

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 распределительного устройства 6 кВ подстанции № 50 завода по производству минеральных удобрений

Студент

В.И. Ахметов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, В.Н. Кузнецов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультант

к.п.н., доцент А.В. Кириллова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

## Аннотация

Целью работы является разработка проекта реконструкции распределительного устройства 6 кВ подстанции № 50 завода по производству минеральных удобрений.

Объектом исследования является распределительное устройство 6 кВ подстанции № 50 завода по производству минеральных удобрений.

Предметом исследования являются схема электрических соединений, а также электрические сети и электрические аппараты распределительного устройства 6 кВ подстанции № 50 завода по производству минеральных удобрений.

Для реализации указанной основной цели работы, в работе проведено решение основных поставленных задач:

- анализ исходных данных по объекту исследования с рассмотрением основных теоретических положений, необходимых для осуществления проектирования;
- непосредственная разработка проекта реконструкции распределительного устройства 6 кВ подстанции № 50 завода по производству минеральных удобрений;
- разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда, а также по экологической безопасности на объекте исследования.

В результате выполнения работы осуществлена разработка проекта реконструкции распределительного устройства 6 кВ подстанции № 50 завода по производству минеральных удобрений, в котором неукоснительно соблюдаются установленные нормы качества электроэнергии, передаваемой потребителям, надёжности, экономичности, безопасности и экологичности.

Представленная работа состоит из печатных 75 страниц, содержащую 3 рисунка и 12 таблиц, а также графическую часть на 6 листах формата А1.

## **Abstract**

The title of the graduation work is Reconstruction of 6 kV switchgear of substation № 50 at the fertilizer plant.

The senior paper consists of an introduction, three parts, a conclusion, tables, list of references including foreign sources and the graphic part on 6 A1 sheets.

The key issue of the thesis is the reconstruction of the 6 kV switchgear at the 6 / 0.4 kV transformer substation, which is being carried out due to the connection of an additional power source for the second transformer TP-6 / 0.4 kV from the 6 kV distribution substation of the enterprise. The key issue of the work is replacement of the main power supply circuit with a radial circuit, followed by the installation of additional electrical devices with a voltage of 6 kV in the 6 kV switchgear transformer substation-6 / 0.4 kV for protection and switching of a new power source.

The aim of the work is to develop a project for the reconstruction of a 6 kV switchgear at substation № 50 of a fertilizer plant.

The graduation work may be divided into several logically connected parts which are: analysis of the initial data on the object of research with consideration of the main theoretical provisions necessary for the implementation of the design; direct development of the project for the reconstruction of the 6 kV switchgear at substation № 50; development of measures for safety and labor protection, as well as environmental safety at the research object.

Finally, we present work on the development of a project for the reconstruction of a 6 kV switchgear, in which the established standards for the quality of electricity transmitted to consumers, reliability, efficiency, safety and environmental friendliness are strictly observed.

## Содержание

Введение.....	5
1 Анализ исходных данных.....	7
1.1 Требования, предъявляемые к системам электроснабжения предприятий химической отрасли .....	7
1.2 Краткая характеристика трансформаторной подстанции ТП-50 и её потребителей до проведения реконструкции РУ-6 кВ.....	14
1.3 Обзор состояния проблемы и обоснование необходимости проведения реконструкции .....	19
2 Разработка проекта реконструкция распределительного устройства 6 кВ ТП-50 предприятия.....	22
2.1 Реконструкция схемы электрических соединений РУ-6 кВ ТП-50.....	22
2.2 Расчёт электрических нагрузок ТП-50 .....	24
2.3 Расчёт и выбор компенсирующих устройств.....	30
2.4 Выбор и проверка силовых трансформаторов.....	34
2.5 Выбор и проверка сечения проводников.....	36
2.6 Расчёт токов короткого замыкания.....	41
2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов .....	48
2.8 Выбор системы учёта и контроля электроэнергии.....	55
3 Охрана труда и техника безопасности .....	60
3.1 Методы и средства обеспечения безопасности на объекте, охрана окружающей среды.....	60
3.2 Расчет контура заземления ТП-50.....	65
Заключение .....	68
Список используемых источников.....	72

## Введение

Одним из главных направлений развития предприятий современного промышленного химического комплекса (ПХК) является концентрация и специализация производства, широкое внедрение современных методов производства, а также результатов научно-технического прогресса и мирового опыта. В настоящее время в ПХК промышленного типа почти все производственные процессы электрифицированы, так как активно внедряются и повсеместно используются прогрессивные технологии и современные машины, работа которых организована по поточным линиям.

На современном этапе развитие деятельность предприятий и организаций ПХК должна быть нацелена не на промежуточные показатели, а на высокий конечный результат – получение большего количества продукции лучшего качества с меньшими затратами и потерями. Правильная организация производственного цикла, а также оптимизация систем электроснабжения, реконструкция схем электрических соединений и модернизация оборудования, является одним из способов повышения рентабельности данной отрасли. Указанные аспекты обуславливают актуальность данной работы.

Целью работы является разработка проекта реконструкции распределительного устройства 6 кВ подстанции № 50 завода по производству минеральных удобрений.

Объектом исследования является распределительное устройство 6 кВ подстанции № 50 завода по производству минеральных удобрений.

Предметом исследования являются схема электрических соединений, а также электрические сети и электрические аппараты распределительного устройства 6 кВ подстанции № 50 завода по производству минеральных удобрений.

Для реализации указанной основной цели работы, в работе проведено решение основных поставленных задач:

– анализ исходных данных по объекту исследования с рассмотрением основных теоретических положений, необходимых для осуществления проектирования. Приводятся требования, предъявляемые к системам электроснабжения предприятий химической отрасли, краткая характеристика трансформаторной подстанции ТП-50 и её потребителей до проведения реконструкции РУ-6 кВ, осуществляется обзор состояния проблемы и обоснование необходимости проведения реконструкции;

– непосредственная разработка проекта реконструкции распределительного устройства 6 кВ подстанции № 50 завода по производству минеральных удобрений, включающая реконструкцию схемы электрических соединений РУ-6 кВ ТП-50, расчёт электрических нагрузок, расчёт и выбор компенсирующих устройств, выбор и проверку силовых трансформаторов, выбор и проверку сечения проводников, расчёт токов короткого замыкания, выбор и проверку электрических аппаратов, выбор системы учёта и контроля электроэнергии;

– разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда, а также по экологической безопасности на объекте исследования, с непосредственным расчётом контура заземления ТП-50.

Решения поставленных задач в работе аргументируется соответствующими выводами после каждого раздела. В работе должен быть учтён будущий рост энергопотребления, при этом выбор оборудования и сетей производится с учётом разработок и последних достижений науки и техники, обладающих повышенной надёжностью, экономичностью, электробезопасностью. В результате выполнения работы осуществлена разработка проекта реконструкции распределительного устройства 6 кВ подстанции № 50 завода по производству минеральных удобрений, в котором неукоснительно соблюдаются установленные нормы качества электроэнергии, передаваемой потребителям, надёжности, экономичности, безопасности и экологичности. Работа выполняется с использованием требований и норм рекомендованной технической литературы и документов.

## **1 Анализ исходных данных**

### **1.1 Требования, предъявляемые к системам электроснабжения предприятий химической отрасли**

Системы электроснабжения предприятий химической отрасли являются важнейшим звеном отечественной энергетики, поэтому они требуют особенно повышенных требований к надёжности и электробезопасности при осуществлении проектирования, модернизации и реконструкции.

К системам электроснабжения предприятий химической отрасли применяются следующие требования согласно [1-4], а именно:

- обеспечение потребителей электроэнергией, которая соответствует установленным нормируемым показателям качества;
- неукоснительное обеспечения схемы питания электроприёмников согласно их категории надёжности, а также специфическим требованиям технологического процесса;
- обеспечение необходимой перспективы развития, модернизации и реконструкции электрооборудования на всех уровнях;
- обеспечение необходимой степени резервирования, а также секционирования с целью обеспечения надёжности электроснабжения;
- наглядность, безопасность, экономичность и автоматичность.

Электрические сети предприятий химической отрасли проектируются и питаются по типичным электрическим схемам с учётом категорий надёжности потребителей.

Известно, что все потребители электроэнергии делятся на три категории надёжности. При этом для питания потребителей I и II категорий надёжности требуется два независимых источника питания, а для питания потребителей III категории достаточно иметь один источник питания [1-4].

Применение той или иной схемы определяется категорией надёжности потребителей, расчётными данными токов короткого замыкания и ударных

токов, особенностями технологического процесса, расположением оборудования (потребителей) на территории объекта, а также установленной мощностью объекта и единичных потребителей [1,3,4].

Известно также, что электрические сети современных предприятий химической отрасли могут быть выполнены по одной из следующих схем электроснабжения: радиальной, магистральной или смешанной.

Радиальная схема предполагает питание каждого потребителя отдельной линией (без ответвлений).

При магистральной схеме как минимум два и более электроприёмников (потребителей) получают питание от источника одной линией.

При смешанной схеме часть потребителей получает питание по радиальной схеме, а вторая часть – по магистральной.

При этом каждая из данных схем отличается по степени надежности, имеет свои преимущества и недостатки [4].

При этом следует учесть, что потребители I и II категорий надёжности гораздо предпочтительнее питать именно по радиальным схемам, так как известно, что они имеют высокую надёжность.

Как исключение потребители II категории надёжности могут быть запитаны по магистральной схеме, однако в данном случае должно предусматриваться наличие второго источника питания от стороннего источника, что вносит массу сложностей и противоречий в систему электроснабжения, а также значительно усложняет выбор уставок релейной защиты, проводников и электрических аппаратов.

Потребители III категории надёжности рекомендуется питать магистральной схемой без применения резервирования и секционирования. Для этих потребителей также может быть применена и радиальная схема, если их на объекте не более одной единицы, либо несколько потребителей располагаются на значительном отдалении друг от друга, либо применение рекомендуемой магистральной схемы нецелесообразно по техническим и (или) экономическим причинам.



Поэтому на первом этапе проектирования прежде всего следует рассмотреть классификацию основных технологических механизмов, узлов и подразделений в целом, и, исходя из приведённых выше аргументов и особенностей, выбрать ту схему, которая в полной мере будет соответствовать требованиям [1-4].

Известно, что возможные сбои и аварии во многих системах электроснабжения предприятий химической отрасли связаны с угрозой жизни и здоровью людей, возникновением опасности экологических катастроф в связи с выбросов вредных и опасных веществ в атмосферу, воду и грунт, повреждением дорогостоящего оборудования, возникновением переходных процессов в энергосистеме [1].

Поэтому все основные производственные агрегаты (узлы) систем электроснабжения предприятий химической отрасли, как правило, относятся к I категории надёжности, и при этом требуют соответствующих проектных решений по обеспечению надёжности, качества электроэнергии и электробезопасности.

Надёжная работа систем электроснабжения предприятий химической отрасли в целом напрямую зависит от надёжности этих основных производственных агрегатов и обеспечивается при выполнении следующих условий:

- в работе одновременно должны находиться не менее двух секций сборных шин (пуск ответственных механизмов при повреждении или отключении по любой причине другой секции);
- на каждой из секций должны быть резервные агрегаты. При ремонте мощных производственных агрегатов предприятий химической отрасли, как минимум, один из агрегатов рекомендуется оставлять в резерве;
- мощность каждого производственного агрегата предприятий химической отрасли следует принимать с запасом, так как двигатели не обеспечивают надёжной работы при перегрузках (самозапуск, короткие

замыкания, резкие увеличения нагрузки при отключении одного из параллельно работающих двигателей) и могут аварийно остановиться;

- с целью предотвращения чрезмерного увеличения нагрузки на двигатели и аварийных режимах следует предусматривать соответствующую противоаварийную автоматику;

- число агрегатов предприятий химической отрасли должно быть минимальным: это уменьшает капитальные затраты и эксплуатационные расходы, облегчает организацию эксплуатации и ремонта, улучшает устойчивость их работы;

- при ремонтных режимах предприятий химической отрасли основные производственные агрегаты, оставшиеся в работе, должны обеспечивать полную нагрузку всей системы электроснабжения, а также самозапуск ответственных механизмов и достаточную надежность работы.

Анализ изложенных условий показывает, что единичная мощность основных производственных агрегатов предприятий химической отрасли должна примерно соответствовать потребляемой мощности всей системы электроснабжения.

В этом случае для питания основных производственных агрегатов предприятий химической отрасли предусматривается четыре технологических узла, из которых нормально работают два на разные подсистемы. При этом третий узел может быть в резерве, а четвертый – в ремонте.

Перспективным является применения «взаимного резервирования» в системе электроснабжения основных производственных агрегатов для предприятий химической отрасли, когда все четыре источника питания технологических узлов находятся в работе и обеспечивают в аварийном режиме питание нагрузки соответствующих основных производственных агрегатов.

Такой подход весьма перспективен и надёжен, однако требует применения соответствующих устройств автоматики (АВР) и выбора

источников питания (силовых трансформаторов ТП) с учётом питания нагрузки в послеаварийном режиме.

Кроме того, если указанные требования осуществить проблематично либо невозможно, с целью резервирования в системе электроснабжения основных производственных агрегатов для предприятий химической отрасли рекомендована также установка агрегатов гарантированного питания (АГП).

Производственные цеха (узлы, участки) предприятий химической отрасли, которые играют второстепенную производственную роль и не настолько важны, как основные технологические механизмы, относятся ко II категории надёжности.

Они также требуют двух независимых источников питания, однако система автоматического включения резерва для таких потребителей не обязательна.

К III категории надёжности относятся все остальные цеха (узлы, участки) предприятий химической отрасли, которые не участвуют в производственном процессе, а являются вспомогательными звеньями. Такие цеха (узлы, участки) следует питать от одного источника без резервирования.

Как правило, источниками питания для основных производственных механизмов цехов предприятий химической отрасли являются понижающие трансформаторные подстанции энергосистемы с классами напряжения 6(10)/0,4 кВ с установленными на них двумя силовыми трансформаторами (для питания потребителей I и II категорий надёжности) с обеспечением резервирования на шинах низкого напряжения, либо с одним трансформатором без резервирования (для питания потребителей III категории надёжности).

Как правило, источниками питания для отечественных промышленных предприятий химической отрасли малой и средней установленной мощности являются понижающие трансформаторные подстанции энергосистемы с классами напряжения 6(10)/0,4 кВ с установленными на них двумя силовыми трансформаторами (для питания потребителей I и II категорий надёжности),

либо с одним трансформатором без резервирования (для питания потребителей III категории надёжности). Для крупных промышленных предприятий химической отрасли большой мощности источниками могут быть трансформаторные подстанции более высоких классов напряжения: 220/6(10) кВ, 110/6(10) кВ, 35/6(10) кВ и др. В этом случае на предприятии также будут применены цеховые трансформаторные подстанции (ЦТП), необходимые для понижения напряжения до 0,4 кВ с целью распределения его потребителям предприятия [1-3]. При количестве ЦТП, равным или большим восьми, рекомендуется сооружение центрального распределительного пункта (ЦРП) [1].

Современные трансформаторные подстанции, как правило, выполняются в виде комплектных устройств (КТП), имеющих значительное преимущество перед закрытыми (ЗТП) и открытыми (ОТП) подстанциями.

Электроснабжение трансформаторных подстанций, как правило, выполняются воздушными или кабельными линиями электропередачи.

При этом, как известно, воздушные линии не применяются в населённых пунктах [3]. Применение кабельных линий имеет ряд преимуществ по сравнению с воздушными линиями, а именно: надёжность, безопасность, экологичность, удобство обслуживания [3].

При проектировании систем электроснабжения современных предприятий химической отрасли на всех звеньях цепи очень важно учесть все указанные нормы согласно [1-4]. Особенно сильно влияет на показатели системы электроснабжения уровень и качество компенсации реактивной мощности [1,3,4].

В связи с описанными выше процессами, показано, что реактивную мощность необходимо компенсировать. Этот процесс имеет государственное нормативно-правовое обеспечение и, прежде всего, напрямую связан с нормативами [1,3,4].

Особенно важно реализовать его на стадии проектирования систем электроснабжения предприятий химической отрасли, поэтому в данной

выполняемой работе необходимо выполнить расчёт и выбор мощности компенсирующих устройств.

Системный расчет реактивной мощности потребителей, определяющий оптимальное соотношение между реактивной мощностью, потребляемой потребителем от сетей энергосистемы и мощностью его компенсирующих устройств, является необходимым условием для любого потребителя.

Он выполняется с целью [1,5]:

– для действующих промышленных предприятий и приравненных к ним потребителей с мощностью 750 кВА и более определить оптимальное значение реактивной мощности, передаваемой по сетям энергосистемы во время максимального и минимального режимов нагрузки;

– для действующих промышленных предприятий с мощностью менее 750 кВА определить значение оптимальной мощности компенсирующих устройств, которые необходимо установить в их электрических сетях.

При расчетах систем внешнего электроснабжения предприятий, необходимо знать входную реактивную мощность потребителя и мощность его компенсирующих устройств, а при расчетах системы внутризаводского и внутрицехового электроснабжения – структуру этих устройств и мощность их отдельных составляющих.

Известно, что входной реактивной мощностью потребителя называют такую реактивную мощность, которая потребляется им из сетей энергосистемы при условии минимума затрат на генерацию и передачу реактивной энергии от генерирующих источников энергосистемы и потребителя.

Таким образом, с одной стороны – это величина, которая определяет экономические показатели работы потребителя, а с другой стороны – это условная величина, определяемая энергосистемой и задается каждому конкретному потребителю.

При проектировании СЭС эта величина указывается в технических условиях на проектирование или определяется специальным расчётом [1].

Она является «отправным пунктом» для расчетов мощности и структуры компенсации потребителя.

Также на всех ступенях схемы должна быть обеспечена надёжная защита и коммутация электрической сети, для чего необходимо выбрать и проверить электрические аппараты, предварительно рассчитав токи короткого замыкания и ударные токи в расчётных точках схемы проектируемой электрической сети и проверив всё выбранное оборудование на термическую и электродинамическую стойкость [1,5].

Также одним из основных аспектов при разработке схем электрических сетей современных предприятий химической отрасли является экономичность и выбор оптимального режима с соответствующими техническими решениями (резервирование, секционирование, выбор режима работы, оптимизация технологии и т.д.).

Данные основные требования нормативных документов обязательны к применению при разработке и реализации принятых решений (внедрении) в системах электроснабжения предприятий химической отрасли.

## **1.2 Краткая характеристика трансформаторной подстанции ТП-50 и её потребителей до проведения реконструкции РУ-6 кВ**

Рассматриваемая в работе ТП-50 питает реагентное отделение ПАО «КуйбышевАзот», специализирующееся на производстве минеральных удобрений.

В рамках проекта по расширению производства практически с нуля построен новый реагентный комплекс с новейшей технологией.

Данная технология впервые в мире была применена именно на предприятии ПАО «КуйбышевАзот» и показала себя с наилучшей стороны, позволив максимально оптимизировать технологический процесс и кардинально снизить затраты на сырьё, ресурсы и рабочую силу.

В результате внедрения данного реагентного комплекса с инновационной технологией химического реагирования, годовая производительность ПАО «КуйбышевАзот» выросла почти на 2 млн тонн. Кроме того, при этом также существенно повысилось качество производимой продукции.

Все эти факторы указывают на то, что рассматриваемое в работе предприятие ПАО «КуйбышевАзот» является динамично развивающейся компанией с эффективным процессом производства и стабильными экономическими показателями.

Объектом исследования в работе является распределительное устройство напряжением 6 кВ (далее – РУ-6 кВ) трансформаторной подстанции № 50 напряжением 6/0,4 кВ (далее – ТП-6/0,4 кВ), питающая реагентное отделения ПАО «КуйбышевАзот».

Конструктивно указанная ТП-6/0,4 кВ состоит из одного силового трансформатора марки ТМ-400/6, а также распределительных устройств высшего (6 кВ) и низшего (0,4 кВ) напряжений.

Питание РУ-6 кВ ТП-6/0,4 кВ осуществляется кабельной линией электропередачи марки ААБ-6 (3×120) на напряжении 6 кВ (КЛ-6 кВ) от распределительного пункта 6 кВ (далее – РП-6 кВ) предприятия.

В РУ-6 кВ ТП-6/0,4 кВ для защиты и коммутации установлены устаревшие аппараты выключатель нагрузки ВН-16 и предохранитель ПКТ-101-10. Для защиты РУ-6 кВ ТП-6/0,4 кВ на питающем РП-6 кВ предприятия предусмотрен устаревший высоковольтный выключатель марки ВМП-10.

Для защиты отходящих линий в распределительном устройстве низшего напряжения (далее – РУ-0,4 кВ) ТП-6/0,4 кВ установлены воздушные автоматические выключатели марки АЗ160.

Отходящие линии, питающие силовое электрооборудование системы электроснабжения реагентного отделения от ТП-6/0,4 кВ, выполнены по магистральной схеме без резервирования силовыми кабелями марки АВВГ разных сечений.

Эти линии осуществляют питание силовых распределительных щитов (СРШ), от которых питаются производственные механизмы и оборудование реагентного отделения на напряжении 0,38/0,22 кВ (рассмотрены в работе далее).

Питание щитов рабочего (ЩРО) и аварийного освещения (ЩАО) от шин 0,4 кВ ТП-6/0,4 кВ осуществляется по радиальной схеме.

Схема электрических соединений ТП-6/0,4 кВ, питающей систему электроснабжения реагентного отделения до проведения реконструкции РУ-6 кВ, показана на графическом листе 1.

Так как данная ТП-6/0,4 кВ питает реагентное отделение предприятия, в работе необходимо рассмотреть и кратко привести техническую характеристику основного технологического оборудования данного реагентного отделения, так как оно является непосредственной нагрузкой для рассматриваемой ТП-6/0,4 кВ, и, для проведения качественной реконструкции, далее в работе необходимо в первую очередь рассчитать электрические нагрузки данной ТП-6/0,4 кВ с учётом технических характеристик данного оборудования.

Реагентное отделение ПАО «КуйбышевАзот», которое питает рассматриваемая в работе ТП-6/0,4 кВ, является вспомогательным звеном основного технологического процесса производства предприятия и относится ко II категории по надёжности электроснабжения потребителей согласно [1].

Подача реагентов осуществляется со склада реагентов, находящегося на первом этаже главного технологического корпуса. При этом для подачи жидких реагентов применяется трубопроводы и реагентопроводы. Растворы реагентов перекачиваются центробежными питательными насосами, не имеющими движущихся частей, соприкасающихся с растворами. Реагентный питатель оснащён электроприводом. Для приведения в действие реагентного реактора также используется автоматизированный электропривод.

Кроме этого, для хранения и отстаивания реагентов в реагентном отделении имеются различные резервуары, отстойники и растворные чаны.



Также для промежуточных операций приготовления сложных жидких реагентов есть расходные баки.

Согласно требованиям [5], реагентное отделение помимо основного технологического оборудования, должно быть оснащено хорошей системой вентиляции, так как работа тесно связана с наличием вредных реагентов для организма человека. Такую функцию выполняют три мощных приточно – вытяжных вентилятора, расположенные в рассматриваемом реагентном отделении предприятия. Для разделения первичного материала, поступающего в реагентное отделение по транспортёрам, на фракции, для обезвоживания реагентов, а также для отмывки от реагентов сосудов, применяются гидроциклоны.

Процесс измельчения первичного материала до требуемой консистенции для дальнейшего осуществления операций с реагентами осуществляется в барабанах – измельчителях. Для перемешивания и принудительного растворения твёрдых реагентов в жидкостях применяются мешалки. В случае несоответствия качества оборотной воды технологическим требованиям, а также с целью очищения и обеззараживания воды, необходимой для приготовления реагентов, на предприятии предусматриваются сооружения водоподготовки для добавки коагулянтов и прочих реагентов.

Применяется механический процесс очищения, заключающийся в отделении крупнозернистых загрязнений на решётках с последующим отстаиванием и фильтрацией. Для этой цели непосредственно используются первичные и вторичные отстойники.

Для подачи воды из реагентного отделения в указанные отстойники применяются насосы, которые находятся в помещении реагентного отделения. Для очистки воды от примесей непосредственно применяются фильтрационные колонны, работающие по принципу «обратного осмоса», а также установки обеззараживания воды. При необходимости подогрева воды используется проточные технологические подогреватели.

Освещение прилегающей территории выполнено светодиодными светильниками прожекторного типа. Также предусмотрено аварийное освещение согласно [1].

Характеристика перечисленного выше технологического оборудования реагентного отделения ПАО «КуйбышевАзот», которое питает рассматриваемая в работе ТП-6/0,4 кВ, приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика технологического оборудования реагентного отделения ПАО «КуйбышевАзот»

№	Наименование оборудования реагентного отделения	Марка электродвигателя	Параметры электроприёмника			
			$P_{ном}$ , кВт	$\eta$ , %	$\cos\varphi$	$K_{пуск}$
1	Привод реагентного реактора	4A100L2Y3	5,5	0,875	0,91	7,5
2	Насос подачи воды в систему	4A132M2Y3	11	0,88	0,9	7,5
3	Насос подачи воды в фильтрационную	4A132M2Y3	11	0,88	0,9	7,5
4	Привод реагентного питателя	4A132M2Y3	11	0,880	0,9	7,5
5	Привод сгустителя	4A100L2Y3	5,5	0,875	0,91	7,5
6	Привод установки обеззараживания воды	4A100L2Y3	5,5	0,875	0,91	7,5
7	Питательный насос	4A132M2Y3	11	0,88	0,9	7,5
8	Фильтрационная колонна	4A112M2Y3	7,5	0,875	0,88	7,5
9	Дренажный насос	4A132M2Y3	11	0,88	0,9	7,5
10	Аноксидный реактор (денитрификатор)	-	8	0,92	1	2,5
11	Насос подачи во вторичный отстойник	4A132M2Y3	11	0,88	0,9	7,5
12	Привод барабана - измельчителя	AMH180S6	18,5	0,92	0,92	7,5
13	Насос аэрации	4A80B2Y3	2,2	0,83	0,87	6,5
14	Привод мешалки	4A132M2Y3	11	0,88	0,9	7,5
15	Привод гидроциклона	4A132M2Y3	11	0,88	0,9	7,5
16	Вентилятор вытяжной производственный	4A90L2Y3	3	0,845	0,88	6,5
17	Подогреватель проточный технологический	-	22	0,96	1	3
18	Насос подачи в первичный отстойник	4A132M2Y3	11	0,88	0,9	7,5

Технические данные оборудования, приведённые в таблице 1, используются в работе далее для непосредственного расчёта электрических нагрузок ТП-6/0,4 кВ реагентного отделения, по результатам расчёта которых выбираются силовые трансформаторы, кабельные линии и электрические аппараты.

### **1.3 Обзор состояния проблемы и обоснование необходимости проведения реконструкции**

По надёжности электроснабжения реагентное отделение, которое питает рассматриваемая в работе ТП-6/0,4 кВ, относится ко II категории надёжности, однако получают питание от питающего РП-6 кВ предприятия одной кабельной линией без резервирования, что является недопустимым согласно требований [1].

Поэтому для питания реагентного отделения в работе должен быть предусмотрен второй источник питания на ТП-6/0,4 кВ с учётом требований резервирования согласно [1,3].

Кроме того, большинство электроприёмников реагентного отделения относится ко II категориям надёжности (при наличии приёмников I категории, так как технологический процесс связан с непосредственной опасностью для людей), однако их СРШ получают питание от шин ТП-6/0,4 кВ на напряжении 0,4 кВ магистральной схемой без резервирования, что также не отвечает требованиям [1].

Поэтому все СРШ должны быть запитаны по радиальной схеме электроснабжения от ТП-6/0,4 кВ.

Также требуется модернизация кабельных линий и электрических аппаратов, установленных в 80-х годах 20 века, вследствие их износа и выработки ресурса, на питающей ТП-6/0,4 кВ и в системе электроснабжения реагентного отделения в целом. Они устарели технически и нуждаются в модернизации.

Согласно теме работы, основным мероприятием является реконструкция РУ-6 кВ ТП-6/0,4 кВ, которое осуществляется в работе вследствие подключения дополнительного источника питания для второго трансформатора ТП-6/0,4 кВ от РП-6 кВ предприятия. Вследствие этого, предусмотрена реконструкция схемы РУ-6 кВ с заменой её с магистральной на радиальную схему, с последующей установкой дополнительных электрических аппаратов напряжением 6 кВ в РУ-6 кВ ТП-6/0,4 кВ для защиты и коммутации нового источника питания. При этом на основе расчёта электрических нагрузок в работе проводится выбор и проверки современных электрических аппаратов в РУ-6 кВ.

Помимо основного мероприятия по реконструкции РУ-6 кВ ТП-6/0,4 кВ, в работе также предусматриваются дополнительные мероприятия по реконструкции и модернизации питающей ТП-6/0,4 кВ, которая питает систему электроснабжения реагентного отделения:

- установить на питающей ТП-6/0,4 кВ два силовых трансформатора, номинальную мощность которых выбрать и проверить в работе;
- обеспечить питание выбранных силовых трансформаторов ТП-6/0,4 кВ двумя кабельными линиями электропередачи напряжением 6 кВ от энергосистемы по радиальной схеме электроснабжения;
- проверить необходимость компенсации реактивной мощности в реконструированной системе электроснабжения, выбрать компенсирующие устройства для установки их на ТП-6/0,4 кВ (при необходимости);
- обеспечить питание всех СРШ реагентного отделения по радиальной схеме электроснабжения от шин 0,4 кВ питающей ТП-6/0,4 кВ;
- модернизировать кабельные линии и электрические аппараты ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения реагентного отделения путём их замены на современные марки, обладающие компактностью, надёжностью и улучшенными техническими характеристиками;
- установить современные средства учёта и контроля электроэнергии на ТП-50 (6/0,4 кВ).

## **Выводы по разделу 1**

В результате выполнения первого раздела работы, проведён анализ исходных данных.

Рассмотрены требования, предъявляемые к системам электроснабжения предприятий химической отрасли.

Приведена техническая характеристика трансформаторной подстанции ТП-50 и её потребителей до проведения реконструкции РУ-6 кВ.

Установлено, что ТП-50 питает реагентное отделение ПАО «КуйбышевАзот», которое является вспомогательным звеном основного технологического процесса производства предприятия и относится ко II категории по надёжности электроснабжения потребителей согласно [1]. Вследствие этого, для дальнейшего расчёта электрических нагрузок, в работе рассмотрена система электроснабжения и основное оборудование данного реагентного отделения.

На основе приведённых положений основных нормативных документов, учитывая схему соединений, категорию надёжности и установленное оборудование, обоснована необходимость проведения реконструкции РУ-6 кВ ТП-6/0,4 кВ (основное мероприятие), а также дополнительных мероприятий по реконструкции ТП-6/0,4 кВ, питающей потребителя реагентного отделения на напряжении 0,38/0,22 кВ.

На основе приведённых данных и выкладок, далее в работе осуществляется разработка и внедрение указанных мероприятий по реконструкции.

## **2 Разработка проекта реконструкция распределительного устройства 6 кВ ТП-50 предприятия**

### **2.1 Реконструкция схемы электрических соединений РУ-6 кВ ТП-50**

Как было сказано ранее, в связи с реконструкцией, на питающей ТП-6/0,4 кВ необходимо установить два силовых трансформатора, номинальную мощность которых нужно выбрать и проверить в работе.

Принимаются для установки на питающей ТП современные трансформаторы марки ТМГ-6/0,4 кВ.

В послеаварийном режиме второй трансформатор на ТП-6/0,4 кВ должен принять на себя нагрузку первого трансформатора (с учётом отключения потребителей III категории надёжности реагентного отделения), обеспечивая таким образом необходимое резервирование согласно требованиям [4].

Питание выбранных силовых трансформаторов обеспечивается двумя кабельными линиями электропередачи напряжением 6 кВ от энергосистемы по радиальной схеме электроснабжения. Предусматривается прокладка силовых кабелей напряжением 6 кВ в земляной траншее. В реконструированной схеме принимается кабель марки АСБ, имеющий ряд преимуществ перед кабелем марки ААБ, использовавшегося до проведения реконструкции.

Вследствие этого, проводится реконструкция РУ-6 кВ ТП-6/0,4 кВ, предусматривающая:

- применение второго ввода от источника питания (РП-6 кВ предприятия), который подключается ко второй секции сборных шин РП-6 кВ по условию резервирования и секционирования [1];

- изменение магистральной схемы питания РУ-6 кВ ТП-6/0,4 кВ на радиальную двухлучевую схема (без наличия ответвлений) с резервированием на питающем РП-6 кВ. Указанная схема характеризуется высокой надёжностью и подходит для питания потребителей II категории надёжности;

– установка дополнительных коммутационных и защитных аппаратов в РУ-6 кВ для защиты и коммутации второго источника питания ТП-6/0,4 кВ от РП-6 кВ предприятия.

Кроме того, проводятся дополнительные мероприятия по реконструкции и модернизации питающей ТП-6/0,4 кВ, описанные ниже. В схеме ТП-6/0,4 кВ на стороне НН используется секционированную система сборных шин напряжением 0,4 кВ с резервированием секционным автоматическим выключателем с устройством АВР (автоматическое включение резерва). В нормальном режиме секционный автомат отключён, обеспечивая тем самым отдельную работу секций сборных шин, а в аварийном режиме работы включается автоматически под действием системы АВР, обеспечивая питание потребителей секции сборных шин, оставшейся без напряжения, от второго силового трансформатора ТП-6/0,4 кВ.

От шин 0,4 кВ питающей ТП-6/0,4 кВ обеспечивается питание всех СРШ по радиальной схеме электроснабжения пятижильными кабелями марки ААВГ, проложенными в траншее [7,23]. При этом нагрузки СРШ необходимо равномерно разделить на два силовых трансформатора, что осуществляется в работе далее при непосредственном расчёте нагрузок.

Также в работе необходимо модернизировать кабельные линии и электрические аппараты распределительной сети системы электроснабжения реагентного отделения путём их замены на современные марки, обладающие компактностью, надёжностью и улучшенными техническими характеристиками. Для этой цели в СРШ устанавливаются автоматические трехполюсные выключатели марки ВА отечественного производства, имеющие значительные преимущества по сравнению с ранее установленными автоматами марки А3160 [5], а силовые кабели марки АВВГ распределительной сети подлежат замене на современные пятижильные медные кабели марки ВВГнг-LS. Схема электрических соединений ТП-6/0,4 кВ, полученная после проведения реконструкции РУ-6 кВ, приведена в графической части работы на листе 2.

## 2.2 Расчёт электрических нагрузок ТП-50

Для выбора электрических аппаратов и сетей реконструированной схемы электрических соединений РУ-6 кВ ТП-50, а также проверки силовых трансформаторов ТП-50 и модернизации РУ-0,4 кВ ТП-50, необходимо произвести расчёт электрических нагрузок реактивного отделения завода по производству минеральных удобрений, которое питает упомянутая ТП-50.

Расчёт электрических нагрузок ТП-6/0,4 кВ проводится детально с учётом того, что данная ТП питает электроприёмники реактивного отделения. Следовательно, расчёт нагрузки ТП-6/0,4 кВ будет совпадать с расчётом нагрузок реактивного отделения, который она питает. Расчёт силовых электрических нагрузок ТП-50 (6/0,4 кВ) реактивного отделения завода по производству минеральных удобрений проводится методом упорядоченных диаграмм [10]. Активная и реактивная нагрузки силовых электроприемников напряжением 0,38/0,22 кВ ТП-50 (6/0,4 кВ) реактивного отделения завода по производству минеральных удобрений за наиболее загруженную смену [10]:

$$P_{см} = P_{ном} \cdot k_u, \text{ кВт}, \quad (1)$$

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \text{tg}\varphi, \text{ квар}, \quad (2)$$

где  $P_{ном}$  – номинальная активная мощность, кВт;

$k_u$  – коэффициент использования.

Определяется групповой коэффициент использования [10]:

$$k_u = \frac{P_{см}}{P_{ном}}, \quad (3)$$

где  $P_{см}$  – активная нагрузка силовых электроприемников напряжением 0,38/0,22 кВ ТП-50 (6/0,4 кВ) реактивного отделения завода по производству минеральных удобрений за наиболее загруженную смену, кВт.



Эффективное количество электроприемников [10]

$$n_{\text{э}} = \frac{(\sum P_{\text{ном}})^2}{P_{\text{ном}}^2}. \quad (4)$$

Расчетная активная нагрузка группы электроприемников [10]

$$P_p = P_{\text{см}} \cdot k_p, \text{кВт}, \quad (5)$$

где  $k_p$  – коэффициент расчётной активной нагрузки.

Средневзвешенный коэффициент активной нагрузки  $\cos\varphi_{\text{ср.взв}}$  [10]:

$$\cos\varphi_{\text{ср.взв}} = \frac{\sum P_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi}{\sum P_{\text{ном}}}. \quad (6)$$

Расчетная реактивная нагрузка [10]:

$$Q_p = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{ср.взв}} \cdot k_{pp}, \text{квар}, \quad (7)$$

где  $k_{pp}$  – коэффициент расчетной реактивной нагрузки.

Полная расчётная нагрузка силовых электроприемников ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода напряжением 0,38/0,22 кВ [10]:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{кВА}. \quad (8)$$

Расчетный ток группы силовых электроприемников ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений напряжением 0,38/0,22 кВ [10]:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, A. \quad (9)$$

Пиковый ток силовых электроприемников ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений [10]:

$$I_{пик} = I_{н.н.} + (I_p - k_u \cdot I_n), A, \quad (10)$$

где  $I_{н.н.}$  – наибольший пусковой ток электроприемника в рассматриваемой группе, А;

$I_n$  – номинальный ток электроприемника с наибольшим пусковым током в рассматриваемой группе, А.

Распределение электроприёмников реагентного отделения по силовым распределительным шкафам (далее – СРШ) показано в таблице 2.

Таблица 2 – Распределение электроприёмников по СРШ в системе электроснабжения реагентного отделения

№ СРШ	№ ЭП, п/п	Наименование электроприемников	$P_{ном}$ , кВт	Количество, шт
СРШ 1	2	Насос подачи воды в систему	11	2
	16	Вентилятор вытяжной	3	1
	17	Подогреватель проточный технологический	22	3
	18	Насос подачи в первичный отстойник	11	2
СРШ 2	3	Насос подачи воды в фильтрационную	11	1
	10	Аноксидный реактор (денитрификатор)	8	2
	11	Насос подачи во вторичный отстойник	11	3
	13	Насос аэрации	2,2	1
	5	Привод сгустителя	5,5	1
СРШ 3	1	Привод реагентного реактора	5,5	2
	6	Установки обеззараживания воды	5,5	4
	8	Фильтрационная колонна	7,5	2
СРШ 4	7	Питательный насос	11	2
	15	Привод гидроциклона	11	2
	12	Привод барабана - измельчителя	18	3
СРШ 5	14	Привод мешалки	11	3
	4	Привод реагентного питателя	11	2
	9	Дренажный насос	11	2

По формулам (1) – (10) проводится практический расчёт нагрузок ТП-50, питающей реагентное отделение завода по производству минеральных удобрений.

В работе рассматривается расчет электрических нагрузок на примере СРШ-1 по условиям (1) – (10).

$$P_{см} = 10 \cdot 2 \cdot 0,14 = 2,8 \text{ кВт.}$$

$$Q_{см} = 2,8 \cdot 1,73 = 4,85 \text{ квар.}$$

$$k_u = \frac{31,24}{122} = 0,26.$$

$$n_s = 7,33 \text{ шт.}$$

$$K_p = 1,23 [2].$$

$$P_p = 31,24 \cdot 1,23 = 38,43 \text{ кВт.}$$

$$\cos \varphi_{ср.взв} = 0,5 \rightarrow \operatorname{tg} \varphi_{ср.взв} = 1,75.$$

$$Q_p = 1,1 \cdot 31,24 \cdot 1,75 = 60,31 \text{ квар.}$$

$$S_p = \sqrt{38,43^2 + 60,31^2} = 71,51 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

$$I_p = \frac{71,51}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 108,65 \text{ А.}$$

$$I_{лик} = 286,5 + (108,65 - 0,2 \cdot 95,5) = 376,05 \text{ А.}$$

Нагрузки остальных СРШ рассчитаны аналогично.

Результаты расчета силовых электрических нагрузок для остальных СРШ реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений, а также для всей питающей ТП-50 (6/0,4 кВ), приведены в таблице 2.2.

Расчетная нагрузка освещения реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений в работе определяется так [12]:

$$P_{р.о} = K_{с.о} P_{ном.о} K_{пр.а}, \text{ кВт}, \quad (11)$$

где  $K_{с.о} = 0,95$  – значение нормируемого коэффициента спроса осветительной нагрузки [14].

Активная осветительная нагрузка реагентного отделения

$$P_{ном.о} = P_{уд.о} F_u, \text{ кВт}, \quad (12)$$

где  $P_{уд.о}$  – значение удельной установленной мощности освещения на  $1\text{ м}^2$  освещаемой площади,  $\text{Вт/м}^2$ . Для светодиодных источников света принимается значение  $15 \text{ Вт/м}^2$  [11];

$F_u$  – площадь территории, которая подлежит освещению,  $\text{м}^2$ .

Реактивная осветительная нагрузка реактивного отделения

$$Q_{p.о} = P_{p.о} \cdot \text{tg} \varphi_o, \text{ квар}, \quad (13)$$

где  $\text{tg} \varphi_o$  – коэффициент реактивной мощности осветительной нагрузки.

Осветительная нагрузка реактивного отделения согласно (11) – (13):

$$P_{уд.о} = 15 \text{ Вт/м}^2.$$

$$P_{ном.о} = 500 \cdot \frac{15}{1000} = 7,5 \text{ кВт}.$$

$$P_{p.о} = 7,5 \cdot 1,05 \cdot 0,95 = 7,4 \text{ кВт}.$$

$$Q_{p.о} = 7,5 \cdot 0,43 = 3,2 \text{ квар}.$$

$$S_{p.о} = \sqrt{7,4^2 + 3,2^2} = 8,1 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

$$I_{p.о} = \frac{8,1}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 12,5 \text{ А}.$$

Нагрузка аварийного освещения принимается равной 10% от рабочего освещения согласно [11].

Результаты расчётов электрических нагрузок реактивного отделения и питающей его ТП-50 (6/0,4 кВ) представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчётов электрических нагрузок

Номер ЭП п/п	Кол-во, шт	Установ- ленная мощность, кВт		$K_u$	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	Средняя нагрузка за наиболее загруженну ю смену		$n_s$	$K_p$	Максимальные расчетные нагрузки				
		$P_{ном},$ кВт	$P_{сум},$ кВт				$P_{см.},$ кВт	$Q_{см.},$ квар			$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВ· А	$I_p,$ А	$I_n,$ А
СРШ1															
2	2	11	22	0,14	0,5	1,73	2,80	4,85							
16	1	3	3	0,14	0,5	1,73	0,42	0,73							
17	3	22	66	0,2	0,4	2,29	13,20	30,24							
18	2	11	22	0,65	0,8	0,75	13,00	9,75							
Итого СРШ1	8	-	113	0,26	0,5	1,75	31,24	48,72	7,33	1,23	38,43	60,31	71,51	108,7	376,1
СРШ2															
3	1	11	11	0,14	0,5	1,73	1,4	2,42							
10	2	8	16	0,8	1	0	12,8	0							
11	3	11	33	0,14	0,5	1,73	3,61	6,26							
13	1	2,2	2,2	0,14	0,5	1,73	0,31	0,53							
5	1	5,5	5,5	0,1	0,5	1,73	0,35	0,61							
Итого СРШ 2	8	-	67,7	0,32	0,64	1,20	18,47	9,82	7,08	1,28	23,64	24,45	34,1	51,7	192,7
СРШ3															
1	2	5,5	11	0,14	0,5	1,73	1,54	2,67							
6	4	5,5	22	0,14	0,5	1,73	3,08	5,33							
8	2	7,5	15	0,14	0,5	1,73	2,10	3,64							
Итого СРШ 3	8	-	48	0,14	0,50	1,73	6,72	11,64	7,84	1,78	11,96	12,80	17,52	26,6	135,5
СРШ4															
7	2	11	22	0,14	0,5	1,73	2,80	4,85							
15	2	11	22	0,14	0,5	1,73	2,80	4,85							
12	3	18	54	0,8	1	0,00	43,20	0,00							
Итого СРШ4	7	-	98	0,52	0,79	0,78	48,80	9,70	6,44	1,13	55,14	42,05	69,35	105,4	246,5
СРШ5															
14	3	18	54	0,8	1	0,00	43,20	0,00							
4	2	11	22	0,14	0,5	1,73	1,40	2,42							
9	2	11	22	0,14	0,5	1,73	1,40	2,42							
Итого СРШ5	6	-	66	0,63	0,65	1,18	18,23	9,41	5,95	1,28	23,34	23,70	33,26	50,53	191,7
ЩРО											7,4	3,2	8,1	12,5	-
ЩАО											0,7	0,3	0,8	1,3	-
Всего (ТП- 50)						1,328					152,51	163,3	223,5	339,6	831,9

Полученные результаты расчётных нагрузок как объектов, так и ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений в целом, используются в работе далее при выборе силовых трансформаторов на питающей ТП-50 (6/0,4 кВ), а также кабельных линий и электрических аппаратов при реконструкции РУ-6 кВ ТП-50.

### **2.3 Расчёт и выбор компенсирующих устройств**

Непосредственный выбор компенсирующих устройств для установки на ТП-6/0,4 кВ реагентного отделения проводится по [1,6,25].

В основном в сетях потребителя для компенсации реактивной мощности традиционно используются конденсаторные установки [1]. Высокие технико-экономические характеристики современных конденсаторов, из которых комплектуются конденсаторные батареи, привели к существенному росту их доли в общем количестве дополнительных источников реактивной мощности электроэнергетических систем. Этому способствовала также способность к делению мощности конденсаторных батарей с помощью коммутационной аппаратуры на отдельные части – секции. Такие электротехнические установки получили название конденсаторных установок (КУ).

Основными комплектующими изделиями в КУ является косинусные конденсаторы. Это – две полосы алюминиевой фольги, непосредственно разделенных бумажной изоляцией.

До недавнего времени в конденсаторах типа КМ (косинусные масляные) применялось масляное пропитки бумажной изоляции. В современных конденсаторах широко применяют синтетическое пропитки (конденсаторы типа КС - косинусные синтетические), их технико-экономические показатели в 2,5 - 3 раза превышают показатели конденсаторов типа КМ, кроме того, они не замерзают и не горят. Но синтетический наполнитель таких конденсаторов – это очень токсичная жидкость и поэтому представляет собой определенную опасность в эксплуатации. Такие хорошо изолированные емкостные пакеты

монтируют в металлические корпуса и соединяют между собой параллельным и последовательным способами. При этом конденсаторы могут быть как однофазными, так и трехфазными. В первых есть два вывода для подключения к сети, у вторых – три.

Современные конденсаторные установки (КУ) имеют следующие преимущества и характеризуются [5,6]:

- отсутствием шума во время работы;
- отсутствием необходимости непрерывного надзора и обслуживания;
- они не чувствительны к присутствию высших гармоник тока.

К основным недостаткам КУ относят [5,6]:

- наличие остаточного заряда;
- зависимость реактивной мощности от напряжения;
- ступенчатое регулирование реактивной мощности.

Электротехническая промышленность выпускает комплектные конденсаторные установки (УК) с определенной номинальной мощностью их конденсаторов, установленных в металлическом корпусе и снабжены коммутационной и защитной аппаратурой. Они могут иметь как ручное, так и автоматическое управление, в основном по величине напряжения.

На практике применяются конденсаторные батареи и установки, которые укомплектованы отдельными конденсаторами определенной мощности и напряжения. Расчетное значение мощности конденсаторного КУ округляют до ближайшего стандартного значения.

В зависимости от места расположения дополнительных КУ различают индивидуальную, групповую и централизованную компенсацию реактивной мощности [6].

При индивидуальной компенсации КУ присоединяются под общий выключатель с мощными, хорошо нагруженными потребителями реактивной энергии, при групповой – источник реактивной мощности присоединяется в узловой точке СЭС группы потребителей, при централизованной – источник

реактивной мощности устанавливается в точке присоединения к СЭП источники питания ее электроэнергией.

В электрических сетях до 1 кВ промышленных предприятий применяют все три вида компенсации реактивной мощности, а в электрических сетях выше 1 кВ – в основном групповую и централизованную. При этом установленная мощность дополнительных источников реактивной мощностей в соответствующей точке СЭС определяется экономическими расчётами с учетом того, то реактивная мощность может изменяться плавно.

Конденсаторная установка с номинальным напряжением конденсаторов до 1 кВ, в отличие от конденсаторов с напряжением выше 1 кВ, также уменьшает потери активной мощности и увеличивает пропускную способность не только электрических сетей свыше 1 кВ, но и трансформаторов цеховой ТП и цеховых сетей до 1 кВ, если они установленные у цеховых распределительных пунктов или около ЭП.

Для использования в схеме электроснабжения применяется установка компенсирующих устройств в виде батарей конденсаторов на шинах 0,4 кВ ТП-6/0,4 кВ реагентного отделения.

Расчётная реактивную мощность компенсирующего устройства [1,6]

$$Q_{к.р.} = \alpha \cdot P_p (tg\varphi - tg\varphi_k), \text{ квар}, \quad (14)$$

где  $\alpha=0,9$  – коэффициент, учитывающий повышение  $\cos\varphi$  естественным способом;

$tg\varphi$ ,  $tg\varphi_k$  – коэффициенты реактивной мощности до и после компенсации, соответственно.

Компенсацию реактивной мощности производят до получения значения  $\cos\varphi_k = 0,92 - 0,95$ . Задавшись значением  $\cos\varphi_k$  из этого промежутка, определяют значение  $tg\varphi_k$ .

Значения  $P_p$  и  $tg\varphi$  выбираются по результату расчёта нагрузок.

По условию (14)



$$Q_{к.р.} = 0,9 \cdot 152,51(1,328 - 0,39) = 128,72 \text{ квар.}$$

Так как на ТП-6/0,4 кВ в результате проведения реконструкции устанавливается два силовых трансформатора, для компенсации реактивной мощности выбирается парное количество (две) комплектные конденсаторные установки типа УК БН-0,38-50-50УЗ. При этом суммарная мощность выбранных КУ составляет  $2 \cdot 50 = 100$  квар.

После выбора КУ на ТП-6/0,4 кВ определяется фактическое значение  $\text{tg}\varphi_{\text{ф}}$  и  $\text{cos}\varphi$

$$\text{tg}\varphi_{\text{к}} = \text{tg}\varphi - \frac{Q_{\text{к.см.}}}{\alpha \cdot P_p}, \text{ квар.} \quad (15)$$

По (15) с учётом того, что остаточная реактивная мощность (28,75 квар) будет компенсирована на ГПП завода с помощью КУ-6 кВ

$$\text{tg}\varphi_{\text{к}} = 1,328 - \frac{100 + 28,75}{0,9 \cdot 152,51} = 0,33$$

После определения фактического значения коэффициента мощности производится пересчёт значений  $Q_p$ ,  $S_p$  и  $I_p$  реактивного отделения с учётом выбранной КУ:

$$P_p = 152,51 \text{ кВт};$$

$$Q_p = 163,31 - 100 = 63,31 \text{ квар};$$

$$S_p = \sqrt{152,51^2 + 63,31^2} = 165,2 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Полученные расчёты электрических нагрузок на ТП-50 (6/0,4 кВ) в результате проведения реконструкции и после установки компенсирующих устройств используются в работе далее.

## 2.4 Выбор и проверка силовых трансформаторов

Выбор силовых трансформаторов для установки на питающей ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений производится по материалам и методике [12,15,27].

Мощность силового трансформатора на питающей ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений определяется из соотношения

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{P_{\text{р.}}}{N\beta_{\text{т}}}, \quad (16)$$

Г

Д

е  $S_{\text{ном.т.р}}$  – расчетная мощность силового трансформатора, установленный на ТП-50 (6/0,4 кВ) кВА;  $S_{\text{ном.т}}$  – номинальная мощность силового трансформатора, установленного на ТП-50 (6/0,4 кВ) кВА;  $P_{\text{р.}}$  – суммарная нагрузка объектов ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений, которые получают питание от данной ТП-50 (6/0,4 кВ), кВт;

$N$  – число трансформаторов на питающей ТП-50 (6/0,4 кВ), шт;

$\beta_{\text{т}}$  – коэффициент загрузки трансформатора на питающей ТП-50 (6/0,4 кВ).

По (2.13) для ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{152,51}{2 \cdot 0,7} = 108,9 \text{ кВА}.$$

По результатам расчёта из каталога [15] выбраны для установки на питающей подстанции ТП-50 (6/0,4 кВ) ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного

отделения завода по производству минеральных удобрений два силовых трансформатора марки ТМГ-160/6-УЗ.

Конструктивно питающая подстанция ТП-50 (6/0,4 кВ) реактентного отделения завода по производству минеральных удобрений выполнена в виде одноэтажного сооружения с кабельными вводами и состоит из двух силовых трансформаторов типа ТМГ-160/6-УЗ, а также распределительных устройств 6 кВ и 0,4 кВ. Конструктивное выполнение ТП-50 (6/0,4 кВ) реактентного отделения завода по производству минеральных удобрений (план и разрезы) приведено в графической части работы на листе 3.

Для проверки выбранных трансформаторов, согласно [3], действительные значения коэффициентов загрузки сравниваются с допустимыми значениями.

Проверка в нормальном режиме [15,21]

$$K_3^n = \frac{0,5 \cdot S_p}{S_{ном.т}} \leq 0,85. \quad (17)$$

Проверка в послеаварийном (ПАВ) режиме [15,21]

$$K_3^{n.ав} = \frac{S_p}{S_{ном.т}} \leq 1,7. \quad (18)$$

Для ТП-50 (6/0,4 кВ) реактентного отделения завода по производству минеральных удобрений условия проверок силовых трансформаторов в нормальном и послеаварийном режимах выполняются:

– в нормальном режиме работы

$$K_3^n = \frac{165,2}{160 \cdot 2} = 0,52 \leq 0,7.$$

– в ПАВ режиме работы

$$K_3^{n.ав} = \frac{165,2}{160 \cdot (2-1)} = 1,03 \leq 1,4.$$

Окончательно принимаются к установке на питающей подстанции ТП-50 (6/0,4 кВ) реактентного отделения завода по производству минеральных удобрений два силовых трансформатора марки ТМГ-160/6, которые удовлетворяют условиям выбора и проверок.

Конструкция выбранного типа силового трансформатора для установки на питающей ТП-50 (6/0,4 кВ) реактентного отделения завода по производству минеральных удобрений представлена на графическом листе 4.

## 2.5 Выбор и проверка сечения проводников

Для выбора сечения кабеля рассчитывается рабочий ток нормального режима кабельной линии

$$I_{p.} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}. \quad (19)$$

Максимальный расчётный ток линии с двумя силовыми кабелями (послеаварийный режим работы)

$$I_{p.маx} = 1,4 I_{p.маx}. \quad (20)$$

Проверка сечения в послеаварийном режиме [1]:

$$I_{дон} \geq I_{p.маx}, \quad (21)$$

где  $I_{don}$  – табличное значение длительно – допустимого тока силового кабеля выбранного стандартного сечения, А [1];

$I_{p.max}$  – расчётное значение максимального тока участка, А.

Выбор сечения питающей кабельной линии напряжением 6 кВ проводится по условию:

$$F_3 = \frac{I_{p.}}{j_3}, \quad (22)$$

где  $j_3$  – плотность тока, А/мм<sup>2</sup>.

Проводится выбор силовых кабелей для питания ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений от шин РП-6 кВ завода.

На ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений установлены силовые трансформаторы мощностью 160 кВА, следовательно, выбор кабелей 6 кВ для них будет одинаков:

$$I_{p.} = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 6} = 15,4 \text{ А.}$$

$$F_3 = \frac{15,4}{1,6} = 9,6 \text{ мм}^2.$$

Согласно [1], выбирается ближайшее номинальное сечение кабельной линии  $F=16$  мм<sup>2</sup> с  $I_{don}=90$  А (прокладка кабеля – в земле, отклонений от стандартных условий прокладки нет).

Максимальный расчётный ток кабельной линии, питающей ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений

$$I_{p.max} = 1,4 \cdot 15,4 = 21,56 \text{ А.}$$

Условие проверки выполняется

$$90 A \geq 21,56 A.$$

Окончательно выбирается питающие кабели к силовым трансформаторам питающей ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений марки АСБ-6 (3×16).

Выбор и проверка кабельных линий напряжением 0,38/0,22 кВ проводится по допустимому нагреву токами нормального и послеаварийного режима по условию (21). Количество кабелей в данном случае зависит от категории надёжности потребителей ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений.

Выбирается сечение кабельных линий, питающих потребители от шин напряжением 0,4 кВ питающих ТП-50 (6/0,4 кВ).

Для питания СРШ от шин ТП-50 (6/0,4 кВ) в работе принимается замена морально и технически изношенных и устаревших кабелей марки АВВГ, получающих питание от шин 0,4 кВ ТП-6/0,4 кВ, на инновационные кабели марки АВБбШвнг, обладающие пониженной горючестью, имеющие бронирование и улучшенные технические характеристики.

Как известно, выбранные для реконструкции кабели марки АВБбШвнг, в отличии от устаревших кабелей марки АВВГ, помимо технико – экономического эффекта (за счёт лучших технических характеристик) имеют также значительно лучшие показателями надёжности (за счёт наличия брони), а также гораздо лучше с точки зрения противопожарной безопасности, т.к. имеют пониженную горючесть. Следовательно, выбор данного типа силовых кабелей для проведения реконструкции, является обоснованным.

В качестве примера выбирается сечение и марка кабеля для питания СРШ-1, при этом расчетный ток СРШ  $I_p = 108,65$  А.

Сечение кабелей выбирается по [1] согласно условию (21).

Предварительно выбирается бронированный кабель марки АВБбШвнг 5×35 для которого  $I_{дон} = 130$  А [2].

Условие (24) выполняется

$$130 \geq 108,65/1 = 108,65, А.$$

Окончательно для питания СРШ1 от шин 0,4 кВ ТП-6/0,4 кВ реактентного отделения завода по производству минеральных удобрений выбирается кабель марки АВБбШвнг 5×35 с предельно – допустимым значением тока  $I_{дон} = 130$  А согласно [1].

Выбор остальных кабелей питающей силовой сети напряжением 0,38/0,22 кВ реактентного отделения завода по производству минеральных удобрений проведён аналогично и результаты сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Выбор сечения кабелей питающей силовой сети напряжением 0,38/0,22 кВ

Наименование СРШ	$I_p$ , А	Марка кабеля	$I_{дон}$ , А
СРШ1	108,65	АВБбШвнг 5×35	130
СРШ2	51,57	АВБбШвнг 5×25	105
СРШ3	26,62	АВБбШвнг 5×25	105
СРШ4	105,36	АВБбШвнг 5×35	130
СРШ5	50,53	АВБбШвнг 5×25	105
ЩРО	12,5	АВБбШвнг 5×4	19
ЩАО	1,3	АВБбШвнг 5×2,5	14

Принимаются к использованию в распределительной сети 0,38/0,22 кВ реактентного отделения завода по производству минеральных удобрений силовые негорючие кабели марки ВВГнг-LS (кабель с медной жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ пониженной пожарной опасности). Предусматривается прокладка данных кабелей распределительной сети в пластиковых трубах в полу с последующей заливкой бетоном.

Проводится выбор кабеля на примере привода реагентного реактора, расчётный ток  $I_p = 10,49$  А. Для питания данного потребителя от шин 0,4 кВ СРШ-1 предварительно выбирается кабель марки ВВГнг-LS (5×1,5) с  $I_{дон} = 12,5$  А [4]. Условие проверки по нагреву током нормального режима (24) с учётом поправочных коэффициентов  $K_n$  (зависят от количества кабелей в одной трубе, а также от отклонений от нормальных условий) выполняются

$$12,5 \text{ А} \geq 10,49 / 1 = 10,49 \text{ А.}$$

Окончательно выбираются кабель марки ВВГнг-LS 5×1,5 с  $I_{дон} = 12,5$  А [9,10], прокладка – в пластмассовой трубе диаметром 32 мм [10]. Для остальных электроприемников распределительной силовой сети напряжением 0,38/0,22 кВ реагентного отделения выбор кабелей питающей сети напряжением 0,38/0,22 кВ аналогичен и сведён в таблицу 5.

Таблица 5 – Выбор сечения проводников распределительной сети 0,38/0,22 кВ

№	Наименование оборудования	$I_p$ , А	Параметры выбранного проводника (кабеля)	
			Марка	$I_{дон}$ , А
1	Привод реагентного реактора	10,49	ВВГнг-LS 5×1,5	19
2	Насос подачи воды в систему	19,18	ВВГнг-LS 5×2,5	27
3	Насос подачи воды в фильтрационную	19,18	ВВГнг-LS 5×2,5	27
4	Привод реагентного питателя	19,18	ВВГнг-LS 5×2,5	27
5	Привод сгустителя	10,49	ВВГнг-LS 5×1,5	19
6	Привод установки обеззараж. воды	10,49	ВВГнг-LS 5×1,5	19
7	Питательный насос	19,18	ВВГнг-LS 5×2,5	27
8	Фильтрационная колонна	14,80	ВВГнг-LS 5×2,5	27
9	Дренажный насос	18,42	ВВГнг-LS 5×2,5	27
10	Аноксидный реактор	12,15	ВВГнг-LS 5×1,5	19
11	Насос подачи во вторичный отстойник	16,50	ВВГнг-LS 5×2,5	27
12	Привод барабана - измельчителя	27,35	ВВГнг-LS 5×4	32
13	Насос аэрации	4,63	ВВГнг-LS 5×1,5	19
14	Привод мешалки	18,42	ВВГнг-LS 5×4	32
15	Привод гидроциклона	19,18	ВВГнг-LS 5×2,5	27
16	Вентилятор вытяжной	6,13	ВВГнг-LS 5×1,5	19
17	Подогреватель проточный	33,8	ВВГнг-LS 5×6	42
18	Насос подачи в первичный отстойник	24,66	ВВГнг-LS 5×2,5	27



Все выбранные кабельные линии напряжением 6 кВ и 0,38/0,22 кВ соответствуют требуемым условиям выбора и проверок.

## 2.6 Расчёт токов короткого замыкания

Для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений, составляется расчётная схема и схема замещения для данного участка сети (рисунок 1). Величина базисного напряжения  $U_6$  принимается выше номинального напряжения сети на 5%. Выбираются расчетные точки короткого замыкания К1, К2 и К3. Базисные условия: базисная мощность в работе принята равной мощности силового трансформатора на питающей ТП-50 (6/0,4 кВ), базисные напряжения – это номинальные значения напряжений ВН и НН питающей ТП-50 (6/0,4 кВ), то есть:  $S_6 = 0,16$  МВА;  $U_{ВН} = 6,3$  кВ;  $U_{НН} = 0,4$  кВ.

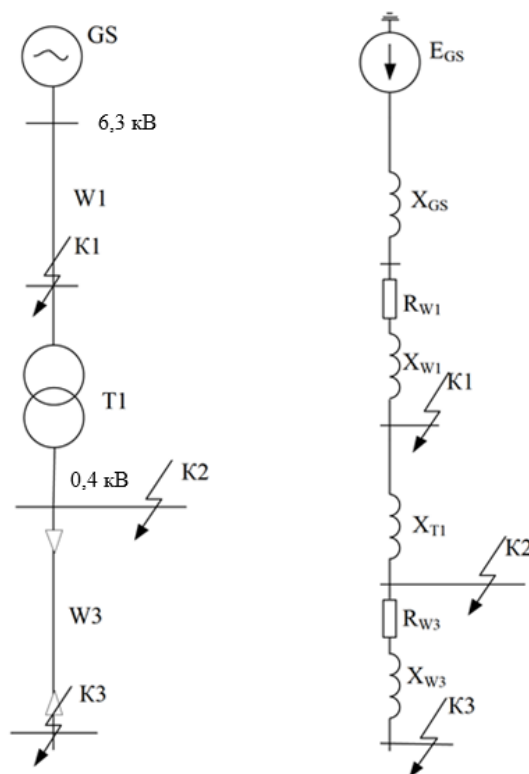


Рисунок 1 – Однолинейная расчетная схема и схема замещения сети

Рассчитывается базисный ток для стороны высшего и низшего напряжения:

$$I_B = \frac{S_{\bar{o}}}{\sqrt{3} \cdot U_B}. \quad (23)$$

$$I_{B.VH} = \frac{0,16}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 0,015 \text{ кА.}$$

$$I_{B.HH} = \frac{0,16}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 0,23 \text{ кА.}$$

Расчет параметров схемы в относительных единицах.

Определяется сопротивление элементов схемы замещения.

Принимается факт, что мощность источника электроэнергии (энергосистемы)  $E_c = 1$ , соответственно, индуктивное сопротивление  $x_c = 0,005$  о.е.

Индуктивное сопротивление кабельной линии:

$$X_W = \frac{1}{n} \cdot X_{уд.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{U_B^2}. \quad (24)$$

где  $X_{W1}$ -удельное сопротивление линии, Ом/км;

$L$ -длина линии, 6 км.

«Индуктивное сопротивление питающей кабельной линии» [1] W1  
(номинальное напряжение – 6 кВ):

$$X_{W1} = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \cdot 6 \cdot \frac{0,16}{6,3^2} = 0,005 \text{ о.е.}$$

«Активное сопротивление кабельной линии» [1]:

$$R_W = \frac{1}{n} \cdot R_{уд.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_B^2}. \quad (25)$$

где  $R_{уд.W1}$  – «удельное активное сопротивление линии» [8].

«Активное сопротивление питающей кабельной линии» [1] W1 (6 кВ):

$$R_{W1} = \frac{1}{2} \cdot 0,46 \cdot 6 \cdot \frac{0,16}{6,3^2} = 0,006 \text{ o.e.}$$

Находится «индуктивное сопротивление трансформатора» [1] ТП-50 (6/0,4 кВ)

$$X_{T1} = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{K.3.}}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{H.T}}. \quad (26)$$

$$X_{T1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{10,5}{100} \cdot \frac{0,16}{0,16} = 0,0525 \text{ o.e.}$$

«Индуктивное сопротивление кабельной линии» [1] W3 по (24):

$$X_{W3} = 0,09 \cdot 0,15 \cdot \frac{0,16}{0,4^2} = 0,0135 \text{ o.e.}$$

Определяется «активное сопротивление кабельной линии» [1] W3 по (25):

$$R_{W3} = 0,62 \cdot 0,15 \cdot \frac{0,16}{0,4^2} = 0,093 \text{ o.e.}$$

Проводится расчет токов КЗ в расчётной точке К1.

Полное сопротивление цепи короткого замыкания до точки К1

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(X_c + X_{w1})^2 + R_{w1}^2}. \quad (27)$$

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

Расчёт токов КЗ при трёхфазном коротком замыкании в расчётных точках

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{E_c}{Z_{\Sigma k}} \cdot I_{\sigma}. \quad (28)$$

Рассчитывается значение трёхфазного тока КЗ в расчётной точке К1

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{1}{0,012} \cdot 0,015 = 1,25 \text{ кА.}$$

Определяется полное сопротивление и ток КЗ в расчётной точке К2

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T)^2 + R_{w1}^2}. \quad (29)$$

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(0,005 + 0,005 + 0,0525)^2 + 0,006^2} = 0,062 \text{ o.e.}$$

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{1}{0,062} \cdot 0,23 = 3,71 \text{ кА.}$$

Определяется полное сопротивление и ток КЗ в точке К3

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w3})^2 + (R_{w1} + R_{w3})^2}. \quad (30)$$

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(0,005 + 0,005 + 0,0525 + 0,0135)^2 + (0,006 + 0,093)^2} = 0,125 \text{ o.e.}$$

$$I_{\kappa 3}^{(3)} = \frac{1}{0,125} \cdot 0,23 = 1,84 \text{ кА.}$$

Значение ударного тока трёхфазного КЗ:

$$I_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial} \cdot I_{\kappa}^{(3)}, \quad (31)$$

где  $K_{y\partial}$  – значение ударного коэффициента (по справочным данным) [7].

Определяется значение ударного тока трёхфазного КЗ в расчётной точке  
К1

$$I_{y\partial.к1} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 1,25 = 2,47 \text{ кА.}$$

Определяется значение ударного тока трёхфазного КЗ в расчётной точке  
К2

$$I_{y\partial.к2} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 3,71 = 5,25 \text{ кА.}$$

Определяется значение ударного тока трёхфазного КЗ в расчётной точке  
К3

$$I_{y\partial.к3} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 1,84 = 2,6 \text{ кА.}$$

Расчет токов двухфазного короткого замыкания осуществляется по выражению [1]

$$I_{\kappa}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\kappa}^{(3)}. \quad (32)$$

Значение тока двухфазного КЗ в расчётной точке К1

$$I_{\kappa 1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,25 = 1,08 \text{ кА.}$$

Значение тока двухфазного КЗ в расчётной точке К2

$$I_{\kappa 2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3,71 = 3,21 \text{ кА.}$$

Двухфазный ток КЗ в расчётной точке К3 равен

$$I_{\kappa 3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,84 = 1,59 \text{ кА.}$$

Полученные результаты расчётов токов КЗ и ударных токов в расчётных точках схемы системы электроснабжения ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты расчётов токов КЗ и ударных токов в расчётных точках схемы системы электроснабжения ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений

Точка КЗ	U <sub>Б</sub> , кВ	I <sub>Б</sub> , кА	K <sub>уд</sub>	I <sup>(3)</sup> кА	I <sup>(2)</sup> кА	I <sub>уд</sub> , кА
К1	10,5	0,015	1,40	1,25	1,08	2,47
К2	0,4	0,23	1,00	3,71	3,21	5,25
К3	0,4	0,23	1,00	1,84	1,59	2,60

На основе полученных результатов расчётов токов КЗ и ударных токов в расчётных точках схемы системы электроснабжения ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений, далее в работе проводится выбор и проверка электрических аппаратов напряжением

6 кВ и 0,38/0,22 кВ ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений.

Согласно полученным в работе значениям токов короткого замыкания в расчётной точке К1 (сеть 6 кВ), проверяется принятые ранее сечения питающей кабельной линии напряжением 6 кВ на термическую стойкость при токах короткого замыкания. При этом стандартного сечение кабельной линии, выбранное в работе ранее, должно быть не меньше расчётного сечения, полученного в результате расчёта с учётом термического действия тока трёхфазного короткого замыкания (максимального значения).

Термически стойкое сечение к току трёхфазного КЗ для кабельной линии определяется так:

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C}, \quad (33)$$

где  $B_K$  – тепловой импульс тока КЗ,  $A^2 \cdot c$ ;

$C$  – тепловой коэффициент, в работе принимается равным для кабелей  $90 A \cdot c^{\frac{1}{2}}$ .

Тепловой импульс тока КЗ находится так:

$$B_K = I_K^2 \cdot t. \quad (34)$$

Проверяется выбранное сечение питающей кабельной линии 6 кВ

$$B_K = 1,25^2 \cdot 0,1 = 0,156 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{0,156 \cdot 10^6}}{90} = 4,39 \text{ мм}^2.$$

Сечение питающей кабельной линии напряжением 6 кВ удовлетворяет требованиям термической устойчивости ( $16 \text{ мм}^2 > 4,39 \text{ мм}^2$ ).

## 2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов

Проводится выбор и проверка электрических аппаратов в связи с проведённой реконструкцией РУ-6 кВ ТП-6/0,4 кВ, которое осуществляется в работе вследствие подключения дополнительного источника питания для второго трансформатора ТП-6/0,4 кВ от РП-6 кВ предприятия. Вследствие этого, предусмотрена реконструкция схемы РУ-6 кВ с заменой её с магистральной на радиальную схему, с последующей установкой дополнительных электрических аппаратов напряжением 6 кВ в РУ-6 кВ ТП-6/0,4 кВ для защиты и коммутации нового источника питания.

Для защиты и коммутации питающей сети напряжением 6 кВ применяются высоковольтные выключатели, установленные в ячейках питающего РП-6 кВ завода.

Выбор этих выключателей высокого напряжения проводится по «номинальным параметрам напряжения и рабочего тока» [6-8]:

$$U_{уст} \leq U_n; \quad (35)$$

$$I_{раб. макс.} \leq I_n; \quad (36)$$

– проверка выключателя на симметричный ток отключения

$$I_{nt} \leq I_{откл}; \quad (37)$$

– проверка выключателя на отключение асимметричного тока КЗ [7]

$$(\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{отк.н} (1 + \beta_n), \quad (38)$$

$$t = t_{з. мин} + t_{с. в}; \quad (39)$$



– на «электродинамическую устойчивость» [6-8]:

$$i_y \leq i_{np.c}; \quad (40)$$

– на «термическую стойкость» по значению теплового импульса КЗ [6]

$$B_k \leq I_T^2 t_T; \quad (41)$$

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a). \quad (42)$$

Распределительный пункт 6 кВ РП-6 кВ энергосистемы, от которого получают питание ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений, представляет собой комплектное распределительное устройство внутренней установки. Конструктивно оно выполнено с использованием ячеек КУ-10С, в которых непосредственно используется выкатной элемент в сборе с выключателями высокого напряжения и трансформаторами тока.

Ремонтное положение выкатного элемента обеспечивает видимый разрыв, поэтому в них не устанавливаются разъединители.

Ячейки поставляются с предприятия – изготовителя полностью собранными и укомплектованными, при монтаже необходимо их установить согласно проекту, сфазировать и подключить в работу.

Выбор выключателей 6 кВ, устанавливаемый в ячейках 6 кВ на питающем РП-6 кВ для защиты и коммутации питающих ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений после проведения мероприятий по реконструкции РУ-6 кВ, выполняется по приведённым выше условиям.

Предварительно вместо устаревшего выключателя типа ВМП-10, установленного в РУ-6 кВ до проведения реконструкции, выбирается современный инновационный вакуумный выключатель марки ВВ/TEL-10-20/630-У2-48 и проводится его проверка.

Результаты выбора и проверки выключателя высокого напряжения приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Выбор высоковольтных выключателей в сети 6 кВ

Условия	Параметры электрической сети	Каталожные данные выключателя марки ВВ/TEL-10-20/630-У2-48
$U_{уст} \leq U_n$	$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$	$U_n = 10 \text{ кВ}$
$I_{раб.макс} \leq I_n$	$I_{раб.макс} = 21,6 \text{ А}$	$I_n = 630 \text{ А}$
$i_y \leq i_{нр.с}$	$i_y = 2,47 \text{ кА}$	$i_{нр.с} = 80 \text{ кА}$
$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 1,25^2 \cdot 0,1 = 0,156 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 t_T = 4000 \text{ кА}^2\text{с}$
$I_{нт} \leq I_{откн}$	$I_{нт} = 1,25 \text{ кА}$	$I_{откн} = 20 \text{ кА}$

Конструкция выбранного типа выключателя высокого напряжения для установки в РП-6 кВ завода с целью защиты и коммутации ТП-50 (6/0,4 кВ) после проведения реконструкции РУ-6 кВ, представлена в графической части работы.

Выбирается трансформатор тока для установки в ячейке питающего завода РП-6 кВ марки ТПЛ-10 (таблица 8).

Таблица 8 – Выбор трансформаторов тока в сети 6 кВ

Условия	Параметры электрической сети	Каталожные данные трансформатора тока марки ТПОЛМ-10
$U_{уст} \leq U_n$	$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$	$U_n = 10 \text{ кВ}$
$I_{раб.макс} \leq I_n$	$I_{раб.макс} = 21,6 \text{ А}$	$I_n = 630 \text{ А}$
$i_y \leq i_{нр.с}$	$i_y = 2,47 \text{ кА}$	$i_{нр.с} = 80 \text{ кА}$
$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 1,25^2 \cdot 0,1 = 0,156 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 t_T = 4000 \text{ кА}^2\text{с}$

На питающей двухтрансформаторной ТП-50 (6/0,4 кВ) реактивного отделения завода по производству минеральных удобрений, после проведения реконструкции РУ-6 кВ, во вводных шкафах ВН (6 кВ) устанавливаются высоковольтные выключатели нагрузки (коммутационные аппараты) и предохранители (защитные аппараты). Результаты выбора и проверки

выключателей нагрузки для установки в РУ-6 кВ ТП-50 (6/0,4 кВ) после проведения реконструкции РУ-6 кВ представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Выбор выключателя нагрузки для установки на ТП-50 (6/0,4 кВ) после проведения реконструкции РУ-6 кВ

Условия	Параметры электрической сети	Каталожные данные выключателя нагрузки ВНПу-10/400-10 УЗ
$U_{уст} \leq U_n$	$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$	$U_n = 10 \text{ кВ}$
$I_{раб.макс} \leq I_n$	$I_{раб.макс} = 21,6 \text{ А}$	$I_n = 400 \text{ А}$
$i_y \leq i_{нр.с}$	$i_y = 2,47 \text{ кА}$	$i_{нр.с} = 25 \text{ кА}$
$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 1,25^2 \cdot 0,1 = 0,156 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 t_T = 100 \text{ кА}^2\text{с}$

Высоковольтные предохранители выбираются по методике [8].

Выбор предохранителей для установки на ТП-50 (6/0,4 кВ) после проведения реконструкции РУ-6 кВ, осуществлённый по методике и справочным данным [8], приведён в таблице 10.

Таблица 10 – Выбор высоковольтных предохранителей для установки на ТП-50 (6/0,4 кВ) после проведения реконструкции РУ-6 кВ

Условия	Параметры электрической сети	Каталожные данные предохранителя ПК103-6-100-31,5/УЗ
$U_{уст} \leq U_n$	$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$	$U_n = 6 \text{ кВ}$
$I_{раб.макс} \leq I_n$	$I_{раб.макс} = 21,6 \text{ А}$	$I_{н.вст} = 100 \text{ А}$
$i_y \leq i_{нр.с}$	$i_y = 2,47 \text{ кА}$	$i_{нр.с} = 100 \text{ кА}$
$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 1,25^2 \cdot 0,1 = 0,156 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 t_T = 100 \text{ кА}^2\text{с}$
$I_{ном.вык} > I_{к1}$	$I_{к1} = 1,25 \text{ кА}$	$I_{ном.в} = 31,5 \text{ кА}$

Все выбранные электрические аппараты напряжением 6 кВ для установки на ТП-50 (6/0,4 кВ) после проведения реконструкции РУ-6 кВ показаны в графической части работы.

Далее в работе проводится непосредственный выбор и проверка электрических аппаратов напряжением 0,38/0,22 кВ, которые

устанавливаются в шкафах РУ-0,4 кВ на питающей ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений.

Для этой цели в работе выбираются современные отечественные автоматы марки ВА, хорошо зарекомендовавшие себя для обеспечения функций защиты и коммутации электрической сети 0,38/0,22 кВ.

Исходя из конструкции и функциональных элементов и устройств аппарата, для автоматических выключателей выбираются номинальные токи самого автомата, а также номинальные токи расцепителей (теплового и электромагнитного).

Номинальные токи автомата и теплового расцепителя выбирают согласно [8,12,15]:

$$I_{ном.а} \geq I_p. \quad (43)$$

$$I_{ном.т.р} \geq 1,1 \cdot I_p. \quad (44)$$

Ток уставки «электромагнитного расцепителя автомата» принимаются согласно [8]:

$$I_{ном.э.р} \geq K_{то} \cdot I_p \geq I_n, \quad (45)$$

где  $K_{то}$  – кратность тока отсечки для данного типа автомата (справочные данные).

Для защиты одиночных электродвигателей согласно [8]:

$$I_p = I_{ном}. \quad (46)$$

$$I_n = I_{пуск}. \quad (47)$$

Для «вводных автоматов» секций сборных шин [8]:

$$I_n = I_{\text{пик}}. \quad (48)$$

Номинальные (расчётные) и пусковые (пиковые) токи технологического оборудования реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений напряжением 0,38/0,22 кВ рассчитаны в работе ранее. Для примера выбирается автомат для защиты и коммутации привода реагентного реактора (приёмник №1 по плану) с расчётными техническими параметрами:

$$I_p = 10,49 \text{ A},$$

$$I_n = 78,71 \text{ A}.$$

Предварительно принимается автоматический выключатель марки ВА 47-29/25С со следующими параметрами: « $I_{\text{на}}=25 \text{ A}$ ;  $I_{\text{ном.т.р}}=12,5 \text{ A}$ ;  $K_{\text{то}}= 7$ » [8].

Условия выбора и проверок автоматического выключателя и его расцепителей выполняются

$$I_{\text{ном.а}} = 25 \text{ A} \geq I_p = 10,49 \text{ A}.$$

$$I_{\text{ном.т.р}} = 12,5 \text{ A} \geq 1,1 \cdot 10,49 = 11,54 \text{ A}.$$

$$I_{\text{ном.э.р}} = 7 \cdot 12,5 = 87,5 \text{ A} \geq 78,71.$$

Принимается для защиты и коммутации данного потребителя (привода реагентного реактора) автоматический выключатель марки ВА 47-29/25С со следующими номинальными техническими параметрами [8]: номинальное напряжение автомата  $U_{\text{ном.а}}=380 \text{ В}$ ; номинальный ток автомата  $I_{\text{ном.а}}=25 \text{ A}$ ; номинальный ток уставки теплового расцепителя  $I_{\text{ном.т.р}}=12,5 \text{ A}$ ; номинальный ток уставки электромагнитного расцепителя (ЭМ-расцепителя)  $I_{\text{ном.э.р}}=87,5 \text{ A}$ ; кратность тока отсечки  $K_{\text{то}}= 7$ . Выбор остальных автоматических выключателей и токов уставок их расцепителей осуществлён аналогичен и результаты выбора и проверки приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты выбора автоматических воздушных выключателей для защиты и коммутации оборудования реактентного отделения, питающегося от реконструируемой ТП-6/0,4 кВ

№	Наименование оборудования	$I_p, A$	Параметры автомата		
			Марка	$I_{ном.а}, A$	$I_{ном.т.р}, A$
1	Привод реактентного реактора	10,49	ВА 47-29/25С	25	12,5
2	Насос подачи воды в систему	19,18	ВА 47-29/25С	25	20
3	Насос подачи воды в фильтрационную	19,18	ВА 47-29/25С	25	20
4	Привод реактентного питателя	19,18	ВА 47-29/25С	25	20
5	Привод сгустителя	10,49	ВА 47-29/25С	25	12,5
6	Установка обеззараживания воды	10,49	ВА 47-29/25С	25	12,5
7	Питательный насос	19,18	ВА 47-29/25С	25	20
8	Фильтрационная колонна второй ступени (обр. осмос)	14,80	ВА 47-29/25С	25	16
9	Дренажный насос	18,42	ВА 47-29/25С	25	20
10	Аноксидный реактор (денитрификатор)	12,15	ВА 47-29/25С	25	12,5
11	Насос подачи во вторичный отстойник	16,50	ВА 47-29/25С	25	20
12	Привод барабана – измельчителя	27,35	ВА 47-29/40С	40	31,5
13	Насос аэрации	4,63	ВА 47-29/25С	25	6,3
14	Привод мешалки	18,42	ВА 47-29/25С	25	20
15	Привод гидроциклона	19,18	ВА 47-29/25С	25	20
16	Вентилятор вытяжной	6,13	ВА 47-29/25С	25	6,3
17	Подогреватель проточный технологический	33,8	ВА 47-29/40С	40	40
18	Насос подачи в первичный отстойник	24,66	ВА 47-29/25С	25	25

Для защиты линий, питающих СРШ реактентного отделения, также выбираются автоматические выключатели серии ВА.

При этом выбор автоматов для защиты СРШ производится аналогично выбранным автоматам, защищающим электроприёмники (таблица 12).

Таблица 12 – Выбор автоматов питающей сети 0,38/0,22 кВ для установки в РУ-0,4 кВ реконструируемой ТП-50 (6/0,4 кВ)

Место установки (защиты)	$I_p, A$	$I_n, A$	Марка	$I_{ном.а}, A$	$I_{ном.а}, A$	$I_{ном.т.р}, A$
Вводной автомат	339,6	-	ВА57-39	400	400	4800
СРШ1	108,65	376,05	ВА57-35	250	125	1500
СРШ2	51,57	192,76	ВА57-35	250	80	960
СРШ3	26,62	135,54	ВА57-35	250	80	960
СРШ4	105,36	246,55	ВА57-35	250	125	1500
СРШ5	50,53	191,73	ВА57-35	250	80	960
ЩРО	12,5	-	ВА 47-29/16С	16	16	112
ЩАО	1,3	-	ВА 47-29/6С	6	6	42

Все выбранные аппараты защиты и коммутации напряжением 6 кВ и 0,4 кВ приведены на графическом листе 2.

## 2.8 Выбор системы учёта и контроля электроэнергии

Согласно [1], для установки на ТП-50 (6/0,4 кВ) после проведения реконструкции РУ-6 кВ необходимо предусмотреть установку современных измерительных приборов, приборов учёта и контроля электроэнергии.

Все указанные элементы получают питание от измерительных трансформаторов (тока и напряжения), которые выбраны в работе ранее.

В качестве системы учёта и контроля электроэнергии на ТП-50 (6/0,4 кВ) после проведения реконструкции РУ-6 кВ в работе принимается «автоматизированная система коммерческого учёта электроэнергии» [12] (далее – АСКУЭ) как одна из передовых современных технологий в данной области. Внедрение АСКУЭ для учёта и контроля электроэнергии потребителей ТП-50 (6/0,4 кВ) после проведения реконструкции РУ-6 кВ

является современным и обоснованным решением как с технической, так и с экономической точек зрения.

В данном случае система АСКУЭ рассматривается как базовая для контроля качества электроэнергии в системе электроснабжения [18,24,26].

В работе в основе АСКУЭ применяется электронный счётчик «Меркурий», который входит в систему АСКУЭ. Счетчик «Меркурий» – это микропроцессорный электронный прибор, обладающий следующими значительными преимуществами по сравнению не только с устаревшими типами счётчиков, но и с аналогичными инновационными приборами.

Благодаря применению АСКУЭ в системах электроснабжения, локализуются узлы с коммерческими потерями, блокируется несанкционированный доступ к электрическим сетям с целью хищения электроэнергии. Кроме того, АСКУЭ позволяет контролировать установленные лимиты электроэнергии, тем самым оптимизируя производственный процесс на предприятиях (потребителях) [16,22].

При этом устанавливается необходимое оборудование системы АСКУЭ в точке коммерческого учёта электроэнергии, которое включает в себя следующие основные узлы, компоненты и аппараты:

- счётчик «Меркурий»;
- GSM модем;
- сервер для накопления данных с GSM модуля;
- АРМ диспетчера (с ПК и оборудованием – комплект);
- трансформаторы тока;
- трансформатор напряжения.

Помимо этого, для ввода в эксплуатацию АСКУЭ необходимо также предусмотреть расходы на программное обеспечение и наладку, монтаж, а также расходный материал и статью транспортных и накладных расходов.

Кроме того, в работе в АСКУЭ выполняется с дифференцированными по времени суток тарифов на электроэнергию и с функцией локализации узлов с коммерческими потерями (блокировка несанкционированного доступа к



электрическим сетям с целью хищения электроэнергии). Такая комплектация перспективна, а также экономически и технически целесообразна.

Структурная схема АСКУЭ для учёта и контроля электроэнергии на ТП-50 после проведения реконструкции РУ-6 кВ приведена на рисунке 2.

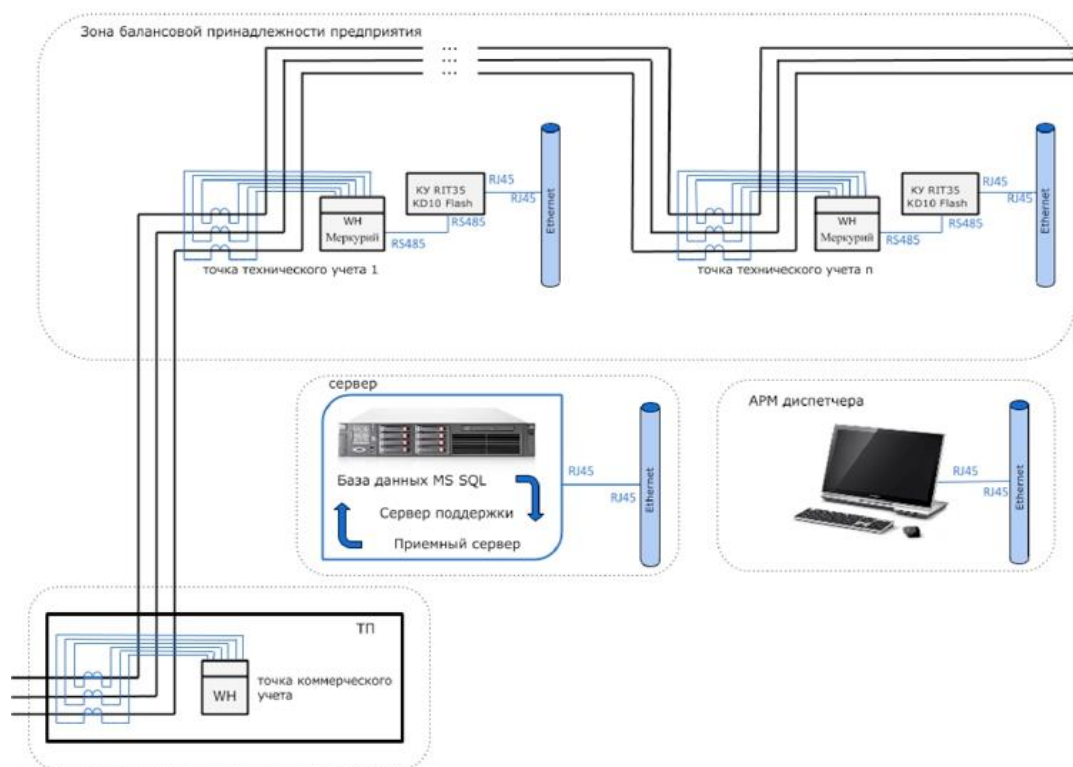


Рисунок 2 – Структурная схема АСКУЭ для учёта и контроля электроэнергии на ТП-50 после проведения реконструкции РУ-6 кВ

Электрическая принципиальная схема АСКУЭ для учёта и контроля электроэнергии на ТП-50 после проведения реконструкции РУ-6 кВ приведена в графической части работы.

## Выводы по разделу 2

В результате выполнения второго раздела работы, осуществлена непосредственная реконструкция РУ-6 кВ ТП-6/0,4 кВ, которое осуществляется в работе вследствие подключения дополнительного источника питания для второго трансформатора ТП-6/0,4 кВ от РП-6 кВ

предприятия. Вследствие этого, осуществлены следующие мероприятия по реконструкции РУ-6 кВ ТП-6/0,4 кВ:

- ввод в эксплуатацию второго ввода от источника питания (РП-6 кВ предприятия), который подключается ко второй секции сборных шин РП-6 кВ по условию резервирования и секционирования [1];

- реконструкция схемы РУ-6 кВ с заменой её с магистральной схемы питания РУ-6 кВ ТП-6/0,4 кВ на радиальную двухлучевую схема (без наличия ответвлений) с резервированием на питающем РП-6 кВ. Указанная схема характеризуется высокой надёжностью и подходит для питания потребителей II категории надёжности;

- выбор и проверка сечение кабельной линии второго ввода в РУ-6 кВ от РП-6 кВ завода (выбран кабель марки АСБ-6(3×16));

- установка дополнительных коммутационных и защитных аппаратов в РУ-6 кВ для защиты и коммутации второго источника питания ТП-6/0,4 кВ от РП-6 кВ предприятия. В работе выбраны и проверены следующие электрические аппараты напряжением 6 кВ в РУ-6 кВ ТП-6/0,4 кВ для защиты и коммутации нового источника питания: выключатель высокого напряжения на питающем РП-6 кВ марки ВВ/TEL-10-20/630-У2-48 с трансформаторами тока типа ТПОЛМ-10; непосредственно в РУ-6 кВ установлены предохранители марки ПК103-6-40-31,5/У3, а также выключатели нагрузки типа ВНПу-10/400-10-У3.

Кроме того, в работе проведены дополнительные мероприятия по реконструкции и модернизации системы электроснабжения питающей ТП-6/0,4 кВ, которая питает систему электроснабжения реагентного отделения:

- установлены на питающей ТП-6/0,4 кВ два силовых трансформатора марки ТМГ-160/6, номинальная мощность которых выбрана и проверена в работе;

- для компенсации реактивной мощности выбраны две комплектные конденсаторные установки типа УК БН-0,38-50-50У3;

- обеспечено питание всех СРШ реагентного отделения по радиальной

схеме электроснабжения от шин 0,4 кВ питающей ТП-6/0,4 кВ. Для питания потребителей реагентного отделения выбраны современные кабельные линии марки АВБбШвнг (питающая сеть) и ВВГнг-LS (распределительная сеть) различных сечений;

– модернизированы электрические аппараты напряжением 0,38/0,22 кВ на ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения реагентного отделения путём их замены на современные марки, обладающие компактностью, надёжностью и улучшенными техническими характеристиками (выбраны современные автоматы марки ВА различных типоминалов);

– установлены современные средства учёта и контроля электроэнергии на ТП-50 (6/0,4 кВ), в качестве которых выбрана АСКУЭ с использованием лимитов энергопотребления и применения дифференцированных тарифов по времени суток.

Выбор кабельных линий и электрических аппаратов осуществлён на основе рассчитанных фактических значений электрических нагрузок, а их проверка и работоспособность подтверждена непосредственной проверкой на термическую и динамическую стойкости к токам трёхфазного короткого замыкания, также рассчитанным в работе.

### **3 Охрана труда и техника безопасности**

#### **3.1 Методы и средства обеспечения безопасности на объекте, охрана окружающей среды**

Для выбора и характеристики методов и средств обеспечения безопасности на объекте в первую очередь необходимо выделить опасные и вредные производственных факторов при выполнении работ в электрической сети на ТП-50 (6/0,4 кВ) и в системе электроснабжения в целом ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений. Далее, исходя из наличия и (или) отсутствия указанных факторов, необходимо выбрать и кратко описать мероприятия, направленные на их устранение или уменьшение негативного воздействия.

В числе основных опасных и вредных производственных факторов при выполнении работ в электрической сети на ТП-50 (6/0,4 кВ) и в системе электроснабжения в целом ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений, выделяются [2,16-18]:

- поражение людей электрическим током;
- наличие опасного шагового напряжения в зоне растекания электрического тока при замыкании токоведущих частей на землю, в особенности в сырую погоду;
- появление наведенного и опасного напряжения на корпусах электрооборудования при повреждении изоляции;
- влияние электромагнитных полей высокого напряжения на организм людей;
- травмы различной степени тяжести при выполнении работ по монтажу, обслуживанию и ремонту электрического оборудования и сетей;
- опасность падения с высоты при монтаже, обслуживании и ремонте воздушных линий электропередач;

- повышенный уровень шума при выполнении работ по монтажу, эксплуатации и ремонту оборудования и сетей;
- недостаточная освещенность рабочей зоны при работах в помещении закрытых и открытых распределительных устройств в течении суток;
- повышенная либо пониженная температура воздуха рабочей зоны при выполнении работ;
- опасность получения ожогов лица и глаз при возникновении дуги, коротком замыкании;
- повышенная опасность повреждения существующих коммуникаций при прокладке и ремонте линий электропередачи системы электроснабжения объекта.

В связи с тем, что в работе были выбраны современные электрические аппараты, не требующие использования масла (например, вакуумный выключатель высокого напряжения марки ВВ/TEL-10-20/630-У2-48), опасность возникновения пожара и взрыва практически близка к нулю, в особенности в помещениях распределительных устройств и в силовых трансформаторах.

В организациях обязанности по охране труда возлагаются на главных специалистов приказом руководителя [17].

До выполнения работ в электроустановках допускаются лица, достигшие 18 летнего возраста и прошедшие соответствующее обучение согласно требований [16-18].

Современные технологии позволяют свести к минимуму производственный травматизм.

Согласно требованиям [2,17], в системе электроснабжения ТП-50 (6/0,4 кВ) реактивного отделения завода по производству минеральных удобрений, необходимо применять организационные и технические мероприятия по технике безопасности.

Организационные мероприятия по технике безопасности включают в себя [2,17]:

- назначение лиц, отвечающих за безопасное проведение работ (руководителя работ, допускающего, наблюдающего, членов бригады);
- выдача нарядов и распоряжений;
- проведение различных типов инструктажей с последующей подписью обучаемого в журнале инструктажей;
- подготовка рабочего места с применением теоретических знаний и навыков;
- допуск к выполнению работ;
- перерыв и окончание работ.

Технические мероприятия по технике безопасности включают в себя [2,17]:

- полное или частичное снятие напряжения в месте проведения работ бригадой;
- обеспечение необходимых выключений и переключений;
- принятие неотложных мер, которые препятствуют самопроизвольному включению коммутационных и (или) защитных электрических аппаратов, а также непредвиденной подаче напряжения на шины со стороны источника питания;
- непосредственная проверка отсутствия напряжения на токоведущих частях электроустановок в зоне проведения работ путём использования технических и поверенных средств (указателей напряжения и т.д.);
- наложение переносных заземлений с использованием принятой методики и алгоритма, а также поверенных технических средств;
- ограждение и прекращение доступа несанкционированных лиц на рабочее место, а также ограждение (изоляция) всех токоведущих частей, находящихся под напряжением;
- вывешивание плакатов по технике безопасности на рабочем месте, а также по периметру установленного и ограждённого рабочего места (зоны выполняемых работ).

Пожарная безопасность электрических сетей и электроустановок в проекте обеспечивается [16,17]:

- применением негорючих конструкций;
- выбором оборудования и электроустановочных изделий, соответствующих условиям окружающей среды и номинальному напряжению;
- выбором марок и сечений проводников, способов их прокладки, удовлетворяющих требованиям [4];
- автоматическим отключением токов КЗ;
- применением защитного заземления.

Охрана окружающей среды на промышленных предприятиях осуществляется путем выполнения природоохранных мероприятий, которые снижают или ликвидируют отрицательное воздействие на природную среду, на сохранение природных ресурсов [17].

В зависимости от вида электроустановок, принято выделять и виды техногенных воздействий, в которых присутствует экологический риск.

Так, негативным влиянием энергетики на элементы окружающей среды, а также уровень жизни и здоровья людей, являются [2,3,11]:

- выбросы загрязняющих веществ и парниковых газов;
- ухудшение видимости атмосферы;
- запыленность атмосферного воздуха;
- выпадение осадков и кислотных дождей;
- разрушение озонового слоя,
- влияние шума объектов энергетики на окружающую среду;
- загрязнения подземных и поверхностных вод.

Негативное влияние линий электропередач оказывается во вредном влиянии на людей электромагнитных полей линий электропередач высокого напряжения [2,3,11]. Эти негативные воздействия, обусловленные в том числе несоблюдением предприятиями режима эксплуатации пылегазоочистного

оборудования, неосуществлением мероприятий по снижению объема выбросов загрязняющих веществ с установленными нормативами, низкими темпами внедрения новейших технологий и т.д. [2,3,11], происходят ежедневно в режиме их нормальной эксплуатации.

Но при условии наступления серьезных повреждений (сильное землетрясение, авария, террористический акт, военные действия) энергетические объекты наносят значительный ущерб как окружающей среде, так и здоровью людей.

Итак, экологический риск от негативного влияния указанных выше электростанций и линий электропередач на элементы окружающей среды, жизни и здоровья людей, оказывается за загрязнения атмосферного воздуха химическими веществами и физическими факторами, загрязнение водных и земельных объектов химическими веществами; загрязнения земельных участков отходами [18, 19].

Рассматриваемая в работе питающая подстанция ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений не является источником загрязнения окружающей среды. Процесс передачи электроэнергии на напряжениях 6/0,4 кВ является безотходным, не сопровождается никакими вредными выбросами в окружающую среду.

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу на период проведения монтажных работ на рассматриваемой ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений, будут происходить только при работе автотранспорта и спецтехники. Воздействие на атмосферный воздух при проведении работ на объекте относится к кратковременному.

Однако в целом завод по производству минеральных удобрений, а также его реагентное отделение, которое питает указанная ТП-50 (6/0,4 кВ) с экологической точки зрения являются объектами, которые могут нанести непоправимый вред экологии не только населённого пункта, в котором они располагаются, но и региону в целом. Данный аспект очень важен и требует конструктивного подхода.



### 3.2 Расчет контура заземления ТП-50

Для обеспечения электробезопасности на объектах необходимо установить заземляющее устройство в виде контура заземления.

В работе для этой цели контур заземления сооружается на питающей ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений. Проводится его расчёт.

Заземляющее устройство (ЗУ) ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений служит для обеспечения безопасности обслуживающего персонала и используется одновременно при напряжениях до и выше 1000 В.

К ЗУ на ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений присоединяется также нейтраль силового трансформатора 10/0,4 кВ.

Сопротивление ЗУ, согласно требованиям [4], должно быть не более 4 Ом.

Проводится непосредственный расчёт контура заземления ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений.

Принимаются следующие исходные данные в месте сооружения контура заземления [13]:

- грунт – суглинок;
- эквивалентное (удельное) сопротивление грунта  $\rho_{гр} = 75 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ;
- длина заземлителей, выполненного из труб – 2,5 м;
- диаметр заземлителей – 7 см;
- расположение верхних концов ниже уровня земли на 0,7 м;
- II климатическая зона – значение  $K_{п} = 1,6$ ;
- допускаемое сопротивление растеканию тока заземляющего устройства  $R_{з.д.} = 4 \text{ Ом}$ .

Определяется расчётное значение удельного сопротивления грунта

$$\rho_p = \rho_{zp} \cdot K_u, \quad (49)$$

где  $\rho_{zp}$  – удельного сопротивления грунта (для суглинка), Ом [16];

$K_u$  – нормируемый коэффициент использования заземлителей в контуре заземления [27].

$$\rho_p = 7,5 \cdot 1,6 = 120 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Определяется расчётное сопротивление заземления трубы, верхний конец которой заглублён в землю

где  $h$  – расстояние от поверхности земли до середины заземлителя (принимается  $h = 1,95$  м).

$$R_3 = 0,366 \cdot \frac{120}{2,5} \left( \lg \frac{2 \cdot 5}{0,07} + 0,5 \lg \frac{4 \cdot 1,95 + 2,5}{4 \cdot 1,95 - 2,5} \right) = 30,45 \text{ Ом}.$$

Расчётное число одиночных заземлителей

$$N_3 = \frac{R_3}{R_{3,н}}, \text{ шт.}$$

$$N_3 = \frac{30,45}{4} = 7,6 \text{ шт.}$$

Принимается целое число, т.е.  $N_3 = 8$  шт.

По числу заземлителей  $N_3 = 8$  шт. принимается значение отношения расстояния между заземлителями  $L_T$  к длине  $l$ :  $L_T/l=1$ .

Значение коэффициента экранирования  $\eta_3=0,64$ .

Расстояние между заземлителями:

$$L_T = l \cdot m, \text{ м.}$$

$$L_T = 2,5 \cdot 1 = 2,5 \text{ м.}$$

Количество заземлителей с учётом коэффициента экранирования

$$N_{3.э} = \frac{R_3}{R_{3.н} \cdot \eta_э}, \text{ шт.}$$

$$N_{3.э} = \frac{30,45}{4 \cdot 0,64} = 11,89 \text{ шт.}$$

Окончательно принимается 12 вертикальных заземлителей.

Конструкция заземляющего устройства показана на рисунке 3.

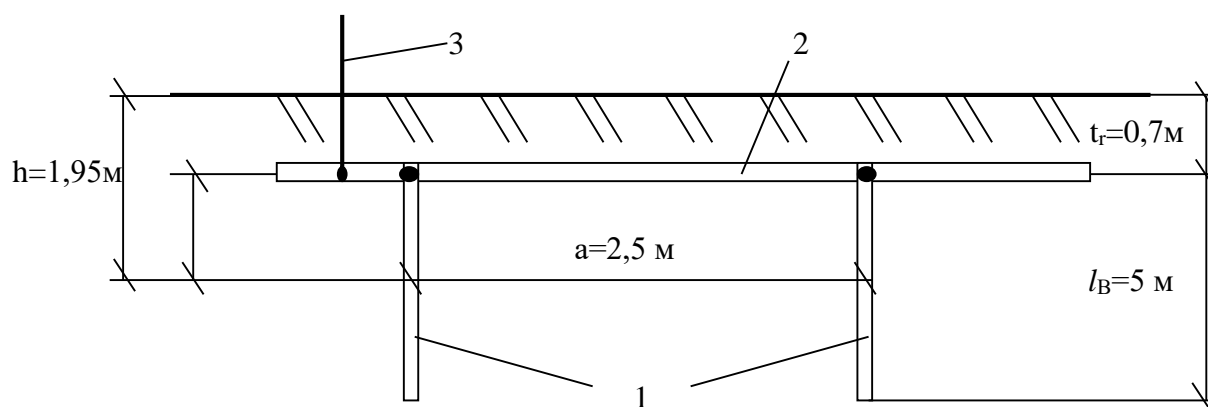


Рисунок 3 – Конструкция заземляющего устройства: 1 – вертикальный заземлитель; 2 – горизонтальный заземлитель; 3 – заземляющий проводник

Окончательно принимается к установке в контуре заземления на ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений двенадцать вертикальных заземлителей (электродов).

Все требования нормативных документов к спроектированному контуру заземления выполняются. Конструкция спроектированного контура заземления приведена на графическом листе 3.

### **Выводы по разделу 3**

В результате выполнения третьего раздела работы описаны мероприятия по безопасности жизнедеятельности и экологической безопасности при выполнении работ в системе электроснабжения ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений.

Проведён расчёт контура заземления, который устанавливается на ТП-50 (6/0,4 кВ) ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений согласно требований нормативных документов [2-4]. Окончательно принято к установке в контуре заземления на ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений двенадцать вертикальных заземлителей (электродов).

### **Заключение**

В результате выполнения работы осуществлена разработка проекта

реконструкции распределительного устройства 6 кВ подстанции № 50 завода по производству минеральных удобрений.

Для реализации указанной основной цели работы, в работе проведено решение основных поставленных задач:

- анализ исходных данных по объекту исследования с рассмотрением основных теоретических положений, необходимых для осуществления проектирования;

- непосредственная разработка проекта реконструкции распределительного устройства 6 кВ подстанции № 50 завода по производству минеральных удобрений;

- разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда, а также по экологической безопасности на объекте исследования.

В результате выполнения первого раздела работы, проведён анализ исходных данных. Рассмотрены требования, предъявляемые к системам электроснабжения предприятий химической отрасли. Приведена техническая характеристика трансформаторной подстанции ТП-50 и её потребителей до проведения реконструкции РУ-6 кВ.

Установлено, что ТП-50 питает реагентное отделение, которое является вспомогательным звеном основного технологического процесса производства предприятия и относится ко II категории по надёжности электроснабжения потребителей согласно требованиям нормативных документов. Вследствие этого, для дальнейшего расчёта электрических нагрузок, в работе рассмотрена система электроснабжения и основное оборудование данного реагентного отделения.

На основе приведённых положений основных нормативных документов, учитывая схему соединений, категорию надёжности и установленное оборудование, обоснована необходимость проведения реконструкции РУ-6 кВ ТП-6/0,4 кВ (основное мероприятие), а также дополнительных мероприятий по реконструкции ТП-6/0,4 кВ, питающей потребителя реагентного отделения на напряжении 0,38/0,22 кВ.

В результате выполнения второго раздела работы, осуществлена непосредственная реконструкция РУ-6 кВ ТП-6/0,4 кВ, которое осуществляется в работе вследствие подключения дополнительного источника питания для второго трансформатора ТП-6/0,4 кВ от РП-6 кВ предприятия. Вследствие этого, осуществлены следующие мероприятия по реконструкции РУ-6 кВ ТП-6/0,4 кВ:

- ввод в эксплуатацию второго ввода от источника питания (РП-6 кВ предприятия), который подключается ко второй секции сборных шин РП-6 кВ по условию резервирования и секционирования [1];

- реконструкция схемы РУ-6 кВ с заменой её с магистральной схемы питания РУ-6 кВ ТП-6/0,4 кВ на радиальную двухлучевую схема (без наличия ответвлений) с резервированием на питающем РП-6 кВ. Указанная схема характеризуется высокой надёжностью и подходит для питания потребителей II категории надёжности;

- выбор и проверка сечение кабельной линии второго ввода в РУ-6 кВ от РП-6 кВ завода (выбран кабель марки АСБ-6(3×16));

- установка дополнительных коммутационных и защитных аппаратов в РУ-6 кВ для защиты и коммутации второго источника питания ТП-6/0,4 кВ от РП-6 кВ предприятия. В работе выбраны и проверены следующие электрические аппараты напряжением 6 кВ в РУ-6 кВ ТП-6/0,4 кВ для защиты и коммутации нового источника питания: выключатель высокого напряжения на питающем РП-6 кВ марки ВВ/TEL-10-20/630-У2-48 с трансформаторами тока типа ТПОЛМ-10; непосредственно в РУ-6 кВ установлены предохранители марки ПК103-6-40-31,5/У3, а также выключатели нагрузки типа ВНПу-10/400-10-У3.

Кроме того, в работе проведены дополнительные мероприятия по реконструкции и модернизации системы электроснабжения питающей ТП-6/0,4 кВ, которая питает систему электроснабжения реагентного отделения, а именно:

- установлены на питающей ТП-6/0,4 кВ два силовых трансформатора

марки ТМГ-160/6, номинальная мощность которых выбрана и проверена в работе;

- для компенсации реактивной мощности выбраны две комплектные конденсаторные установки типа УК БН-0,38-50-50УЗ;

- обеспечено питание всех СРШ реагентного отделения по радиальной схеме электроснабжения от шин 0,4 кВ питающей ТП-6/0,4 кВ. Для питания потребителей реагентного отделения выбраны современные кабельные линии марки АВБбШвнг (питающая сеть) и ВВГнг-LS (распределительная сеть) различных сечений;

- модернизированы электрические аппараты напряжением 0,38/0,22 кВ на ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения реагентного отделения путём их замены на современные марки, обладающие компактностью, надёжностью и улучшенными техническими характеристиками (выбраны современные автоматы марки ВА различных типоминалов);

- установлены современные средства учёта и контроля электроэнергии на ТП-50 (6/0,4 кВ), в качестве которых выбрана АСКУЭ с использованием лимитов энергопотребления и применения дифференцированных тарифов по времени суток с использованием электронного счётчика «Меркурий», позволяющая своевременно проводить мониторинг и лимитирование потребляемой электроэнергии.

Выбор кабельных линий и электрических аппаратов осуществлён на основе рассчитанных фактических значений электрических нагрузок, а их проверка и работоспособность подтверждена непосредственной проверкой на термическую и динамическую стойкости к токам трёхфазного короткого замыкания, также рассчитанным в работе.

В результате выполнения третьего раздела работы описаны мероприятия по безопасности жизнедеятельности и экологической безопасности при выполнении работ в системе электроснабжения ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений.

Проведён расчёт контура заземления, который устанавливается на ТП-50 (6/0,4 кВ) ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений согласно требований нормативных документов. Окончательно принято к установке в контуре заземления на ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений двенадцать вертикальных заземлителей (электродов).

Разработанная система электроснабжения ТП-50 (6/0,4 кВ) реагентного отделения завода по производству минеральных удобрений отвечает установленным требованиям нормативных документов по всем требуемым критериям: установленные нормы качества электроэнергии, передаваемой потребителям, надёжности, экономичности, безопасности и экологичности.

### **Список используемых источников**



1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014. 28 с.
2. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности при эксплуатации электроустановок (ПОТ РМ-016-2001): (серия 17, норматив. док. по надзору в электроэнергетике). – М. : ОАО «Научно-технический центр по безопасности в промышленности», 2016. 208 с.
3. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. – М: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.
4. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. – М.: ЗАО «Энергосервис», 2017.
5. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) / 7-е изд-е. – М.: Альвис, 2018. 632 с.
6. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года // РД РАО «ЕЭС России». Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р – М.: Министерство энергетики, 2020. 142 с.
7. Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: Учебник / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова. – М.: Форум, НИЦ ИНФРА. 2016. 416 с.
8. Виноградова, А. В. Электроснабжение промышленных предприятий; учебник для студентов высших учебных заведений / Б. И. Кудрин. – М.: Интернет Инжиниринг, 2007. 672 с.
9. Коптев А.А. Монтаж цеховых электрических сетей напряжением до 1 кВ: Справочник электромонтажника. Под ред. А.Д. Смирнова и др. – М: Энергоатомиздат, 2018. 192 с.
10. Кудрин, Б. И. Электроснабжение / Б.И. Кудрин. – М.: Academia, 2018. 352 с.
11. Курдюмов В.И., Зотов Б.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. – М.: Колос, 2016. 184 с.

12. Михайлов Ю.М. Охрана труда при эксплуатации электроустановок. – М.: Издательство «Альфа-Пресс», 2015. 224 с.

13. Неклепаев, Б. Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования / Б. Н. Неклепаев, И. П. Крючков. – М. : Энергоатомиздат, 2018. 608 с.

14. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. 464 с.

15. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.

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

17. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 2016. 576 с.

18. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: В 2 т. Т. 1. / Под общ. ред. А.А. Федорова – М: Энергоатомиздат, 2016. 568 с.: ил.

19. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. – М.: Лань, 2015. 480 с.

20. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению / В.П. Шеховцов. – М.: Форум, Инфра. 2015. 136 с.

21. Электротехнический справочник: В 4 т. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общ. ред. Профессоров МЭИ В. Г. Герасимова и др. (гл. ред. А. И. Попов). – 9-е изд., стер. – М.: Издательство МЭИ, 2014. 964 с.

22. Bent Sorensen. Renewable energy Conversion, transmission, and storage. A

23. Colin Bayliss, Brian Hardy. Transmission and Distribution Electrical Engineering. Newnes, 1999. 978p.

24. David Borge-Diez, Enrique Rosales-Asensio. Energy Services F

u

n

d

25. Ewald Fuchs, Mohammad Masoum. Power Quality in Power Systems and Electrical Machines. Academic Press, 2015. 1140 p.

26. Fereidoon Sioshansi. Smart Grid. Integrating Renewable, Distributed and E

27. Monica Greer. Electricity Cost Modeling Calculations. Academic Press, 2010. 358 p.

c  
i  
e  
n  
t

E  
n  
e  
r  
g  
y  
.

A  
c  
a  
d  
e  
m  
i  
c

p  
r  
e