприятий по модернизации оборудования участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот».

3 Выбор устройств и уставок релейной защиты системы электроснабжения

3.1 Выбор блоков релейной защиты и автоматики

В работе проводится выбор блоков РЗА для защиты оборудования трансформаторной подстанции КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» после проведения реконструкции схемы и модернизации оборудования РУ-6 кВ подстанции с заменой ячеек и основного оборудования.

В старых ячейках типа КСО-366, которые были установлены изначально в РУ-6 кВ и которые рекомендуется демонтировать и заменить на ячейки типа КРУ К-213, были установлены старые комплекты защит на базе электромеханических типов реле РТ-40, РТМ и РТВ-80.

Известно, что устаревшее и изношенное оборудование электромеханической релейной защиты не обеспечивает требуемый уровень защит элементов ПС и отходящих линий [12].

Требуется обеспечить микропроцессорную РЗ на основе специализированных терминалов, имеющую надлежащий уровень быстродействия, надежности и селективности.

Исходя из результатов проведённого анализа, для защиты силовых трансформаторов на КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», принимаются к установке терминалы 7SJ61 Siprotec4 производства Siemens, внешний вид которых показан на рисунке 7.



Рисунок 7 – Внешний вид терминала 7SJ61 Siprotec4, применяемого в работе для защиты силовых трансформаторов на питающей КТП-6/0,4 кВ

Функции защиты терминала 7SJ61 Siprotec4:

- двухступенчатая дифференциальная токовая защита (ДТЗ);
- цифровое выравнивание параметров фазы токов плечей ДТЗ;
- компенсация токов небаланса от РПН;
- контроль небаланса в плечах ДТЗ;
- возможность подключения газового реле и устройства РПН;
- ненаправленная двухступенчатая максимальная токовая защита (МТЗ) и токовая отсечка (ТО) со стороны ВН;
- цифровая сборка токовых цепей ВН в треугольник;
- программная блокировка защит по гармоникам;
- защита от перегрузки.

Газовая защита трансформатора выполняется на газовом реле ВР-80/О.

Газовое реле предназначено для контроля состояния масла в баке, который производится путем анализа наличия выделяющихся при разложении масла (например, при перегреве) различных газов.

Своевременное выявление газообразования в баке трансформатора позволяет предотвратить критические повреждения обмоток и других элементов, исключить опасность для персонала ТП.

Релейная защита питающей кабельной линии 6 кВ КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» также выполняется на современных микропроцессорных терминалах.

Выбираются в работе для защиты питающих линий 6 кВ КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», современные универсальные блоки (терминалы) 6MD63 Siprotec 4 производства Siemens, внешний вид которых показан на рисунке 8.



Рисунок 8 – Внешний вид терминала 6MD63 Siprotec 4, применяемого в работе для защиты питающей линии 6 кВ КТП-96

Функции защиты терминала 6MD63 Siprotec 4:

- дуговая защита;
- МТЗ;
- ТО;

- от обрыва фазы;
- от замыканий на землю (ЗНЗ);
- защита минимального напряжения;
- защита от повышения напряжения;
- возможность подключения газового реле;
- автоматическая частотная разгрузка;
- частотное автоматическое включение;
- контроль наличия напряжения;
- автоматика управления выключателем;
- автоматическое повторное включение линий;
- определение расстояния до места повреждения в линии.

Для автоматики и управления КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», принимаются современные универсальные блоки (терминалы) 66MD662 6MD664 производства Siemens, внешний вид которых показан на рисунке 9.



Рисунок 9 – Внешний вид терминала 66MD662 6MD664, применяемого в работе для автоматики и управления КТП-96

Далее в работе выбираются уставки РЗиА для защиты КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот».

3.2 Выбор уставок релейной защиты и автоматики

Проводится выбор уставок релейной защиты и автоматики для защиты питающих линий 6 кВ и силовых трансформаторов питающей КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот».

Предусмотренные виды защит силовых трансформаторов КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» и токи, выставляемые в блоках защиты, приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Предусмотренные виды защит силовых трансформаторов КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» и токи, выставляемые в блоках защиты

Тип защиты	Назначение	Токи, выставляемые в блоках защиты
Дифференциальная защита	Основная защита	$I''=1,25$ кА (трехфазный ток КЗ, ввод ВН) $I''=3,71$ кА (трехфазный ток КЗ, ввод НН)
Максимальная токовая защита (МТЗ)	Резервная защита	$I''=1,25$ кА (трехфазный ток КЗ, ввод ВН)
Токовая отсечка (ТО)	Резервная защита	$I''=1,25$ кА (трехфазный ток КЗ, ввод ВН)
Защита от перегрузки	Основная защита	$I_{ном}=51$ А (максимальный ток трансформатора, ввод ВН)
Газовая защита	Резервная защита	-

Для устройств автоматики выбираются следующие уставки:

- уставка времени срабатывания АПВ: 3 с;
- уставка времени срабатывания АЧР: 5 с.

Также выставляется оптимальная программа управления системой РЗиА на питающей КТП-96.

Предусмотренные виды защит отходящих линий 6 кВ и токи, выставляемые в блоках защиты питающих линий 6 кВ, приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Предусмотренные виды защит отходящих линий 6 кВ и токи, выставляемые в блоках защиты

Тип защиты	Назначение	Токи, выставляемые в блоках защиты
Максимальная токовая защита (МТЗ)	Основная защита	$I''=1,25$ кА (трехфазный ток КЗ) $I^{(2)}=1,09$ кА двухфазный ток КЗ)
Токовая отсечка (ТО)	Резервная защита	$I''=1,25$ кА (трехфазный ток КЗ) $I^{(2)}=1,09$ кА двухфазный ток КЗ)
Защита от замыканий на землю (ЗНЗ)	Резервная защита	$I^{(1)}=5$ А

Таким образом, будут защищены все элементы питающей КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот».

Выводы по разделу.

В работе, основываясь на приведённых выше полученных результатах, рассчитаны уставки основных устройств микропроцессорных блоков релейной защиты и автоматики силовых трансформаторов 6/0,4 кВ и питающих линий на подстанции КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот».

Для применения на объекте исследования обоснован выбор микропроцессорных блоков (терминалов) РЗиА:

- терминал 7SJ61 Siprotec4 – для защиты силовых трансформаторов подстанции;
- терминал 6MD63 Siprotec 4 – для защиты питающих линий 6 кВ подстанции.

С учётом выбора типов и уставок релейной защиты и автоматики, все основные элементы и оборудование питающей КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» будут защищены.

Заключение

В результате выполнения работы, проведена разработка проекта модернизации схемы электрических соединений нормального режима трансформаторной подстанции КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», с полной заменой устаревших ячеек и их силового оборудования в распределительном устройстве 6 кВ данной подстанции, а также с введением в эксплуатацию нового технологического оборудования участка цеха.

Приведено описание и анализ исходной схемы электрических соединений КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», с анализом технических данных нагрузки потребителей.

В результате проведения анализа исходных технических данных схемы нормальных соединений и состояния основного оборудования на КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», было установлено и обосновано следующее:

- схема электрических соединений участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» (радиальная схема с резервированием на высшем и низшем напряжениях) полностью соответствует нормативным требованиям и подходит для электроснабжения потребителей I и II категорий надёжности данного объекта. По этой причине она не нуждается в реконструкции. В силу данных обстоятельств, в работе необходимо проверить принятые технические решения по выбору трансформаторов и кабельных линий (сетей) питающей КТП-6/0,4 кВ с учётом подключения нового оборудования;
- с учётом проведённой модернизации основного технологического оборудования, произошло изменение установленных мощностей участка цеха сульфата аммония ПАО «КуйбышевАзот». Исходя из данного факта, необходимо проверить и выбрать новые

коммутационные аппараты и проводники во внутрицеховой системе электроснабжения данного объекта;

- предложено осуществить модернизацию ячеек РУ-6 кВ КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония ПАО «КуйбышевАзот», осуществляемую с заменой устаревшего основного оборудования, на новое современное оборудование. Таким образом, в работе предложено заменить неэффективные, ненадёжные и старые ячейки типа КСО-366 с оборудованием 6 кВ, на современные ячейки типа КРУ внутренней установки (марку необходимо выбрать в работе).

Для решения поставленной задачи проведено решение следующих вопросов:

- проведён расчёт нагрузок отдельных присоединений потребителей, секций сборных шин, а также всей питающей трансформаторной подстанции КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» в целом;
- для установки на трансформаторной подстанции КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот» обоснованы и рекомендованы силовые трансформаторы марки ТМГ-630/10. Выбранные трансформаторы проверены на загрузку мощностью в нормальном режиме работы, а также на допустимую аварийную перегрузку;
- выбраны и проверены сечения проводников трансформаторной подстанции КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», а также питающей и распределительной сетей системы электроснабжения данного участка цеха. «Для питающей кабельной линии 6 кВ КТП-6/0,4 кВ объекта выбраны силовые кабели марки АСБл-10 (3×25), условия прокладки – в стандартной земляной траншее. Для электроснабжения питающей и распределительной сети потребителей напряжением 0,38/0,22 кВ участка цеха в работе

- приняты, соответственно, низковольтные пятижильные и четырёхжильные кабели марки ВВГнг-LS» [4];
- проведён расчёт максимальных токов трёхфазного и двухфазного короткого замыкания, а также ударных токов, в сети напряжением 6 кВ и 0,38/0,22 кВ;
 - выбраны новые современные ячейки РУ-6 кВ комплектного распределительного устройство типа КРУ серии К-213 (изготовитель – электротехническая компания «ДАК-Энергетика»);
 - для установки в новых ячейках КРУ типа КРУ К-213, обоснован выбор вакуумных выключателей нового образца и модификации марки VD-4-10-20/630-У2-48 (производитель – фирма АВВ, Швеция), а также трансформаторов тока марки ТПОЛМ-10;
 - проверено оборудование для установки в РУ-0,4 кВ трансформаторной подстанции КТП-6/0,4 кВ участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот», а также в питающей и распределительной системе электроснабжения организации напряжением 0,38/0,22 кВ, в результате чего проверены вводные и секционный автоматы для установки в РУ-0,4 кВ питающей ТП-6/0,4 кВ, а также вводные и линейные автоматы для защиты и коммутации питающих и отходящих линий 0,38/0,22 кВ.

Для применения на объекте исследования обоснован выбор микропроцессорных блоков (терминалов) РЗиА питающей КТП-96:

- терминал 7SJ61 Siprotec4 – для защиты силовых трансформаторов;
- терминал 6MD63 Siprotec 4 – для защиты питающих линий 6 кВ.

Таким образом, далее в работе необходимо решить комплексную задачу по внедрению предложенных мероприятий по проверке на работоспособность схемы главных электрических соединений нормального режима внешнего электроснабжения с учётом модернизации оборудования и сетей внутреннего электроснабжения участка цеха сульфата аммония на ПАО «КуйбышевАзот».

Список используемых источников

1. Выключатели автоматические ВА. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.elektrokontaktor.ru/produkcija/vyklyuchateli-avtomaticheskie-va> (дата обращения: 24.03.2023).
2. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 343 с.
3. Китунович Ф.Г. Энергетика России. 1920-2020 гг. В 4 томах. М.: Энергия, 2020. 1072 с.
4. Климова Г.Н. Электроэнергетические системы и сети. Энергосбережение. Учебное пособие. М.: Юрайт, 2016. 180 с.
5. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Академия, 2020. 320 с.
6. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для ВУЗов. 5-е издание, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2018. 608 с.
7. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование: Учебное пособие. СПб.: Лань, 2018. 316 с.
8. ПАО «КуйбышевАзот» [Электронный ресурс]: URL: <https://www.kuazot.ru/> (дата обращения: 23.03.2023).
9. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2019. 174 с.
10. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. М.: ЗАО «Энергосервис», 2019. 324 с.
11. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: Альвис, 2018. 632 с.
12. Продукция SIPROTEC Siemens релейная защита и автоматика [Электронный ресурс]: URL: <http://www.elektroshchit.ru/siemens-relejnjaja->

[zashhita-i-avtomatika/](#) (дата обращения: 23.03.2023).

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

14. Свириденко Э.А. Основы электротехники и электроснабжения. М.: Техноперспектива, 2018. 436 с.

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

16. СТО 56947007- 29.240.30.047-2010. «Рекомендации по применению типовых принципиальных электрических схем распределительных устройств подстанций 35 - 750 кВ». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.twirpx.com/file/2616342/> (дата обращения: 23.03.2023).

17. СТО 56947007-29.240.30.010-2008. «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.twirpx.com/file/24666/> (дата обращения: 24.03.2023).

18. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 № 35-ФЗ об энергосбережении [Электронный ресурс]: URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/ (дата обращения: 22.03.2023).

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

20. Ячейки К-213. [Электронный ресурс]: URL: <http://dakenergo.com/yacheyka-raspredelitelnogo-ustroystv/> (дата обращения: 23.03.2023).