

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра Электроснабжение и электротехника

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Реконструкция системы электроснабжения производства аммиака
химического предприятия

Обучающийся

М. И. Фесенко

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., О. В. Самолина

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

Тольятти 2025

Аннотация

В работе разработаны, обоснованы, исследованы и предложены мероприятия по реконструкции системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия.

Установлено, что реконструкция системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия отражает актуальную стратегию повышения надёжности и эффективности объектов энергетической инфраструктуры.

Особое внимание уделено повышению надёжности, экономической эффективности и безопасности объекта исследования, для чего в работе решены следующие основные задачи: проведен комплексный анализ данных на выполнение работы и исходной схемы электроснабжения производства аммиака, с последующей разработкой рациональных мероприятий по устранению выявленных недостатков, проведена оценка электрических нагрузок на объекте реконструкции, осуществлены расчеты токов короткого замыкания, осуществлен выбор и проверка силовых трансформаторов, проводников и силового оборудования, а также систем релейной защиты питающей подстанции объекта исследования.

Установлено, что полученные результаты исследования демонстрируют возможности оптимизации эксплуатационных затрат и создают предпосылки для дальнейшего развития как исследуемого объекта, так и электроэнергетической инфраструктуры производства аммиака.

Расчётно-пояснительная записка работы содержит 57 печатных страниц, включая введение, шесть основных разделов, заключение с общими выводами по работе, а также список используемых источников, состоящий из 20 наименований.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных на выполнение работы.....	7
1.1 Общая характеристика технологического процесса и оборудования	7
1.2 Анализ однолинейной схемы и оборудования системы электроснабжения предприятия	11
2 Расчет электрических нагрузок	18
3 Выбор и проверка трансформаторов ГПП и цеховых ТП производства аммиака.....	22
3.1 Проверка силовых трансформаторов ГПП на допустимую перегрузку	22
3.2 Выбор и проверка силовых трансформаторов цеховых ТП	25
4 Расчёт токов короткого замыкания	30
5 Выбор и проверка проводников и электрических аппаратов	36
5.1 Выбор и проверка проводников	36
5.2 Выбор типов и марок распределительных устройств и электрических аппаратов.....	42
6 Выбор системы релейной защиты и автомата питающей ГПП	49
Заключение	52
Список используемой литературы и используемых источников.....	56

Введение

Реконструкция системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия отражает актуальную стратегию повышения надёжности и эффективности объектов энергетической инфраструктуры.

Сегодня наблюдается ускоренный износ оборудования на подобных узлах, что приводит к росту аварийных отключений и росту расходов на планово-предупредительные ремонты.

Инженерные решения, предлагаемые современным рынком, включают инновационные коммутационные аппараты, цифровые средства мониторинга и оптимизированные схемы управления, позволяющие обеспечить гарантированное энергоснабжение потребителей различной категории, включая объекты первой группы надёжности.

Устойчивый интерес к обновлению подстанций подтверждается рядом государственных программ, ориентированных на модернизацию важнейших элементов электросетевого хозяйства в условиях возросшей нагрузки и ужесточения требований по безопасности.

В частности, нормативная база в Российской Федерации устанавливает комплекс регламентов, ориентированных на надёжность, безопасность, бесперебойность и стабильность функционирования подобного рода объектов, а также предусматривает строгие критерии энергосбережения и ответственности за возможные нарушения основных положений нормативно-правовых документов [8], [9], [10], [19].

Известно, что применение новых устройств и технологий требует всестороннего анализа, поскольку переход на современное оборудование затрагивает не только аппаратную составляющую, но и алгоритмы эксплуатации, включая компьютерное моделирование и дистанционную диагностику.

Таким образом, указанные аспекты формируют актуальность настоящей работы.

Кроме того, практический эффект работы, помимо расширения материальной базы и получения большего объёма выпускаемой продукции и прибыли, также состоит в улучшении качества электроэнергии и сокращении аварийных отключений, что положительно сказывается на экономических результатах, сроках изготовления конечной продукции и конкурентоспособности предприятия на рынке производства аммиака.

Основная цель работы заключается в разработке технических и организационных мероприятий, способных обеспечить надлежащее качество и надёжность электроснабжения потребителей при минимальных рисках аварий и технологических сбоев, при проведении реконструкции системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия.

Объект исследования охватывает все структурные элементы системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия: распределительные устройства и их оборудование, силовые трансформаторы, питающие и отходящие линии.

Предмет исследования состоит в способах и методах повышения надёжности, энергоэффективности, безопасности, экономичности и технологической гибкости системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия вследствие проведения её реконструкции.

Достижение заявленного результата требует постановки ряда исследовательских и проектных задач:

- анализ исходных данных, отражающих текущее состояние схем электрических соединений и основного оборудования;
- оценка электрических нагрузок с учётом будущего увеличения потребления электроэнергии путём ввода в эксплуатацию новых потребителей производства аммиака химического предприятия;
- расчёт и проверка технических решений в системе электроснабжения производства аммиака химического предприятия;

- выбор и проверка современной системы релейной защиты и автоматики с целью её внедрения на ГПП производства аммиака химического предприятия.

Основные методы исследования, применяемые в работе, базируются на расчётах установившихся режимов, аналитических способах определения нагрузок и моделировании нормальных и аварийных процессов, позволяющем прогнозировать влияние на оборудование, технических параметров нормативных условий и ненормальных режимов работы системы.

В процессе работы также учитывается практический опыт аналогичных проектов в отрасли.

Приведённая структура работы позволяет сформировать комплексное решение по проведению реконструкции системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия, отвечающее современным требованиям надежности, безопасности и рентабельности, а также обеспечивает всесторонний учет актуальной нормативной базы и потенциальных рисков, связанных с функционированием объекта исследования.

Анализ исходных данных на выполнение работы

Общая характеристика технологического процесса и оборудования

Далее в работе проводится анализ исходных данных по теме работы, которая предполагает реконструкцию системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия (объект исследования).

Исходя из этого, в работе собраны технические характеристики, схемные решения и параметры системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия.

Производственная система электроснабжения на химическом предприятии, занимающемся производством аммиака, является сложной и многоуровневой сетью, обеспечивающей бесперебойную передачу электроэнергии для функционирования всех ключевых технологических процессов, от синтеза аммиака до его очистки и упаковки.

Основное внимание уделяется созданию устойчивых и энергоэффективных систем электроснабжения, включающих ряд критичных производственных участков.

Каждый участок выполняет свою уникальную роль в обеспечении бесперебойной работы предприятия, минимизации затрат на электроэнергию и повышении общей надёжности всего комплекса производства.

Производственный процесс выпуска аммиака состоит из шести основных крупных участков, каждый из которых выполняет специфическую технологическую функцию и обладает особыми требованиями к электроснабжению.

Первый участок связан с предварительной подготовкой газового сырья, где очищаются поступающие углеводородные фракции и удаляются нежелательные примеси.

На этом этапе применяются отстойники, фильтры и газодувки с регулированием производительности.

Поддержание стабильной работы оборудования на основе датчиков и исполнительных механизмов, а также обеспечение нормальных условий функционирования автоматических клапанов и вспомогательных насосов, требуют постоянной подачи электроэнергии.

Второй участок связан с первичным реформингом метана и других углеводородов при высоких температурах и присутствии водяного пара.

Реакционная часть размещена в трубчатых печах, обогреваемых газом или смесью водорода и метана, а внутри таких печей происходит термическое расщепление.

Электроэнергией обеспечиваются приводы тягодутьевых машин, вентиляторов и контрольно-измерительных приборов, включая системы защиты от перегрева.

Данные устройства критически важны для поддержания нужного температурного профиля и прохождения химической реакции на катализаторе.

Третий участок охватывает конверсию оксида углерода, возникающего при первичном реформинге.

Каталитическая конверсия протекает при заданной температуре, которую поддерживают циркуляционные насосы, компрессоры и регуляторы парового потока.

Электропитание требуется для функционирования управляющей аппаратуры, предохранительных систем и расчётных комплексов, анализирующих состав газовой смеси.

Надёжное электроснабжение особо важно, ведь любая заминка в подаче энергии способна нарушить баланс реакции и вывести процесс на опасный уровень концентраций.

Затем газовый поток поступает на стадию удаления двуокиси углерода (четвёртый участок).

Технологическая схема включает поглотительные колонны, где подбирается подходящий абсорбент, и последующие регенерационные ёмкости, позволяющие выделять CO_2 в чистом виде.

Электроприводы компрессоров и насосов, задействованных при циркуляции растворов, являются значимым пунктом нагрузки, а непрерывный контроль за температурным режимом и давлением в колоннах реализуется через блоки автоматики, зависящие от исправного электроснабжения.

Следующая ступень связана с подготовкой и очищением азота (пятый участок).

Исходный поток воздуха проходит через систему компрессоров высокого давления и блок низкотемпературной сепарации. Охлаждение сопровождается потреблением электроэнергии для механизмов глубокого холода, основанных на холодильных машинах.

Манипуляции с криогенными температурными диапазонами предполагают повышенные требования к надёжности электропитания, поскольку любые сбои в цепи приводят к резкому изменению температурных градиентов и риску утраты работоспособности изоляционных материалов.

Завершение синтеза аммиака происходит в реакторе, где при высоком давлении и в присутствии катализатора азот соединяется с водородом (шестой участок).

Впрыск газов и перераспределение потоков по внутренним зонам реактора осуществляют мощные компрессоры, работающие на электроэнергии.

Большое число преобразователей частоты, управляющих скоростью вращения приводов, ответственно за поддержание стабильного температурного профиля.

Системы пожарной безопасности и взрывобезопасности, включающие вентиляцию и блокировки, работают на базе электроэнергии, которая обеспечивает активацию клапанов и детекторов утечки.

Далее, на стадии охлаждения и конденсации аммиака, выходящий из реактора газ проходит через теплообменную аппаратуру, где избыточное тепло передаётся охлаждающей среде.

Глубокое охлаждение производится за счёт холодильного цикла, который требует обслуживания насосами, вентиляторами и элементами конденсаторов.

Наличие контрольно-измерительных панелей с сигнализацией и спусковыми клапанами исключает перегрузку по давлению, а бесперебойное питание данного комплекта устройств поддерживает безопасность и целостность агрегатов.

Завершающим блоком выступает участок хранения и экспедиции готового продукта.

Резервуары высокой прочности оснащены системами поддержания требуемого давления, а часть аммиака отгружается в цистерны или специальные контейнеры с использованием насоса перелива.

Контроль наполнения и герметичности, предотвращение утечек и управление перемещением жидкого продукта зависят от целостности силовых и сигнальных цепей.

Применение электроуправляемых заслонок и запорной арматуры позволяет оперативно реагировать на изменения уровня внутри хранилищ. Организация надлежащего электроснабжения помогает предотвратить аварийные выбросы, сохранив целостность оборудования и исключая попадание аммиака в окружающую среду.

Все вспомогательные подразделения и оборудование включено в основные производственные участки, поэтому они в работе отдельно не рассматриваются. Они получают питание от шести двухтрансформаторных цеховых подстанций 10/0,4 кВ.

Исходные проектные мощности участков системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия представлены в форме таблицы 1.

Таблица 1 – Исходные проектные мощности участков системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия

Наименование участка	Номер по плану	Проектная максимальная нагрузка, P_m , кВт	Категория надёжности
Участок 1	1	6500,0	I
Участок 2	2	3100,0	II
Участок 3	3	2500,0	II
Участок 4	4	2000,0	II
Участок 5	5	2400,0	I
Участок 6	6	1800,0	II
Всего по системе электроснабжения производства аммиака химического предприятия	-	18300,0	I, II

План расположения указанных участков системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия представлен в графической части работы.

Анализ однолинейной схемы и оборудования системы электроснабжения предприятия

Рассматриваемая в работе система электроснабжения производства аммиака химического предприятия включает несколько основных составляющих:

- главная понизительная подстанция 110/10 кВ (ГПП-110/10 кВ) – расположена на территории предприятия и функционирует как тупиковая понизительная подстанция, обеспечивая передачу и распределение электроэнергии потребителям данного предприятия на номинальном напряжении 10 кВ;
- шесть цеховых понизительных двухтрансформаторных подстанций 10/0,4 кВ (ТП-10/0,4 кВ) – предназначены для понижения напряжения 10 кВ, которое ТП-10/0,4 кВ получают от шин РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ;

- потребители 0,38/0,22 кВ – отдельные механизмы и агрегаты, работающие на номинальных напряжениях 0,38 кВ (трёхфазные потребители) и 0,22 кВ (однофазные потребители, включая освещение).

Далее проводится описание и характеристика приведённых составляющих системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия.

ГПП-110/10 кВ производства аммиака химического предприятия получает питание по двухцепной воздушной линии электропередачи отпайкой от магистральной воздушной линии 110 кВ.

Питающая сеть напряжением 110 кВ, к которой подключена подстанция, образует единый комплекс высоковольтных линий, связывающих региональные и межрегиональные центры нагрузок не только химического предприятия, но и всего региона.

Указанная функциональная взаимосвязь диктует необходимость применения современного оборудования с высоким ресурсом, адаптированного к интенсивным режимам работы, колебаниям погодных условий и возможным перегрузкам.

«В схеме рассматриваемой ГПП-110/10 кВ присутствуют следующие основные структурные элементы:

- два силовых трансформатора марки ТДН-16000/110, преобразующие высшее напряжение 110 кВ до уровня 10 кВ;
- распределительные устройства (РУ) высшего – 110 кВ и низшего – 10 кВ напряжений.

Далее в работе проводится характеристика схем и оборудования подстанции.

Распределительное устройство высшего напряжения 110 кВ подстанции конструктивно выполнено открытым с применением схемы 110-4 «Два блока с отделителями и неавтоматической перемычкой со стороны линий» [5], состоящей из двух разъединителей марки РНДЗ-110/1000 У1.

В данной схеме находятся два отделителя марки ОД-110/800 У1, а также два короткозамыкателя КЗ-110У1.

Для защиты от атмосферных перенапряжений, в ОРУ 110 кВ подстанции применяются разрядники марки РВС-110 У1.

Всё приведённое выше силовое оборудование было установлено в 1972 году.

Состояние перечисленного оборудования – неудовлетворительное, в последнее время происходят частые технологические отказы и сбои.

Также установлено, что данное оборудование – устаревшее, поэтому требуется его замена на современное оборудование, лишённое указанных недостатков.

Применение такой конфигурации уменьшает объём коммутационного оборудования и упрощает обслуживание, поскольку выключатели блоков отвечают за оперативные операции, а перемычка изолирует проблемные участки при аварийных и плановых работах.

Такая схема даёт значительную экономическую выгоду из-за сокращения числа дорогостоящих аппаратов, а сам процесс эксплуатации упрощается, потому что при отключении блока сохраняется возможность подачи мощности на другие присоединения.

Однако известно, что блоки «отделитель – короткозамыкатель» не обладают требуемой достаточной надёжностью, что создаёт проблему не только на вводах 110 кВ подстанции, но и во всей системе электроснабжения производства аммиака химического предприятия.

Согласно современным требованиям и нормам, которые предъявляются к схемам подстанций, в открытом распределительном устройстве (ОРУ) 110 кВ предлагается заменить блоки «отделитель – короткозамыкатель» на высоковольтные выключатели [5].

Распределительное устройство низшего напряжения 10 кВ подстанции конструктивно выполнено комплектным (КРУ 10 кВ) с применением ячеек внутренней установки.

В КРУ 10 кВ подстанции применяется схема 10-9 «Одна рабочая секционированная выключателем система шин» [3].

В данной схеме секционный выключатель в нормальном режиме отключён, таким образом, в схеме КРУ 10 кВ применяется рекомендованный раздельный режим работы секций сборных шин.

От двух секций сборных шин КРУ 10 кВ отходят кабельные линии для питания шести цеховых ТП-10/0,4 кВ на напряжении 10 кВ.

В КРУ 10 кВ установлены масляные выключатели марки ВМП-10/1000 У1, разрядники РВС-10 У1, а также два трансформатора напряжения марки НТМИ-10 УХЛ1.

Разъединители ячеек КРУ 10 кВ заменены втычными контактами.

Все аппараты монтируются в устаревших ячейках серии КРУ КУ-10, находящиеся в неудовлетворительном состоянии и также требующих замены.

Всё перечисленное оборудование введено в эксплуатацию в 1989 году.

Таким образом установлено, что в КРУ 10 кВ требуется модернизация устаревших горшковых выключателей, разрядников, ТН и ячеек, в которых они установлены, так как они не обеспечивают требуемой надёжности, а также являются устаревшими моделями.

Для обеспечения питания собственных нужд подстанции, установлено два трансформатора собственных нужд (ТСН) марки ТМ-160/6.

Далее рассматриваются потребители предприятия производства аммиака химического предприятия, к числу которых относятся производственные участки и цеха, получающие питание от шин 10 кВ объекта реконструкции.

«Установлено, что в связи с расширением производства, требуется значительное увеличением производственных мощностей, поэтому вводятся в эксплуатацию два новых объекта, получающих питание от собственных цеховых трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ.

С учётом этого, в распределительную сеть производства аммиака химического предприятия, состоящая из шести двухтрансформаторных ТП-

10/0,4 кВ, необходимо добавить две новые цеховые подстанции, питающие два новых производственных цеха» [5].

Следовательно, данный аспект обуславливает основную задачу реконструкции системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия.

Поэтому для дальнейших исследований приводятся проектные данные нагрузок производственных участков и цехов производства аммиака химического предприятия, актуальные в результате внедрения мероприятий по реконструкции объекта исследования.

Указанные данные занесены в таблицу 2.

Таблица 2 – Проектные данные нагрузок производственных участков и цехов производства аммиака химического предприятия, актуальные в результате внедрения мероприятий по реконструкции объекта исследования

Наименование участка	Номер по плану	Проектная максимальная нагрузка, P_m , кВт	Категория надёжности
Существующие (исходные) подразделения			
Участок 1	1	6500,0	I
Участок 2	2	3100,0	II
Участок 3	3	2500,0	II
Участок 4	4	2000,0	II
Участок 5	5	2400,0	I
Участок 6	6	1800,0	II
Перспективные (новые) подразделения			
Участок 7	7	1200,0	II
Участок 8	8	900,0	II
Всего по системе электроснабжения производства аммиака химического предприятия (с учётом перспективных подразделений)	-	20400,0	I, II

Таким образом показано, что в системе электроснабжения производства аммиака химического предприятия, увеличивается мощность нагрузки в связи с вводом в эксплуатацию новых потребителей, что приводит к необходимости внесения изменений в схему электрических соединений.

Также требуется реконструкция схемных решений и модернизация устаревшего оборудования на питающей ГПП-110/10 кВ.

Выводы по разделу.

Установлено, что рассматриваемая в работе система электроснабжения производства аммиака химического предприятия включает несколько основных составляющих:

- главная понизительная подстанция 110/10 кВ (ГПП-110/10 кВ) – расположена на территории предприятия и функционирует как тупиковая понизительная подстанция, обеспечивая передачу и распределение электроэнергии потребителям данного предприятия на номинальном напряжении 10 кВ;
- шесть цеховых понизительных двухтрансформаторных подстанций 10/0,4 кВ (ТП-10/0,4 кВ) – предназначены для понижения напряжения 10 кВ, которое ТП-10/0,4 кВ получают от шин РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ;
- потребители 0,38/0,22 кВ – отдельные механизмы и агрегаты, работающие на номинальных напряжениях 0,38 кВ (трёхфазные потребители) и 0,22 кВ (однофазные потребители, включая освещение).

В результате проведения анализа исходных данных показано, что в системе электроснабжения производства аммиака химического предприятия, увеличивается мощность нагрузки в связи с вводом в эксплуатацию новых потребителей, что приводит к необходимости внесения изменений в схему электрических соединений. Также требуется реконструкция схемных решений и модернизация устаревшего оборудования на питающей ГПП-110/10 кВ

Предложены и обоснованы следующие мероприятия по реконструкции однолинейной схемы системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия, с учётом модернизации её оборудования:

- в связи с расширением производства, требуется значительное увеличение производственных мощностей, поэтому вводятся в эксплуатацию два новых объекта;

- в РУ 110 кВ питающей ГПП-110/10 кВ предлагается заменить схему 110-4 «Два блока с отделителями и неавтоматической переключкой со стороны линий», состоящую из двух разъединителей, на современную схему 110-4Н «Два блока с выключателями и неавтоматической переключкой со стороны линий», а также вместо устаревшего и громоздкого ОРУ 110 кВ с устаревшими масляными баковыми выключателями, разъединителями и разрядниками, применить современный тип КРУЭ 110 кВ с соответствующим оборудованием;
- в РУ 10 кВ подстанции предлагается оставить без изменения схему 10-9 «Одна рабочая секционированная выключателем система шин», однако планируется дополнительно задействовать четыре ячейки для обеспечения электроснабжения новых потребителей на напряжении 10 кВ и заменить устаревшие и неэффективные масляные горшковые выключатели и разрядники, соответственно, на современные выключатели с вакуумной изоляцией и ограничители перенапряжения (с заменой устаревших ячеек, находящиеся в неудовлетворительном состоянии, на современные модификации), также рекомендована замена трансформаторов напряжения 10 кВ на более современные и надёжные разработки.

Указанные мероприятия после детального обоснования в работе далее предлагается внедрить на объекте исследования.

Расчет электрических нагрузок

Расчёт электрических нагрузок системы электроснабжения производства аммиака на химическом предприятии после проведения реконструкции является важнейшим этапом проектирования и эксплуатации энергосистемы, необходимым для обеспечения высокой надёжности электроснабжения и оптимальной загрузки электрооборудования.

В условиях реконструкции производства аммиака, связанной с увеличением производственных мощностей и вводом новых технологических линий и потребителей, происходит существенный прирост общей нагрузки на систему электроснабжения.

В такой ситуации существующие энергосети могут оказаться не способными обеспечить требуемую мощность и качество электроэнергии, что обуславливает необходимость точного расчёта и пересмотра структуры нагрузок.

Расчёт электрических нагрузок осуществляется с применением современных методик, основанных на использовании коэффициентов спроса, коэффициентов одновременности и «коэффициентов загрузки оборудования, учитывающих специфику функционирования химического производства и режимы работы основных технологических агрегатов.

При этом тщательно анализируется состав и характеристика технологического оборудования, такого как компрессорные агрегаты высокого давления, системы синтеза аммиака, насосные станции и установки охлаждения, а также оборудование для транспортировки и хранения сырья и готовой продукции.

Учитываются также нагрузки вспомогательных и обслуживающих систем — вентиляции, кондиционирования, отопления, освещения и автоматизированных систем управления технологическими процессами» [7].

Полученные в результате расчёта максимальные электрические нагрузки позволяют сформировать детальную картину потребления электроэнергии предприятием после реконструкции, что является необходимой базой для проверки пропускной способности существующих линий электропередачи и выбора новых линий для питания перспективной нагрузки, а также силовых трансформаторов, коммутационного оборудования и устройств релейной защиты и автоматики.

Таким образом, расчёт электрических нагрузок после реконструкции производства аммиака позволяет обеспечить оптимальный режим эксплуатации электрооборудования, повысить энергоэффективность предприятия, исключить риски перегрузок и аварийных отключений, а также создать условия для стабильного и экономически эффективного функционирования всего производственного комплекса.

Результаты данного расчёта являются основой для «принятия обоснованных технических решений при выборе нового оборудования и разработке мероприятий по модернизации и развитию энергосистемы предприятия.

Расчёт проводится методом коэффициента спроса.

Активная нагрузка объектов, кВт» [7]:

$$P_p = P_n \cdot K_c, \quad (1)$$

где « P_n – номинальная (паспортная) активная нагрузка, кВт;

K_c – значение коэффициента спроса» [7].

«Полная нагрузка, кВА» [7]:

$$S_p = \frac{P_p}{\cos \varphi}. \quad (2)$$

«Реактивная нагрузка, квар» [7]:

$$Q_p = \sqrt{S_p^2 - P_p^2}. \quad (3)$$

«Групповые расчётные нагрузки системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия» [7]:

$$P_{P.\Sigma} = \sum P_p, \quad (4)$$

$$Q_{P.\Sigma} = \sum Q_p, \quad (5)$$

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

«Расчётный ток» [7]:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}. \quad (7)$$

«На примере первого участка системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия» [7]:

$$P_p = 6500 \cdot 0,8 = 5200 \text{ кВт},$$

$$S_p = \frac{5200}{0,94} = 5532 \text{ кВА},$$

$$Q_p = \sqrt{5532^2 - 5200^2} = 1887,6 \text{ квар.}$$

$$I_p = \frac{5532}{\sqrt{3} \cdot 10} = 319,8 \text{ А.}$$

«Аналогичные расчёты проведены для остальных подразделений системы электроснабжения системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия и всего объекта.

Полученные результаты представлены» [7] в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчёта электрических нагрузок системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия

Наименование участка	P_m , кВт	K_c , о.е.	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
Участок 1	6500,0	0,8	5200,0	1887,6	5532,0	319,8
Участок 2	3100,0	0,8	2480,0	900,1	2638,3	152,5
Участок 3	2500,0	0,9	2240,0	813,1	2383,0	137,7
Участок 4	2000,0	0,8	1600,0	580,6	1702,1	98,4
Участок 5	2400,0	0,8	1920,0	697,0	2042,6	118,1
Участок 6	1800,0	0,8	1440,0	522,9	1532,0	88,6
Участок 7	1200,0	0,8	960,0	348,5	1021,3	59,0
Участок 8	900,0	0,8	720,0	261,4	766,0	44,3
Всего по системе электроснабжения производства аммиака химического предприятия	20400,0	-	16560,0	6011,2	17617,3	1018,3

«Полученные результаты используются для выбора и проверки технических решений в системе электроснабжения» [7] производства аммиака химического предприятия в результате проведения её реконструкции.

Выводы по разделу.

Проведены расчёты максимальной нагрузки в системе электроснабжения производства аммиака химического предприятия после внедрения мероприятий по реконструкции:

- отдельных участков на напряжении 10 кВ;
- суммарной нагрузки системы электроснабжения объекта.

При расчёте нагрузки подстанции применялся рекомендованный метод коэффициента спроса.

Полученные результаты используются для технических решений в системе электроснабжения производства аммиака химического предприятия в результате проведения её реконструкции.

Выбор и проверка трансформаторов ГПП и цеховых ТП производства аммиака

Проверка силовых трансформаторов ГПП на допустимую перегрузку

Проверка силовых трансформаторов главной понизительной подстанции 110/10 кВ производства аммиака химического предприятия на допустимую нагрузочную и перегрузочную способность в условиях реконструкции схемы электроснабжения и увеличения электрических нагрузок, является важнейшей задачей, направленной на обеспечение надёжного функционирования энергосистемы и предотвращение аварийных ситуаций на объекте.

Данное мероприятие обусловлено тем, что в процессе реконструкции происходит значительный прирост общей мощности, потребляемой потребителями, подключёнными к распределительным устройствам подстанции.

Следовательно, имеющиеся на объекте трансформаторы могут оказаться перегруженными, что увеличивает вероятность выхода оборудования из строя, а также может привести к снижению качества электроснабжения и нарушению нормальных технологических процессов.

В процессе выполнения указанных расчётов проводится оценка термической и электрической стойкости трансформаторов с проверкой таких параметров, как допустимая продолжительность перегрузки, максимально возможная температура нагрева изоляции обмоток и возможность восстановления нормальных температурных режимов после ликвидации перегрузочных состояний.

Также учитывается степень износа трансформаторов, исходя из срока эксплуатации и проведённых ранее профилактических мероприятий.

По результатам выполненных расчётов принимаются выводы о допустимости сохранения существующих трансформаторов в эксплуатации, либо о необходимости их замены на более мощные аналоги, способные удовлетворить потребности в увеличенной мощности после реконструкции.

В случае положительного результата проверок подтверждается соответствие трансформаторов требованиям нормативно-технической документации и их способность к безопасной и надёжной работе в условиях повышенных нагрузок.

Таким образом, проведённая проверка силовых трансформаторов главной понизительной подстанции 110/10 кВ на допустимую нагрузочную и перегрузочную способность является обязательным этапом реконструкции и обеспечивает необходимые условия для стабильного и безопасного электроснабжения потребителей, предотвращения аварий и оптимизации дальнейших затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание энергооборудования.

«Расчётная мощность силового трансформатора для установки на двухтрансформаторной подстанции» [16]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq \frac{S_{\text{м.гпп}}}{N \cdot K_3}, \quad (8)$$

где « $S_{\text{м.гпп}}$ – максимальное значение полной расчетной нагрузки ГПП-110/10 кВ» [16].

«Проверка силовых трансформаторов марки ТДН-16000/110, установленных ранее на питающей ГПП-110/10 кВ» [16], на соответствие увеличившейся нагрузке потребителей подстанции в связи с её реконструкцией, по формуле (11) выполняется:

$$16000 \text{ кВА} \geq \frac{17617,3}{2 \cdot 0,7} = 12583,8 \text{ кВА}.$$

Дальнейшая проверка силовых трансформаторов включает в себя анализ режимов работы в нормальных и послеаварийных условиях.

В нормальном режиме необходимо убедиться в соответствии номинальной мощности трансформаторов прогнозируемым максимальным нагрузкам с учётом заданных коэффициентов спроса и одновременности.

Основной задачей является подтверждение способности трансформаторов в длительном и стабильном режиме обеспечивать заданную нагрузку без превышения максимально допустимых температурных значений и перегрева изоляции обмоток.

Данная проверка проводится по следующему условию [4]:

$$K_{3.H} = \frac{0,5 \cdot S_{M.ГПП}}{S_{НОМ.Т}} \leq 0,7. \quad (9)$$

Условие проверки по формуле (9) выполняется:

$$K_{3.H} = \frac{0,5 \cdot 17617,3}{16000} = 0,55 \leq 0,7.$$

В послеаварийном режиме проверка силовых трансформаторов приобретает особое значение, так как в условиях аварийного отключения одного из трансформаторов нагрузка перераспределяется на оставшийся в работе трансформатор.

В таком режиме необходимо убедиться, что трансформатор способен выдерживать кратковременные перегрузки, возникающие вследствие перераспределения нагрузки, без риска повреждения изоляции и без недопустимого старения элементов конструкции.

Для оценки допустимой перегрузки применяется расчётная методика, учитывающая паспортные данные трансформаторов, характеристики системы охлаждения (например, масляное охлаждение с принудительной циркуляцией

масла и воздуха), температурные пределы материалов изоляции и стандартизированные графики допустимых перегрузок, установленные соответствующими нормативными документами.

Данная проверка проводится по следующему условию [4]:

$$K_{3.п} = \frac{S_{м.гпп}}{S_{ном.т}} \leq 1,4. \quad (10)$$

Условие проверки по формуле (10) выполняется:

$$K_{3.п} = \frac{17617,3}{16000} = 1,1 \leq 1,4.$$

В результате проведения расчётов установлено, что на подстанции 110/10 кВ системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия установленные до реконструкции силовые трансформаторы марки ТДН-16000/110 не нуждаются в замене, так как они соответствуют условиям проверки по расчётной нагрузке потребителей подстанции вследствие увеличения её нагрузки, а также отвечают условиям проверки по нагрузочной способности в нормальном режиме работы и перегрузочной способности в послеаварийном режиме работы.

Проведение своевременной комплексной оценки указанных факторов позволяет с высокой точностью определить остаточный ресурс трансформаторов, скорректировать графики технического обслуживания и на ранних этапах выявить необходимость модернизации или замены оборудования.

В результате полученные данные служат прочной основой для обоснования выбора трансформаторов, что подтверждает их адекватность современным требованиям и позволяет обеспечить долговременную устойчивость работы объекта.

Выбор и проверка силовых трансформаторов цеховых ТП

«Выбор новых силовых трансформаторов на ТП7 и ТП8, а также проверка существующих трансформаторов на ТП1-ТП6 производства аммиака химического предприятия на допустимую нагрузочную и перегрузочную способность в условиях реконструкции схемы электроснабжения и увеличения электрических нагрузок, является важнейшей задачей, направленной на обеспечение надёжного функционирования энергосистемы и предотвращение аварийных ситуаций на объекте» [16].

На ТП7 и ТП8 производится выбор новых силовых трансформаторов исходя из расчётов перспективного роста электрических нагрузок, прогнозируемых на основе планируемых производственных мощностей и режимов работы технологических установок. Важными критериями выбора новых трансформаторов являются их номинальная мощность, схема и группа соединений обмоток, уровень номинальных напряжений на стороне высшего и низшего напряжений, а также показатели надёжности, энергетической эффективности и технологичности эксплуатации.

При выборе оборудования преимущество отдаётся современным трансформаторам с пониженными потерями холостого хода и короткого замыкания, оснащённым эффективными системами охлаждения, а также с достаточным резервом по мощности для покрытия пиковых нагрузок и допустимой аварийной перегрузки [18].

Проверка существующих силовых трансформаторов на ТП1–ТП6 производится с целью оценки их возможности эксплуатации в условиях возросших электрических нагрузок после реконструкции производственных линий.

Анализируется текущее техническое состояние трансформаторов, фактический ресурс эксплуатации, а также возможность работы при нагрузочных и послеаварийных режимах с учётом допустимых перегрузок, установленных действующими нормативными документами.

Проверка существующих трансформаторов проводится путём сопоставления расчётных максимальных нагрузок, определённых в результате выполнения комплексного расчёта электрических нагрузок, с паспортными параметрами трансформаторов, такими как номинальная мощность, максимально допустимые токи нагрузки, продолжительность допустимой перегрузки, температурный режим работы обмоток и масла, а также характеристики системы охлаждения оборудования.

«Мощность трансформаторов для установки на цеховой ТП-10/0,4 кВ» [17]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\sum P_{\text{р.}}}{N \beta_{\text{т}}}, \quad (11)$$

Г

д N – количество трансформаторов ТП, шт.;

е $\beta_{\text{т}}$ – нормируемое значение коэффициента активной загрузки

$\sum P_{\text{р.}}$ – суммарная мощность нагрузки объектов ТП, кВт;

«Проверка трансформатора на примере ТП1» [17]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{6500}{2 \cdot 0,85} = 3823,5 \text{ кВА.}$$

«Исходя из результатов расчёта, на ТП1 проверены два силовых трансформатора ТМГ-4000/10» [18].

«В ходе проверки существующих трансформаторов на нагрузочную способность рассчитываются коэффициенты загрузки оборудования, определяются условия работы трансформаторов при нормальных и послеаварийных режимах работы» [16], что позволяет установить степень использования их мощности и необходимость модернизации или замены на более мощные трансформаторы.

Проводится детальный анализ возможности кратковременных аварийных перегрузок, при которых трансформаторы обязаны выдерживать повышенные нагрузки без повреждения обмоток и изоляции, что критически важно для поддержания надёжности и бесперебойности технологических процессов производства аммиака, особенно в условиях ограниченного времени на переключения или проведения аварийно-восстановительных работ.

Данный анализ проводится по той же методике, что и для трансформаторов питающей ГПП-110/10 кВ.

«Условия проверки по перегрузочной способности трансформаторов ТП1, выполняются» [17]:

$$K_{з.н} = \frac{0,5 \cdot 6500}{4000} = 0,81 \leq 0,85.$$

$$K_{з.п} = \frac{6500}{4000} = 1,625 \leq 1,7.$$

Результаты расчётных проверок позволяют сделать выводы о соответствии существующего трансформаторного оборудования новым условиям эксплуатации, определить необходимость его замены, модернизации, либо проведения мероприятий по перераспределению нагрузки между существующими подстанциями с целью повышения общей эффективности использования трансформаторов.

В случае выявления трансформаторов, находящихся на пределе своих возможностей по загрузке или перегрузочной способности, принимается решение о необходимости их замены либо о введении в схему дополнительных трансформаторов для равномерного распределения нагрузок. «Результаты выбора и проверки остальных силовых трансформаторов для установки на цеховых ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия» [7] представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты выбора и проверки силовых трансформаторов для установки на цеховых ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия

Наименование подразделения	Категория надёжности	Номер ТП	Количество и марка трансформаторов	$P_{p\Sigma}$, кВА
Участок 1	I	ТП № 1	2×ТМГ-4000/10	6500,0
Участок 2	II	ТП № 2	2×ТМГ-2000/10	3100,0
Участок 3	II	ТП № 3	2×ТМГ-1600/10	2500,0
Участок 4	II	ТП № 4	2×ТМГ-1250/10	2000,0
Участок 5	I	ТП № 5	2×ТМГ-1600/10	2400,0
Участок 6	II	ТП № 6	2×ТМГ-1250/10	1800,0
Участок 7	II	ТП № 7	2×ТМГ-1000/10	1200,0
Участок 8	II	ТП № 8	2×ТМГ-630/10	900,0

«Таким образом, в результате проведения выбора новых и проверки существующих силовых трансформаторов на допустимую нагрузочную и перегрузочную способность на трансформаторных подстанциях» [16] ТП1–ТП8 производства аммиака достигается обеспечение соответствия трансформаторного оборудования возросшим эксплуатационным нагрузкам и предотвращение аварийных ситуаций, повышается надёжность электроснабжения производственных процессов и обеспечивается устойчивость работы предприятия в условиях непрерывного химико-технологического производства.

Выводы по разделу.

В результате проведения расчётов установлено, что на подстанции 110/10 кВ системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия установленные до реконструкции силовые трансформаторы марки ТДН-16000/110 не нуждаются в замене, так как они соответствуют условиям проверки по расчётной нагрузке потребителей подстанции вследствие увеличения её нагрузки, а также отвечают условиям проверки по нагрузочной способности в нормальном режиме работы и перегрузочной способности в послеаварийном режиме работы.

Выбраны трансформаторы цеховых ТП-10/0,4 кВ.

Расчёт токов короткого замыкания

В условиях повышенных требований к бесперебойности электроснабжения, особенно для предприятий химической промышленности с непрерывным технологическим процессом, возникновение коротких замыканий представляет серьёзную угрозу стабильности работы оборудования и безопасности технологических циклов, поэтому данному расчёту уделяется особое внимание.

Необходимость проведения расчётов токов короткого замыкания обусловлена тем, что в аварийных режимах токи значительно превышают нормальные рабочие значения и могут вызывать существенные термические и электродинамические воздействия на электрооборудование.

Расчёт токов короткого замыкания на производстве аммиака проводится с целью определения максимально возможных значений токов, которые возникают в электрических цепях в условиях различных видов коротких замыканий, таких как трёхфазные, двухфазные, однофазные замыкания на землю, а также замыкания с участием переходных сопротивлений.

Особое внимание уделяется расчёту токов трёхфазного короткого замыкания, так как именно они характеризуются наиболее высокими значениями и оказывают наибольшее негативное воздействие на элементы системы электроснабжения предприятия.

В процессе проведения расчётов предварительно формируется эквивалентная схема электрической сети с указанием основных элементов: питающих источников, силовых трансформаторов ГПП и цеховых ТП, воздушных и кабельных линий, а также распределительных устройств и нагрузок потребителей.

Исходными данными для построения расчётной схемы служат параметры силового оборудования, такие как сопротивления обмоток трансформаторов, удельные сопротивления линий электропередачи, схемы соединения обмоток трансформаторов, типы и длины проводников.

Также учитываются режимы работы, предполагающие нормальный режим (при работе всех трансформаторов и линий) и послеаварийный режим, когда часть элементов сети выведена из эксплуатации вследствие отключений или плановых ремонтов.

«Расчетная однолинейная схема для расчёта токов короткого замыкания на ГПП-110/10 кВ объекта исследования» [13] показана на рисунке 1.

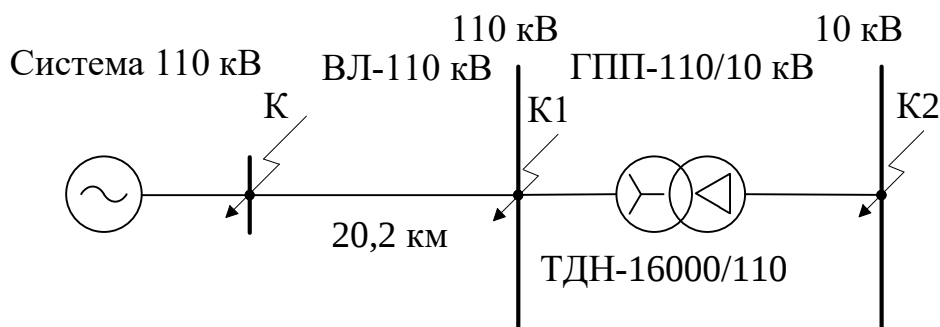


Рисунок 1 – Расчетная схема

На основании созданной расчётной схемы применяются аналитические методы расчёта, основанные на теории симметричных составляющих, что позволяет получить наиболее точные значения токов короткого замыкания для каждой конкретной точки сети.

Итогом применения данного подхода является эквивалентная схема замещения, представленная на рисунке 2.

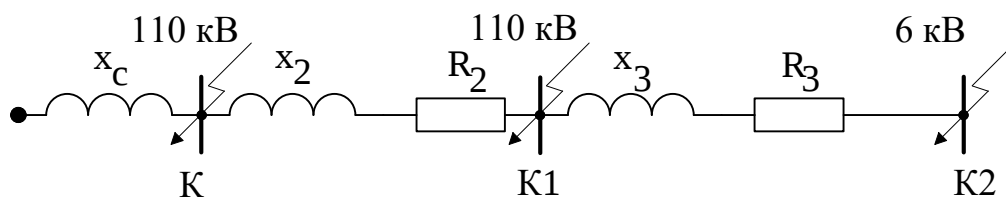


Рисунок 2 – Эквивалентная схема замещения

Расчёт выполняется с учётом периодических (установившихся) и аperiodических (переходных) составляющих тока короткого замыкания, а также максимального ударного тока, возникающего в первые моменты короткого замыкания.

Именно ударный ток является решающим при проверке электродинамической стойкости элементов сети, в том числе шинных конструкций распределительных устройств, креплений токопроводящих частей и аппаратов защиты и коммутации.

Полученные в результате расчёта токов короткого замыкания данные являются основополагающими при выборе оборудования электрических установок, такого как выключатели, разъединители, трансформаторы тока и напряжения, кабельные линии и шины.

Электрооборудование, выбранное по результатам расчётов, должно обладать достаточной термической и динамической стойкостью для безопасного выдерживания расчётных значений токов короткого замыкания без повреждений и нарушения работоспособности.

Кроме того, результаты расчётов токов короткого замыкания используются для определения уставок релейной защиты и автоматики, выбора характеристик автоматических выключателей и предохранителей, что обеспечивает надёжное и своевременное отключение повреждённых участков электрической сети и предотвращает развитие аварийных ситуаций.

Таким образом, расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения производства аммиака является ключевым этапом реконструкции данного объекта, обеспечивающим соответствие оборудования заданным параметрам по надёжности и безопасности, снижая вероятность возникновения серьёзных аварий, и поддерживая непрерывность технологических процессов предприятия на необходимом уровне.

«Расчет токов трехфазного КЗ выполняется в именованных единицах, принимается за базис напряжение $U_n = 115$ кВ. Сопротивление энергосистемы (на напряжение 110 кВ)» [13]:

$$X_c = \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot I_{к.макс}^{(3)}}. \quad (12)$$

«Обобщённое сопротивление энергосистемы» [13]:

$$X_c = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot 1,5} = 44,3 \text{ Ом.}$$

«Сопротивление питающей линии 110 кВ» [13]:

$$R_2 = r_{\text{уд}} \cdot L, \quad (13)$$

$$X_2 = x_{\text{уд}} \cdot L, \quad (14)$$

где « $r_{\text{уд}}$, $x_{\text{уд}}$ - удельные сопротивления питающей линии 110 кВ, Ом/км;
 L - суммарная длина питающей линии 110 кВ, км» [13].

$$R_2 = 0,37 \cdot 20,2 = 7,47 \text{ Ом,}$$

$$X_2 = 0,385 \cdot 20,2 = 7,78 \text{ Ом.}$$

«Активное сопротивление трансформатора ГПП-110/10 кВ» [13]:

$$R_{\text{т.п}} = \frac{\Delta P_{\text{к}} \cdot 10^{-3} \cdot U_{\text{п}}^2}{S_{\text{ном.т.}}^2}, \quad (15)$$

$$R_{\text{т.п}} = \frac{33,5 \cdot 10^{-3} \cdot 115^2}{16^2} = 4,43 \text{ Ом.}$$

«Индуктивное сопротивление трансформатора ГПП-110/10 кВ» [13]:

$$X_{\text{т.п}} = \frac{U_{\text{к.ср.}\%} \cdot U_{\text{п}}^2}{100 \cdot S_{\text{ном.т.}}^2}, \quad (16)$$

$$X_{\text{т.п}} = \frac{7,5 \cdot 115^2}{100 \cdot 16^2} = 9,92 \text{ Ом.}$$

«Суммарное сопротивление до расчётной точки К1» [13]:

$$R_{\Sigma} = R_{c.2}, \text{Ом}, \quad (17)$$

$$R_{\Sigma} = 7,47 \text{ Ом}.$$

«Суммарное индуктивное сопротивление до расчётной точки К1» [13]:

$$X_{\Sigma} = X_{c.2}, \text{Ом}, \quad (18)$$

$$X_{\Sigma} = 52,08 \text{ Ом}.$$

«Суммарное полное сопротивление до расчётной точки К1» [13]:

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}, \quad (19)$$

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{7,47^2 + 52,08^2} = 52,62 \text{ Ом}.$$

«Ток трехфазного короткого замыкания в расчётной точке К1» [13]:

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{U_{\Pi}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}}, \text{А}, \quad (20)$$

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot 52,62} = 1,26 \text{ кА}.$$

«Ударный ток короткого замыкания» [13]:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд}} \cdot I_{\kappa}^{(3)}, \text{кА}, \quad (21)$$

где « $k_{\text{уд}}$ – ударный коэффициент тока короткого замыкания» [13].

«Ударный коэффициент» [13]:

$$k_{уд} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-\frac{3}{X_{\Sigma}/R_{\Sigma}}} \quad (22)$$

«Для расчётной точки К1» [13]:

$$k_{уд.к1} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-\frac{3}{21,25/7,47}} = 1,36,$$

$$i_{уд.к1} = \sqrt{2} \cdot 1,36 \cdot 1,26 = 2,42 \text{ кА}.$$

Аналогично определены токи трёхфазного КЗ и ударные токи в расчётной точке К2, результаты расчётов приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты расчётов токов трёхфазного КЗ

Параметр, единица измерения	Точка КЗ	
	К1 (110 кВ)	К2 (10 кВ)
$I_k^{(3)}$, кА	1,26	9,22
$i_{уд}$, кА	2,42	16,81

Полученные в результате расчёта токов короткого замыкания данные являются основополагающими при выборе оборудования электрических установок.

Выводы по разделу.

Проведён расчёт токов короткого замыкания и ударных токов в максимальном режиме на объекте.

Установлено, что электрооборудование, выбранное по результатам расчётов, должно обладать достаточной термической и динамической стойкостью, а также безопасно выдерживать расчётные значения токов короткого замыкания без повреждений и нарушения работоспособности.

Выбор и проверка проводников и электрических аппаратов

Выбор и проверка проводников

В результате внедрения мероприятий по реконструкции системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия, были предложены и обоснованы следующие мероприятия:

- на питающей линии высокого напряжения 110 кВ устаревшие провода типа АС-120 заменены современными проводниками воздушной линии марки АААС-Z, производимыми ООО «Ламифил» (Российская Федерация) [11];
- на всех отходящих линиях 10 кВ, включая новые линии к ТП7 и ТП8, применены силовые кабели марки АСБ-10 [3].

Замена устаревших проводов типа АС-120 на питающей воздушной линии 110 кВ на современные проводники марки АААС-Z производства ООО «Ламифил» является ключевым решением, направленным на повышение надёжности и эффективности системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия в результате реконструкции.

Данное решение обусловлено необходимостью улучшения эксплуатационных характеристик линии электропередачи, в частности, увеличения пропускной способности, снижения потерь электроэнергии и минимизации эксплуатационных затрат.

Применение проводников марки АААС-Z характеризуется рядом весомых преимуществ перед традиционными алюминиевыми, армированными сталью, проводами.

Основным из них является улучшение электропроводности, обеспечивающее существенное сокращение технических потерь энергии в линии, а также возможность передачи более высоких токовых нагрузок без повышения температуры проводника сверх допустимого значения.

Также важным преимуществом данных проводов является их повышенная механическая прочность и стойкость к коррозионным процессам, что обеспечивает их долговечность и надёжность в эксплуатации в условиях агрессивных факторов окружающей среды.

Уменьшенный удельный вес проводников АААС-Z упрощает процесс монтажа и снижает механические нагрузки на опоры и несущие конструкции, что дополнительно способствует повышению общей надёжности работы воздушных линий 110 кВ и обеспечивает долговечность всех элементов проводника [12], показанного на рисунке 3.



Рисунок 3 – Современный провод марки АААС-Z

Известно, что такие современные проводники обладают улучшенными механическими и электрическими характеристиками, что обеспечивает их устойчивость к воздействию атмосферных условий, способствует

уменьшению эксплуатационных потерь, что особенно важно для обеспечения стабильной работы сети.

На отходящих линиях 10 кВ, включая вновь вводимые линии к трансформаторным подстанциям ТП7 и ТП8, применение силовых кабелей марки АСБ-10 также является технически обоснованным решением.

Кабели марки АСБ-10, представленные на рисунке 4, зарекомендовали себя как эффективное решение в электроснабжении промышленных предприятий благодаря надёжности, долговечности и стойкости к воздействиям внешних факторов.



Рисунок 4 – Кабель марки АСБ-10

Благодаря «бумажно-пропитанной изоляции, усиленной свинцовой оболочке и защитному покрову из битума и брони, такие кабели отличаются высокой устойчивостью к механическим повреждениям и воздействию

агрессивных химических сред» [3], характерных для химического производства.

Наличие свинцовой оболочки обеспечивает надёжную защиту изоляции от проникновения влаги и вредных химических веществ, тем самым существенно увеличивая срок службы и эксплуатационную надёжность линий.

Силовые кабели марки АСБ-10 обладают хорошими теплопроводящими свойствами, что позволяет выдерживать высокие нагрузки без перегрева и без снижения электрических характеристик в процессе длительной эксплуатации.

Такие кабели эффективно противостоят коротким замыканиям и перегрузкам, обеспечивая устойчивость работы электросети в нормальных и аварийных режимах.

«Для расчёта рациональных сечений проводников, необходимо определить максимальный ток нагрузки. Максимальный ток на вводах силового трансформатора питающей ГПП-110/10 кВ» [6]:

$$I_{\max} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{н.тр.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}}, \quad (23)$$

где « $S_{\text{н.тр.}}$ – номинальная мощность трансформатора подстанции, кВА;

$U_{\text{н}}$ – номинальное напряжение, кВ» [6].

«Для вводов 110 кВ» [6]:

$$I_{\max.110} = \frac{1,4 \cdot 16000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 112,6 \text{ А.}$$

«Для вводов 10 кВ» [6]:

$$I_{\max.10} = \frac{1,4 \cdot 16000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 1177,1 \text{ А.}$$

«Максимальные значения токов на отходящих линиях к потребителям ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия» [6]:

$$I_{\max} = \frac{1,4 \cdot S_{\max}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}}, \quad (24)$$

где « $S_{\max}$ – максимальная мощность потребителей линии, кВА;
 n – число линий, шт.» [6].

«На примере первого линейного присоединения 10 кВ системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия» [6]:

$$I_{\max} = \frac{1,4 \cdot 5532}{\sqrt{3} \cdot 10} = 447,7 \text{ А.}$$

«Результаты расчёта максимальных рабочих токов присоединений системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия» [16] представлены в таблице 5.

«Выбор сечения проводников выше 1 кВ проводится по экономической плотности тока» [15]:

$$F_{\circ} = \frac{I_{\text{р.}}}{j_{\circ}}, \quad (25)$$

где « $j_{\circ}$ – экономическая плотность тока, А/мм²» [6].

«Проверка выбранного сечения провода в нормальном режиме» [15]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{р.}}, \quad (26)$$

где « $I_{\text{доп}}$ – предельно – допустимое значение тока проводника, А» [14].

«Проверка проводника в послеаварийном режиме работы» [15]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{р.макс}}, \quad (27)$$

где « $I_{\text{р.макс}}$ – максимальный ток, А» [13].

«Проверка по климатическим условиям (минимальное допустимое сечение проводника)» [14]:

$$F_{\text{ст}} \geq F_{\text{мин}}, \text{ мм}^2. \quad (28)$$

«Проводится выбор сечения провода питающей ВЛ-110 кВ» [14]:

$$F_9 = \frac{112,6}{1,1} = 102,4 \text{ мм}^2.$$

«Для ВЛ-110 кВ питающей ГПП-110/10 кВ предварительно подтверждён провод марки АААС АЕRО-Z 177 А3F [12].

Условия проверки ВЛ-110 кВ соблюдены» [13]:

$$572 \text{ А} \geq 80,4 \text{ А},$$

$$572 \text{ А} \geq 112,6 \text{ А},$$

$$177 \text{ мм}^2 \geq 120 \text{ мм}^2.$$

Полученные результаты подтверждают правильность выбора «провода марки АААС АЕRО-Z 177 А3F стандартным сечением 177 мм² и допустимым током 572 А» [11].

Сечение проводников остальных линий выбраны аналогично и представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты выбора и проверки сечения проводников

Линия	$I_{\max}$, А	Количество проводников×марка проводника	$I_{\text{доп.}}$ А
Питающая ВЛ-110 кВ	112,6	2×АААС АЕRO-Z 177 АЗF	2×572
Участок 1	447,7	2×АСБ -10 (3×185)	2×400
Участок 2	213,5	2×АСБ -10 (3×95)	2×265
Участок 3	192,8	2×АСБ -10 (3×95)	2×265
Участок 4	137,7	2×АСБ -10 (3×70)	2×215
Участок 5	165,3	2×АСБ -10 (3×70)	2×215
Участок 6	124,0	2×АСБ -10 (3×70)	2×215
Участок 7	82,6	2×АСБ -10 (3×35)	2×150
Участок 8	62,0	2×АСБ -10 (3×35)	2×150

Для применения на отходящих линиях 10 кВ выбраны современные кабельные линии марки АСБ-10 различных сечений.

Применение указанных типов проводников (проводов АААС-Z и кабелей АСБ-10) позволяет не только обеспечить текущие потребности реконструируемой системы электроснабжения производства аммиака, но и создать условия для перспективного развития предприятия в условиях дальнейшего роста нагрузки.

Снижение потерь электроэнергии повышение энергоэффективности и обеспечение непрерывности производственных процессов при минимальных рисках возникновения аварийных и технологических сбоев, полностью подтверждают правильность выбора.

Выбор типов и марок распределительных устройств и электрических аппаратов

«В результате проведения реконструкции схемы и модернизации оборудования системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия, выбраны следующие типы и марки РУ:

- для применения на стороне 110 кВ ГПП-110/10 кВ производства аммиака химического предприятия, предлагается использование

комплектного элегазового распределительного устройства (КРУЭ) серии ЯГТ-110» [2];

- «на стороне 10 кВ ГПП-110/10 кВ выбрано комплектное закрытое распределительное устройство (КЗР) с ячейками марки КРУ 2-10 К2-МУ» [20].

«КРУЭ 110 кВ серии ЯГТ-110 представлено на рисунке 5» [2].



Рисунок 5 – КРУЭ-110 кВ серии ЯГТ-110 АО ВО «ЭЛЕКТРОАППАРАТ»

В результате применения компактного КРУЭ снижаются расходы на строительные работы, уменьшаются затраты на эксплуатацию и обслуживание оборудования, а также улучшаются условия труда обслуживающего персонала. Герметичность и высокая надёжность элегазовой изоляции обеспечивают стабильность электрических характеристик устройства в течение всего срока службы, надёжную защиту от внешних воздействий (пыли, влаги и агрессивных химических сред), что особенно важно в условиях химического производства, где повышенные требования предъявляются к безопасности и долговечности электрооборудования. Кроме того, применение КРУЭ существенно повышает пожарную безопасность подстанции за счёт исключения риска возникновения дуговых замыканий и значительного снижения возможности возгорания электрооборудования при аварийных

режимах. Таким образом, применение КРУЭ ЯГТ-110 способствует оптимизации технических и экономических показателей ГПП-110/10 кВ производства аммиака, обеспечивая надёжность и непрерывность электроснабжения технологических процессов с минимальными эксплуатационными затратами и высоким уровнем промышленной и экологической безопасности. Результаты выбора оборудования для комплектования ячеек КРУЭ ЯГТ-110 на стороне 110 кВ, представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты выбора оборудования для комплектования ячеек КРУЭ ЯГТ-110 на стороне 110 кВ

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
«Выключатели модуля КРУЭ серии ЯГТ-110 (элегазовые)» [2]	$U_{\text{сети}} \leq U_{\text{ном}}$	$U_{\text{сети}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$
	$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{max}} = 112,6 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 2000 \text{ А}$
	$I_{\text{п.т}} \leq I_{\text{отк.ном}}$	$I_{\text{п.т}} = 1,26 \text{ кА}$	$I_{\text{отк.ном}} = 80 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{\text{дин.}}$	$i_y = 2,42 \text{ кА}$	$i_{\text{дин.}} = 52 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,26^2 \cdot 3 = 4,76 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 80^2 \cdot 3 = 19200 \text{ кА}^2\text{с}$
«Разъединители модуля КРУЭ серии ЯГТ-110» [2]	$U_{\text{сети}} \leq U_{\text{ном}}$	$U_{\text{сети}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$
	$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{max}} = 112,6 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 2000 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{\text{дин.}}$	$i_y = 2,42 \text{ кА}$	$i_{\text{дин.}} = 52 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 4,76 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 19200 \text{ кА}^2\text{с}$
«Трансформаторы напряжения модуля КРУЭ серии ЯГТ-110» [2]	$U_{\text{сети}} \leq U_{\text{ном}}$	$U_{\text{сети}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$
	$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{max}} = 112,6 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 2000 \text{ А}$
	$S_{2\Sigma} \leq S_{\text{н}}$	$S_{2\Sigma} = 800 \text{ ВА}$	$S_{\text{н}} = 1200 \text{ ВА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 4,76 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 19200 \text{ кА}^2\text{с}$
«Трансформаторы тока модуля КРУЭ серии ЯГТ-110» [2]	$U_{\text{сети}} \leq U_{\text{ном}}$	$U_{\text{сети}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$
	$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{max}} = 112,6 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 2000 \text{ А}$
	$S_{2\Sigma} \leq S_{\text{н}}$	$S_{2\Sigma} = 250 \text{ ВА}$	$S_{\text{н}} = 500 \text{ ВА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,26^2 \cdot 3 = 4,76 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 80^2 \cdot 3 = 19200 \text{ кА}^2\text{с}$

Также на «стороне 110 кВ (на входе и выходе токоведущих линий с КРУЭ-110 кВ) устанавливаются ограничители перенапряжения марки ОПН–РК–110/88.

На стороне 10 кВ подстанции ГПП-110/10 кВ выбрано комплектное закрытое распределительное устройство (КЗР) с ячейками типа КРУ 2-10 К2-МУ» [20], что также является эффективным и рациональным решением в контексте реконструкции схемы электроснабжения производства аммиака.

Данное решение обусловлено необходимостью обеспечения безопасной эксплуатации оборудования, удобства проведения технического обслуживания и ремонта, а также повышением экономичности эксплуатации распределительного устройства.

Ячейки данной марки оборудованы «выкатными элементами с вакуумными выключателями, что значительно повышает безопасность при эксплуатации и техническом обслуживании.

Применение вакуумных выключателей в составе КРУ гарантирует высокую надёжность и длительный срок службы оборудования» [20] за счёт отсутствия открытой электрической дуги и минимального износа контактных систем.

Комплектное распределительное устройство с ячейками КРУ 2-10 К2-МУ, представленное на рисунке 6, отличается высокой степенью унификации и стандартизации конструктивных элементов, что облегчает монтажные и пусконаладочные работы и обеспечивает быстрое выполнение ремонтных операций при возникновении необходимости.

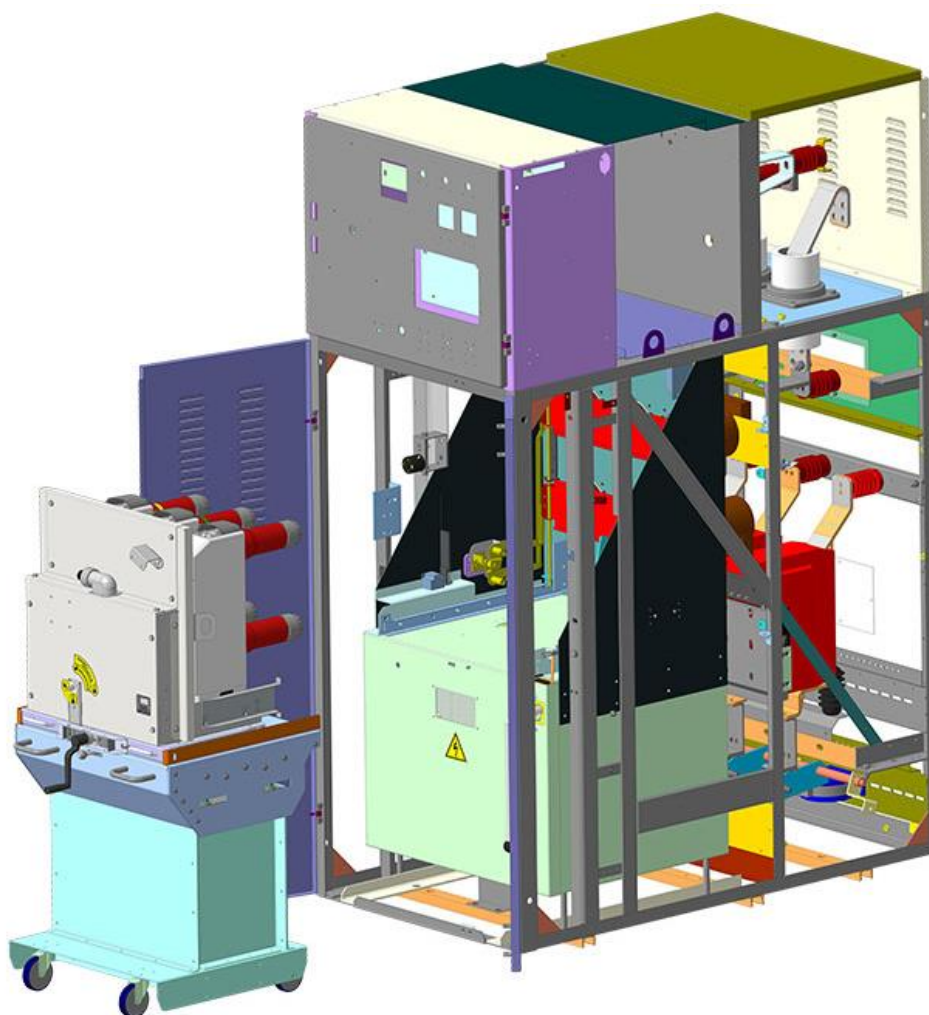


Рисунок 6 – Ячейка КРУ 2-10 К2-МУ

РУ с ячейками марки КРУ 2-10 К2-МУ обеспечивает высокий уровень защиты от поражения электрическим током, снижает вероятность возникновения пожаров и технологических сбоев в электроустановках.

Компактность, простота и удобство обслуживания данного оборудования также способствует снижению эксплуатационных затрат и улучшению условий труда персонала.

Результаты выбора оборудования для комплектования ячеек КРУЭ ЯГТ-110 на стороне 110 кВ ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия, представлены в работе в форме таблицы 8.

Таблица 8 – Результаты выбора оборудования для комплектования ячеек КРУ 2-10 К2-МУ на стороне 10 кВ ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
«Выключатели ВВУ–СЭЩ–10–20/1600 (вакуумные)» [20] УЗ	$U_{\text{сети}} \leq U_{\text{ном}}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{max}} = 1177,1 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1600 \text{ А}$
	$I_{\text{п.т}} \leq I_{\text{отк.ном}}$	$I_{\text{п.т}} = 19,57 \text{ кА}$	$I_{\text{отк.ном}} = 20 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{\text{дин.}}$	$i_y = 36,84 \text{ кА}$	$i_{\text{дин.}} = 52 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 19,57^2 \cdot 3 = 1149 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$
«Трансформаторы тока ТОЛ–СЭЩ–10» [20]	$U_{\text{сети}} \leq U_{\text{ном}}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{max}} = 1177,1 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1600 \text{ А}$
	$S_{2\Sigma} \leq S_{\text{н}}$	$S_{2\Sigma} = 150 \text{ ВА}$	$S_{\text{н}} = 250 \text{ ВА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 19,57^2 \cdot 3 = 1149 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$
«Трансформаторы напряжения НАЛИ–СЭЩ–10» [20]	$U_{\text{сети}} \leq U_{\text{ном}}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{max}} = 1177,1 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1600 \text{ А}$
	$S_{2\Sigma} \leq S_{\text{н}}$	$S_{2\Sigma} = 450 \text{ ВА}$	$S_{\text{н}} = 600 \text{ ВА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 19,57^2 \cdot 3 = 1149 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$

Также на стороне 10 кВ (на вводе токоведущих линий с трансформатора 10 кВ, а также в ячейках вместе с выключателями и ТН) устанавливаются ограничители перенапряжения марки ОПН-п 10/7.2/10/400.

Таким образом, выбранные и проверенные в работе типы и марки распределительных устройств (КРУЭ серии ЯГТ-110 и КРУ 2-10 К2-МУ) отвечают всем необходимым требованиям безопасности, экономичности и надёжности работы на реконструируемой подстанции ГПП-110/10 кВ производства аммиака, что позволяет обеспечить бесперебойность технологического процесса, минимизировать риски аварий и отказов электрооборудования, а также существенно снизить эксплуатационные и капитальные затраты.

Выводы по разделу.

Установлено, что применение указанных типов проводников (проводов АААС-Z и кабелей АСБ-10) позволяет не только обеспечить текущие потребности реконструируемой системы электроснабжения производства аммиака, но и создать условия для перспективного развития предприятия в условиях дальнейшего роста нагрузки.

В результате проведения реконструкции схемы и модернизации оборудования системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия, выбраны и укомплектованы современным коммутационным и защитным оборудованием, новейшие типы и марки РУ.

Показано, что выбранные типы и марки распределительных устройств (КРУЭ серии ЯГТ-110 и КРУ 2-10 К2-МУ) отвечают всем необходимым требованиям безопасности, экономичности и надёжности работы на реконструируемой подстанции ГПП-110/10 кВ производства аммиака, что позволяет обеспечить бесперебойность технологического процесса, минимизировать риски аварий и отказов электрооборудования, а также существенно снизить эксплуатационные и капитальные затраты.

Выбор системы релейной защиты и автоматика питающей ГПП

«Выбор и применение терминалов релейной защиты и автоматики серии БЭ2502Б в системе электроснабжения» [1] производства аммиака химического предприятия обусловлены высокими требованиями к надёжности, оперативности и точности функционирования средств защиты электрооборудования и распределительных сетей, особенно с учётом особенностей технологических процессов химического производства, где даже кратковременные нарушения электроснабжения могут привести к серьёзным производственным потерям и техногенным авариям.

Терминалы «серии БЭ2502Б, показанные на рисунке 7, являются современными микропроцессорными устройствами, которые объединяют функции защиты, автоматики» [17], измерения электрических параметров и сигнализации, обеспечивая комплексное решение задач, связанных с контролем и управлением технологическими процессами электроснабжения предприятия. Применение данных устройств существенно упрощает реализацию алгоритмов селективного отключения повреждённых участков сети при аварийных режимах и позволяет существенно сократить время локализации и устранения неисправностей.



Рисунок 7 – Терминал РЗаА серии БЭ2502Б

Одной из «основных особенностей терминалов серии БЭ2502Б является их многофункциональность и высокая степень интеграции, что позволяет реализовывать защитные функции от широкого спектра аварийных и нештатных режимов, включая короткие замыкания, перегрузки, замыкания на землю, асимметрию напряжений и другие аномальные режимы работы электрической сети.

Данные терминалы поддерживают такие виды защит, как токовая отсечка, максимальная токовая защита, дистанционная защита, защита от КЗ на землю» [17], а также функции автоматики: автоматическое повторное включение (АПВ) и автоматическое включение резерва (АВР).

Комплексность функционала терминалов БЭ2502Б позволяет существенно сократить количество используемых устройств, повысив тем самым общую надёжность и экономичность схемы релейной защиты и автоматики.

Высокая точность и быстродействие данных терминалов обеспечиваются благодаря использованию современных цифровых алгоритмов обработки сигналов и встроенных микропроцессоров, что гарантирует минимальное время срабатывания защит и высокую селективность при выявлении и устранении повреждений.

Наличие данных факторов особенно важно для химического предприятия, так как быстрая реакция терминалов на изменение параметров сети позволяет предотвратить распространение повреждений на смежные участки, избежать повреждения дорогостоящего технологического оборудования и обеспечить непрерывность производственного процесса.

Кроме того, высокая точность измерений электрических параметров терминалами БЭ2502Б позволяет использовать их не только в качестве средств защиты, но и для мониторинга и анализа состояния сети, оценки остаточного ресурса оборудования и планирования технического обслуживания.

Ещё одним важным преимуществом данных устройств является возможность их интеграции в автоматизированные системы диспетчерского

управления и сбора данных (SCADA) за счёт использования стандартных коммуникационных интерфейсов и протоколов передачи данных.

Данный аспект обеспечивает централизованный мониторинг, диагностику и управление оборудованием, что позволяет диспетчерскому персоналу в режиме реального времени отслеживать состояние сети и оперативно реагировать на любые отклонения и нарушения, минимизируя вероятность развития аварийных ситуаций и существенно повышая надёжность электроснабжения химического производства.

Таким образом, выбор и применение терминалов релейной защиты и автоматики серии БЭ2502Б в системе электроснабжения производства аммиака является эффективным техническим решением, позволяющим реализовать комплексную и надёжную систему защиты электрооборудования и сетей, снизить эксплуатационные затраты, повысить безопасность и непрерывность технологического процесса, что, в свою очередь, значительно увеличивает общую производительность и экономическую эффективность химического предприятия.

Выводы по разделу.

Показано, что применение микропроцессорных терминалов релейной защиты и автоматики серии БЭ2502Б на химическом предприятии является эффективным техническим решением, которое обеспечивает комплексную защиту электрооборудования, оперативность реагирования на аварийные ситуации и повышение надёжности электроснабжения, что особенно важно в условиях химического производства, требующего высокой степени безопасности и бесперебойности технологического процесса.

Заключение

В работе разработаны, обоснованы, исследованы и предложены мероприятия по реконструкции системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия.

Установлено, что рассматриваемая в работе система электроснабжения производства аммиака химического предприятия включает несколько основных составляющих:

- главная понизительная подстанция 110/10 кВ (ГПП-110/10 кВ) – расположена на территории предприятия и функционирует как тупиковая понизительная подстанция, обеспечивая передачу и распределение электроэнергии потребителям данного предприятия на номинальном напряжении 10 кВ;
- шесть цеховых понизительных двухтрансформаторных подстанций 10/0,4 кВ (ТП-10/0,4 кВ) – предназначены для понижения напряжения 10 кВ, которое ТП-10/0,4 кВ получают от шин РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ;
- потребители 0,38/0,22 кВ – отдельные механизмы и агрегаты, работающие на номинальных напряжениях 0,38 кВ (трёхфазные потребители) и 0,22 кВ (однофазные потребители, включая освещение).

В результате проведения анализа исходных данных показано, что в системе электроснабжения производства аммиака химического предприятия, увеличивается мощность нагрузки в связи с вводом в эксплуатацию новых потребителей, что приводит к необходимости внесения изменений в схему электрических соединений.

Предложены и обоснованы следующие мероприятия по реконструкции однолинейной схемы системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия, с учётом модернизации её оборудования:

- в связи с расширением производства, требуется значительное увеличением производственных мощностей, поэтому вводятся в эксплуатацию два новых объекта, получающих питание от собственных цеховых трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ;
- в РУ 110 кВ питающей ГПП-110/10 кВ предлагается заменить ранее применяемую схему 110-4 «Два блока с отделителями и неавтоматической переключкой со стороны линий», состоящей из двух разъединителей, на современную схему 110-4Н «Два блока с выключателями и неавтоматической переключкой со стороны линий», а также вместо устаревшего и громоздкого ОРУ 110 кВ с устаревшими масляными баковыми выключателями, разъединителями и разрядниками, применить современный тип КРУЭ 110 кВ с соответствующим оборудованием;
- в РУ 10 кВ подстанции предлагается оставить без изменения схему 10-9 «Одна рабочая секционированная выключателем система шин» с отдельным питанием секций и АВР на секционном выключателе, однако планируется дополнительно задействовать четыре ячейки для обеспечения электроснабжения новых потребителей на напряжении 10 кВ и заменить устаревшие и неэффективные масляные горшковые выключатели и разрядники, соответственно, на современные выключатели с вакуумной изоляцией и ограничители перенапряжения (с заменой устаревших ячеек, находящиеся в неудовлетворительном состоянии, на современные модификации), также рекомендована замена трансформаторов напряжения 10 кВ на более современные и надёжные разработки.

Проведены расчёты максимальной нагрузки в системе электроснабжения производства аммиака химического предприятия после внедрения мероприятий по реконструкции:

- отдельных участков на напряжении 10 кВ;
- суммарной нагрузки системы электроснабжения объекта.

При расчёте нагрузки подстанции применялся рекомендованный метод коэффициента спроса.

Полученные результаты расчёта электрических нагрузок используются для выбора и проверки технических решений в системе электроснабжения производства аммиака химического предприятия в результате проведения её реконструкции.

В результате проведения расчётов установлено, что на подстанции 110/10 кВ системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия установленные до реконструкции силовые трансформаторы марки ТДН-16000/110 не нуждаются в замене, так как они соответствуют условиям проверки по расчётной нагрузке потребителей подстанции вследствие увеличения её нагрузки, а также отвечают условиям проверки по нагрузочной способности в нормальном режиме работы и перегрузочной способности в послеаварийном режиме работы.

Проведён расчёт токов КЗ и ударных токов в максимальном режиме на объекте.

Установлено, что электрооборудование, выбранное по результатам расчётов, должно обладать достаточной термической и динамической стойкостью, а также безопасно выдерживать расчётные значения токов короткого замыкания без повреждений и нарушения работоспособности.

Установлено, что применение указанных типов проводников (проводов АААС-Z и кабелей АСБ-10) позволяет не только обеспечить текущие потребности реконструируемой системы электроснабжения производства аммиака, но и создать условия для перспективного развития предприятия в условиях дальнейшего роста нагрузки.

В результате проведения реконструкции схемы и модернизации оборудования системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия, выбраны и укомплектованы современным коммутационным и защитным оборудованием, современные типы и марки РУ.

Показано, что выбранные типы и марки распределительных устройств (КРУЭ серии ЯГТ-110 и КРУ 2-10 К2-МУ) отвечают всем необходимым требованиям безопасности, экономичности и надёжности работы на реконструируемой подстанции ГПП-110/10 кВ производства аммиака, что позволяет обеспечить бесперебойность технологического процесса, минимизировать риски аварий и отказов электрооборудования, а также существенно снизить эксплуатационные и капитальные затраты.

Показано, что применение микропроцессорных терминалов релейной защиты и автоматики серии БЭ2502Б на химическом предприятии является эффективным техническим решением, которое обеспечивает комплексную защиту электрооборудования, оперативность реагирования на аварийные ситуации и повышение надёжности электроснабжения, что особенно важно в условиях химического производства, требующего высокой степени безопасности и бесперебойности технологического процесса.

Таким образом, в результате выполнения работы сформировано и обосновано комплексное решение по проведению реконструкции системы электроснабжения производства аммиака химического предприятия, отвечающее современным требованиям надёжности, безопасности и рентабельности, а также обеспечивает всесторонний учет актуальной нормативной базы и потенциальных рисков, связанных с функционированием объекта исследования.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Агафонов А.И., Бростилова Т. Ю., Джазовский Н. Б. Современная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем: учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 300 с.

2. АО ВО «ЭЛЕКТРОАППАРАТ» КОМПЛЕКТНЫЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ЭЛЕГАЗОВЫЕ (КРУЭ). [Электронный ресурс]: URL: <https://elektroapparat.ru/upload/iblock/ca1/ca12d9fcae4a5c3bbc248659232842a6.pdf> (дата обращения: 24.03.2025).

3. АСБ длительно допустимый ток [Электронный ресурс]: URL: <https://elmarts.ru/blog/spravochnik/asb-dlitelno-dopustimyy-tok/> (дата обращения: 24.03.2025).

4. ГОСТ 14209–85 Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки (с Изменением № 1). [Электронный ресурс]: URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200012414> (дата обращения: 24.03.2025).

5. ГОСТ Р 59279-2020 «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств от 35 до 750 кВ подстанций». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177281> (дата обращения: 24.03.2025).

6. Киреева Э.В. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений. М.: КноРус, 2019. 236 с.

7. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 174 с.

8. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (Приказ от 15 декабря 2020 г. № 903н / Приказ от 29 апреля 2022 г. № 279н). Изд-во Мини-Тайп, 2023. 216 с.

9. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Изд-во ДЕАН, 2022. 192 с.

10. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. Изд-во ЦентрМаг, 2022. 584 с.
11. Провод АААС AERO-Z 177 АЗФ. [Электронный ресурс]: URL: <https://atomdv.com/catalog/product/54981/> (дата обращения: 24.03.2025).
12. Провода для высоковольтных воздушных линий электропередачи компактированные типа Z марки АААС-Z [Электронный ресурс]: URL: <https://xn--80aqajdd1d.xn--p1ai/image/data/file/AAAC-Z.pdf> (дата обращения: 24.03.2025).
13. РД 153-34.0-20.527-98 «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования» [Электронный ресурс]: URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294817/4294817179.htm> (дата обращения: 24.03.2025).
14. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учебное пособие. М.: Форум, 2021. 383 с.
15. Сибикин Ю.Д. Технология энергосбережения. М.: Инфра-М, 2022. 336 с.
16. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2022. 406 с.
17. Терминал релейной защиты и автоматики БЭ2502Б. [Электронный ресурс]: URL: <https://ekra.ru/product/rza-ps-6-35/t-rza/be2502b/> (дата обращения: 24.03.2025).
18. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 495 с.
19. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года. Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р. Москва, 2020. 142 с.
20. Ячейка КРУ 2-10 К2-МУ. [Электронный ресурс]: URL: <https://zsea.ru/katalog/yachejki-kru-6-10-kv/yachejki-kru2-10/shkaf-kru-2-10-ispolnenie/> (дата обращения: 24.03.2025).