

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)

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки)

Энергосбережение и энергоэффективность

(направленность (профиль))

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Повышение энергетической эффективности системы собственных нужд АО  
«Юго-Западная ТЭЦ»

Обучающийся

П.А. Ерженинова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н. В.И. Платов

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

Тольятти, 2024

## Содержание

Введение.....	5
1 Анализ современных способов повышения энергетической эффективности систем электроснабжения предприятий энергетики .....	8
1.1 Анализ литературы по вопросам повышения энергетической эффективности.....	8
1.2 Современные способы повышения энергетической эффективности систем электроснабжения предприятий электроэнергетики.....	12
1.3 Анализ действующей системы собственных нужд АО «Юго-Западная ТЭЦ» и ее энергетической эффективности .....	25
1.4 Обоснование необходимости повышения энергетической эффективности системы собственных нужд, мероприятия по повышению энергетической эффективности.....	32
2 Разработка мероприятий по повышению энергетической эффективности системы собственных нужд АО «Юго-Западная ТЭЦ».....	35
2.1 Модернизация освещения, организация управлением освещением.....	35
2.2 Повышение энергоэффективности с помощью цифровых программируемых реле .....	42
2.3 Автоматическая компенсация реактивной мощности .....	49
2.4 Замена силовых трансформаторов на энергоэффективные.....	51
2.5 Реализация АСТУЭ, выбор оборудования АСТУЭ и программного обеспечения .....	53
2.6 Реализация интеллектуального управления, концепции «Smart Grid» .	61
2.7 Повышение энергоэффективности с помощью внедрения частотных преобразователей в состав электроприводов .....	63
2.8 Исследование энергоэффективности электропривода сетевых насосов до и после внедрения частотного преобразователя.....	67
2.9 Внедрение системы энергетического менеджмента .....	73

3 Оценка основных экономических показателей мероприятий по повышению энергетической эффективности.....	79
3.1 Определение капиталовложений.....	79
3.2 Определение расчетного экономического эффекта и ожидаемого срока окупаемости.....	81
Заключение .....	83
Список используемых источников.....	86
Приложение А. План системы электроснабжения собственных нужд Юго-Западной ТЭЦ.....	89

## Введение

АО «Юго-Западная ТЭЦ» является тепловой электростанцией, обеспечивающей тепловой и электрической энергиями юг города Санкт-Петербург. Выдача тепловой энергии осуществляется от двух парогазовых блоков, в состав которых входят 5 газовых турбин, 2 паровых и 5 котлов утилизаторов, с общей тепловой мощностью 350 Гкал/ч, а также от двух водогрейных котлов тепловой мощностью 120 Гкал/ч, предназначенных для работы в пиковом режиме. Электрическая мощность станции составляет 460 МВт, вывод электрической энергии потребителям оптового рынка осуществляется по сетям ПАО «Ленэнерго» через энергосбытовые компании.

Повышение энергетической эффективности систем электроснабжения (СЭС) промышленных предприятий может быть достигнуто за счет внедрения инновационных технологий, таких как использование частотно-регулируемого привода, применение накопителей энергии, внедрение систем интеллектуального учета электроэнергии и использование цифровых технологий в управлении энергопотреблением. Также важно проводить мероприятия по энергосбережению, такие как оптимизация режимов работы оборудования, повышение энергоэффективности производственных процессов и улучшение теплоизоляции зданий. Все эти меры позволят снизить затраты на электроэнергию, уменьшить выбросы парниковых газов и повысить конкурентоспособность предприятия. Повышение энергоэффективности тепловых электростанций может быть достигнуто с помощью применения передовых технологий и современного оборудования.

Тема ВКР – «Повышение энергетической эффективности системы собственных нужд АО «Юго-Западная ТЭЦ»».

Современный рынок электроэнергетики представляет собой оптовый рынок электроэнергии и мощности, для которого отбор электростанций для поставки электрической энергии осуществляется на основании анализа удельных расходов топлива на производства электроэнергии. Т.е. в первую

очередь загружаются наиболее экономичные генерирующие объекты, что влечет за собой стремление генерирующих предприятий к обеспечению приемлемых технико-экономических показателей. Завышенные удельные расходы топлива возникают от завышенных удельных расходов электроэнергии на выработку и отпуск тепла, т.е. от собственного электропотребления электростанции, так как установленное электрооборудование рассчитано на номинальные нагрузки, которые имеют место быть при стабильной работе производства, когда не возникает потребность в системах автоматического регулирования привода [3]. Приводы оборудования входят в состав собственных нужд электростанции, таким образом, одним из самых больших вкладов в показатели работы станции вносит система собственных нужд.

Недостаточно эффективная работа системы собственных нужд тепловой электростанции приводит к повышенному электропотреблению, к повышению стоимости вырабатываемой электроэнергии, к перерасходу собственных нужд и дополнительной закупки мощности на оптовом рынке, к повышенным затратам на ремонт оборудования. Поэтому повышение энергетической эффективности системы собственных нужд является актуальной проблемой.

Актуальность темы также обусловлена технологическим устареванием оборудования, обеспечивающего технологические процессы в системе собственных нужд (СН), которое приводит к высоким потерям энергии в отдельных электроприемниках и системах, а также низкой общей энергетической эффективности системы собственных нужд. Ввиду этого предприятие несет нарастающие дополнительные экономические убытки, снижена эксплуатационная мощность ТЭЦ по отдаче электрической энергии. Также понимание основ и способов повышения энергоэффективности и энергосбережения позволяет, по мере технологического развития электротехнической промышленности, постоянно совершенствовать

производственное и иное оборудование в плане снижения потерь электроэнергии и повышения энергоэффективности.

Объект исследования: система собственных нужд АО «Юго-Западная ТЭЦ».

Предмет исследования: повышение энергетической эффективности системы собственных нужд.

Цель работы: повышение энергетической эффективности системы собственных нужд АО «Юго-Западная ТЭЦ».

Задачи:

- провести анализ современных способов повышения энергетической эффективности СЭС на объектах электроэнергетики;
- провести анализ действующей системы собственных нужд АО «Юго-Западная ТЭЦ» и обосновать необходимость повышения энергетической эффективности;
- разработать, проанализировать и оценить мероприятия по повышению энергетической эффективности;

Практическая значимость работы состоит в реализации предложенного комплекса мероприятий по повышению энергетической эффективности системы собственных нужд в Юго-Западной ТЭЦ. Это значительно уменьшит внутренние расходы и потери электроэнергии в системе СН, повысит эксплуатационную мощность ТЭЦ по отдаче электрической энергии. Так как системы СН тепловых электрических станций однотипны, то предложенные мероприятия целесообразно внедрить и на других ТЭЦ, что также повысит их энергоэффективность.

Результаты работы могут применяться при реконструкции и модернизации действующих ТЭЦ и строительстве новых электростанций.

# **1 Анализ современных способов повышения энергетической эффективности систем электроснабжения предприятий энергетики**

## **1.1 Анализ литературы по вопросам повышения энергетической эффективности**

Проводится обзор литературы по вопросам повышения энергетической эффективности СЭС ТЭЦ.

Андрианов Д.П. подробно рассматривает оптимизационные задачи электроснабжения [1]. В учебном пособии показано, что оптимизационные задачи в электроснабжении являются важными инструментами для повышения эффективности и снижения затрат на электроэнергию. Они позволяют оптимизировать различные аспекты электроснабжения, такие как распределение нагрузки, управление генерацией, выбор оборудования и планирование сети. Оптимизация распределения нагрузки может помочь уменьшить пиковые нагрузки и улучшить эффективность использования электроэнергии. Это может включать в себя планирование рабочего времени оборудования, перераспределение нагрузки между различными источниками питания и т.д. Оптимизация управления генерацией позволяет минимизировать затраты на электроэнергию путем выбора наиболее эффективного сочетания источников генерации. Оптимизационные модели могут помочь в выборе наиболее подходящего оборудования для электроснабжения с учетом различных факторов, таких как надежность, стоимость, эксплуатация и техническое обслуживание. Оптимизация планирования сети включает в себя разработку планов развития и модернизации электрических сетей, которые учитывают различные требования, такие как надежность, пропускная способность и затраты.

Голов Р. С. рассматривает управление энергосбережением на промышленном предприятии [4]. Показано, что управление энергосбережением включает в себя комплекс мер, направленных на

снижение потребления энергии и повышение энергоэффективности (оптимизацию использования энергии, модернизацию оборудования, использование возобновляемых источников энергии и обучение персонала). Рассмотрено, как предприятия могут участвовать в программах по обмену опытом и технологиями в области энергосбережения, а также в разработке новых технологий и материалов с высокими показателями энергоэффективности.

Головатый С. Е. рассматривает охрану окружающей среды и энергосбережение [5]. В учебном пособии показано, что охрана окружающей среды и энергосбережение являются важными аспектами современной экономики и общества. Энергосбережение помогает снизить выбросы парниковых газов и других вредных веществ, а также уменьшает зависимость от невозобновляемых источников энергии. В то же время, охрана окружающей среды способствует улучшению качества жизни и сохранению природных ресурсов для будущих поколений.

Кобозев В.А. рассматривает качество электроэнергии и энергоэффективность систем электроснабжения потребителей [8]. В учебном пособии показано, что качество электроэнергии и энергоэффективность СЭС являются важными параметрами, которые необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации электрических сетей. Качество электроэнергии определяется такими параметрами, как частота, напряжение, коэффициент мощности и уровень гармоник. Повышение энергоэффективности систем электроснабжения может быть достигнуто за счет использования современных технологий, таких как интеллектуальные системы управления и контроля, а также применение возобновляемых источников энергии.

Любарский Ю. Я. рассматривает интеллектуальные электрические сети (ИЭС) и компьютерную поддержку диспетчерских решений [11]. В учебном пособии показано, что ИЭС используют компьютерные технологии для оптимизации работы системы электроснабжения. Это позволяет повысить

эффективность использования энергии, снизить затраты на эксплуатацию и улучшить качество электроэнергии для потребителей. Компьютерные системы могут использоваться для мониторинга и управления работой сетей, а также для поддержки принятия решений диспетчерами.

Поляков А. Е. рассматривает электрические машины, электропривод и системы интеллектуального управления электротехническими комплексами [13]. В учебном пособии показано, что электрические машины и электропривод являются важными компонентами СЭС. Системы интеллектуального управления электротехническими комплексами используют компьютерные технологии для оптимизации работы этих систем. Это позволяет повысить их эффективность, снизить затраты на эксплуатацию и улучшить качество электроэнергии для потребителей.

Протасевич А. М. рассматривает энергосбережение в системах теплогасоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха [15]. Показано, что энергосбережение является важным аспектом в системах теплогасоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха. Оно позволяет снизить затраты на энергию и улучшить экологическую ситуацию. Для достижения энергосбережения используются различные технологии, такие как использование эффективных теплообменников, оптимизация работы систем вентиляции и кондиционирования, а также использование возобновляемых источников энергии.

Сибикин Ю. Д. рассматривает общую технологию энергосбережения [17]. В учебнике показано, что технология энергосбережения является важной частью современной экономики. Она позволяет снижать затраты на энергию, уменьшать выбросы вредных веществ в атмосферу и сохранять природные ресурсы. Для достижения энергосбережения используются различные методы, такие как оптимизация использования энергии, модернизация оборудования, использование возобновляемых источников энергии и обучение персонала.

Щербаков Е.Ф. рассматривает электроснабжение и электропотребление на предприятиях [22]. В учебном пособии показано, что оптимизация этих процессов позволяет снизить затраты на электроэнергию и повысить эффективность работы предприятия. Для этого используются различные методы, такие как управление нагрузкой, выбор оборудования, планирование сети и управление генерацией.

В целом, по результатам анализа литературы по вопросам повышения энергетической эффективности СЭС предприятий энергетического сектора, можно сделать вывод, что энергоэффективность является решающим фактором в современных системах электроснабжения. Поскольку спрос на электроэнергию продолжает расти, становится все более важным оптимизировать потребление энергии и сократить потери. Повышение энергоэффективности не только помогает снизить эксплуатационные расходы, но и сводит к минимуму воздействие на окружающую среду за счет сокращения выбросов парниковых газов. Современные исследователи выделяют большое число способов снижения энергетических затрат на промышленных предприятиях, включая снижение потерь электроэнергии в электрических сетях и их элементах. В настоящее время электротехническая промышленность выпускает значительное число электромеханического оборудования с уклоном в энергосбережение.

По результатам анализа литературы по вопросам повышения энергетической эффективности СЭС на объектах электроэнергетики, далее систематизированы и рассмотрены современные способы повышения энергетической эффективности.

## **1.2 Современные способы повышения энергетической эффективности систем электроснабжения предприятий электроэнергетики**

Компенсация реактивной мощности (КРМ).

КРМ в электрических сетях заключается в снижении потребляемой реактивной мощности и коррекции (увеличении) коэффициента мощности электрической сети [2].

Коэффициент мощности – важнейшее понятие в электротехнике, которое измеряет эффективность электрических систем. Это отношение реальной мощности (измеряется в ваттах) к полной мощности (измеряется в вольт-амперах). С другой стороны, реактивная мощность – это колебания мощности, возникающие из-за индуктивных или емкостных нагрузок в электрической цепи. Эти нагрузки могут привести к снижению коэффициента мощности и привести к потерям энергии. Поддержание высокого коэффициента мощности имеет важное значение для эффективного использования энергии. Низкий коэффициент мощности может привести к увеличению тока, что приведет к увеличению энергопотребления, увеличению падения напряжения и снижению качества электроэнергии. Неэффективное использование электроэнергии также обременяет электрическую инфраструктуру и может привести к увеличению счетов за электроэнергию. Таким образом, коррекция коэффициента мощности становится решающей для повышения эффективности электрических систем и оптимизации использования энергии. Для определения необходимой мощности для коррекции коэффициента мощности необходим тщательный анализ электрической системы. Этот анализ включает измерение коэффициента мощности, полной мощности и реактивной мощности системы. Также важно понимать характеристики нагрузки и определять основные индуктивные нагрузки. Учитывая эти факторы, инженеры-электрики могут рассчитать потребность в реактивной мощности и

определить подходящую емкость конденсаторных блоков для эффективной коррекции коэффициента мощности.

Принцип КРМ показан на рисунке 1.

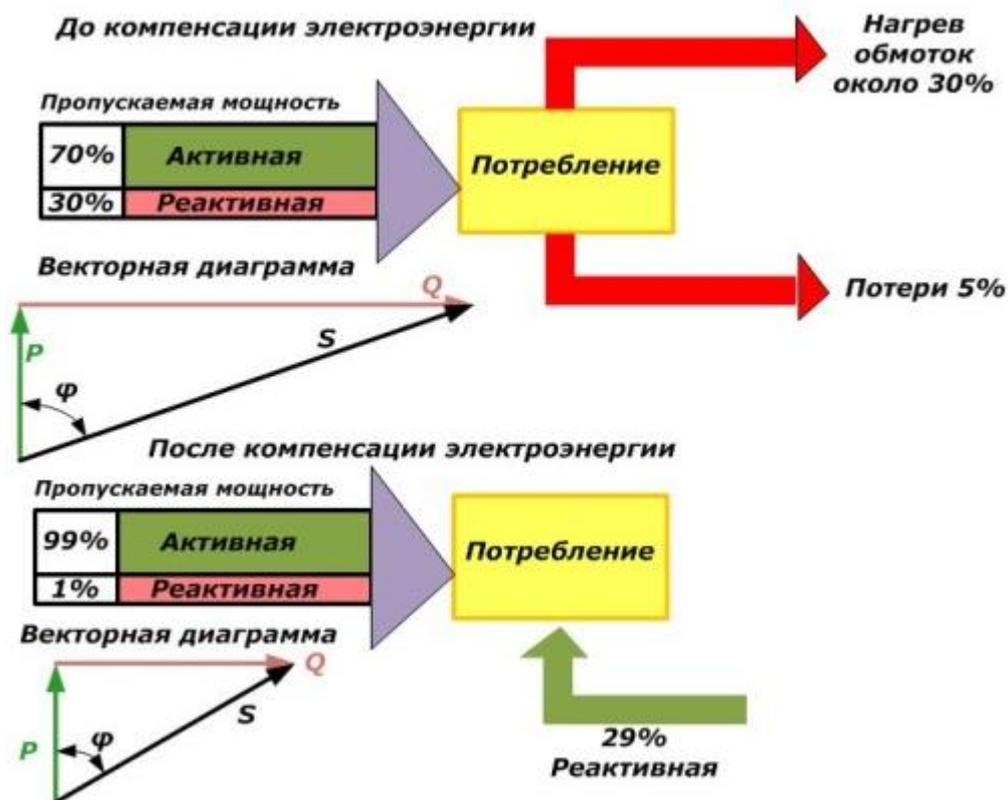


Рисунок 1 – Принцип компенсации реактивной мощности

Генерируемая компенсирующими устройствами реактивная мощность выдается в сеть, обеспечивая снижение (компенсацию) общей потребляемой реактивной мощности. Это снижает рабочие токи электрооборудования, а также потери мощности, напряжения и электроэнергии в линиях электропередачи и элементах электрических сетей (например, в силовых трансформаторах электрических подстанций).

Энергоэффективные силовые трансформаторы.

Энергоэффективные силовые трансформаторы являются важным элементом систем электроснабжения. Они позволяют снизить потери энергии, уменьшить выбросы парниковых газов и повысить надежность

системы. Для достижения этих целей используются современные технологии, такие как применение изоляционных материалов с высокой диэлектрической проницаемостью, оптимизация конструкции магнитопровода и использование систем охлаждения на основе тепловых труб [3].

Энергоэффективные силовые трансформаторы обеспечивают быструю окупаемость ввиду значительной экономии на оплате электроэнергии (ЭЭ), окупаемость для трансформаторов серии ТМГ12 номинальной мощностью 400 кВА, 630 кВА и 1000 кВА показана на рисунке 2.

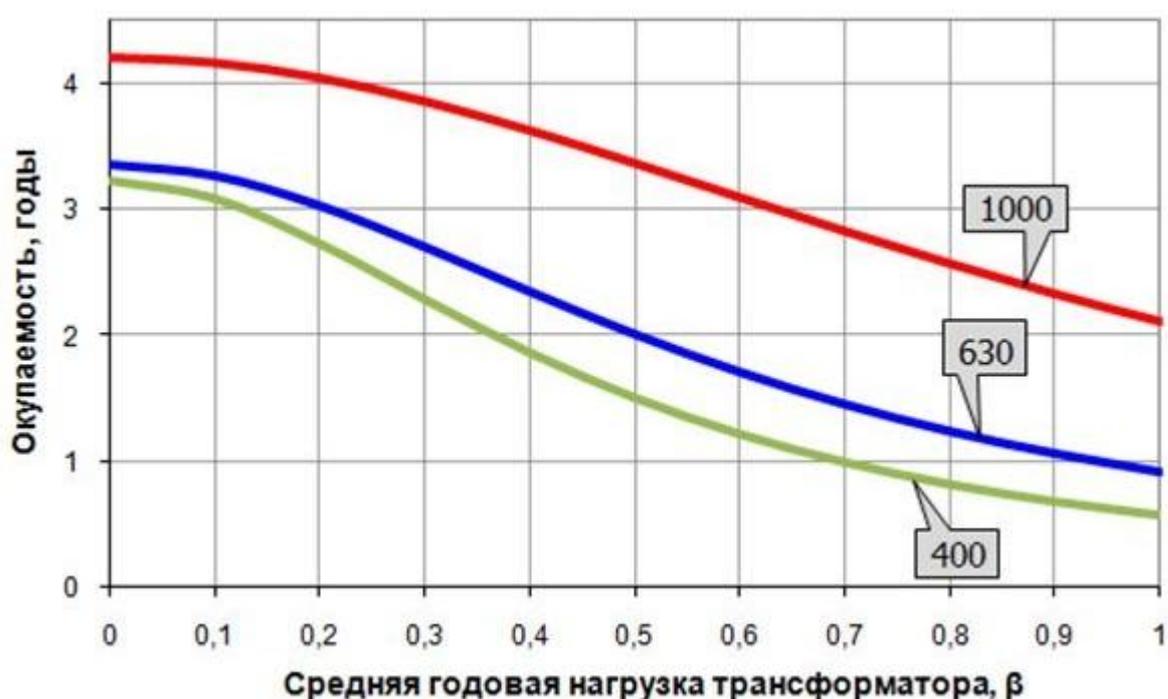


Рисунок 2 – Графики окупаемости трансформаторов серии ТМГ12

Дополнительный экономический эффект может быть достигнут при реализации концепции «умный трансформатор» в составе интеллектуальной СЭС (Smart Grid).

Повышение энергоэффективности электрических сетей, концепция Smart Grid.

Технологии интеллектуальных сетей играют жизненно важную роль в повышении энергоэффективности систем электроснабжения. Эти технологии обеспечивают двустороннюю связь между предприятием и конечными пользователями, что позволяет лучше отслеживать и контролировать потребление энергии [29]. Усовершенствованная инфраструктура измерения (AMI) позволяет собирать данные в режиме реального времени, обеспечивая понимание моделей использования энергии и облегчая управление спросом. Технологии «умных сетей» также позволяют интегрировать возобновляемые источники энергии в системы электроснабжения. Включив в сеть производство возобновляемой энергии, такой как солнечная и ветровая, системы электроснабжения могут снизить зависимость от ископаемого топлива и снизить выбросы парниковых газов. Такая интеграция требует разработки сложных алгоритмов управления и систем хранения энергии для обеспечения стабильного и надежного электроснабжения [30].

Структура технологического базиса Smart Grid показана на рисунке 3.



Рисунок 3 – Структура технологического базиса Smart Grid

Интеллектуальные технологии электрических сетей обеспечивают взаимосвязь между иерархическими уровнями электроснабжения и позволяют максимально эффективно управлять питанием электроприемников.

В настоящее время реализация концепции Smart Grid утверждена в стратегии энергетического развития РФ и ее регламентировано массово внедрять при проведении плановых реконструкций СЭС предприятий и проектировании новых.

Частотное регулирование электроприводов.

Преобразователи частоты (ПЧ) играют решающую роль в повышении энергоэффективности электроприводов. ПЧ представляет собой электронное устройство, которое регулирует частоту и напряжение источника электропитания для управления скоростью и крутящим моментом электродвигателя [26]. Изменяя частоту и напряжение, преобразователи частоты позволяют электродвигателям работать с оптимальной эффективностью в широком диапазоне условий нагрузки. Это означает, что двигатель потребляет только ту энергию, которая необходима для выполнения желаемой задачи, исключая ненужные потери энергии. ПЧ работают путем преобразования входящего переменного тока (AC) в постоянный ток (DC), а затем обратно в переменный ток с желаемой частотой и напряжением. Этот процесс включает в себя несколько ключевых компонентов, включая выпрямители, конденсаторы, инверторы и схемы управления. Выпрямители преобразуют переменный ток в постоянный, который затем сохраняется в конденсаторах. Затем инверторы преобразуют мощность постоянного тока обратно в переменный ток с желаемой частотой и напряжением. Цепи управления обеспечивают настройку частоты и напряжения в зависимости от желаемой скорости и крутящего момента двигателя. Такой точный контроль над рабочими параметрами двигателя обеспечивает оптимальную энергоэффективность [27].

Наиболее перспективным типом ПЧ, в настоящее время, является транзисторный ПЧ с IGBT-транзисторами (с изолированным затвором). Достижения микроэлектроники в разработке данных типов полупроводниковых элементах позволяют обеспечить высокие рабочие токи, устойчивость к коротким замыканиям (КЗ) и перегрузкам, минимальные внутренние потери энергии, высокую скорость коммутации и малые задержки переключений.

Принципиальная схема частотного регулирования ЭП показана на рисунке 4.

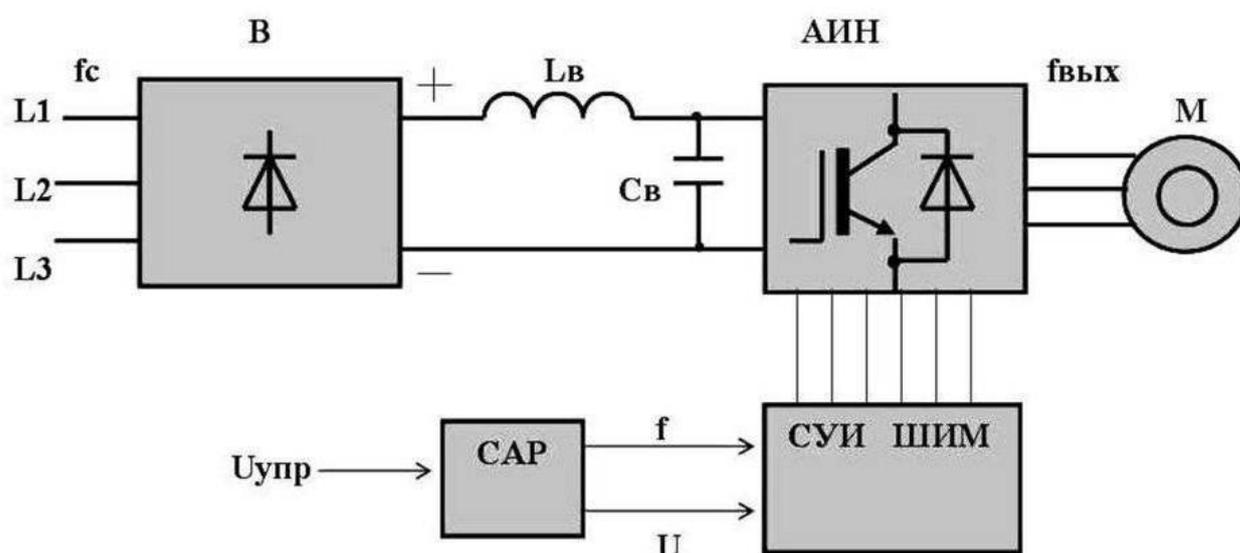


Рисунок 4 – Принципиальная схема частотного регулирования электропривода

Эффективное управление параметрами выходного напряжения обеспечивается системой автоматического регулирования с датчиками обратной связи.

Применение программируемых цифровых реле.

Управление электроприемниками является важным аспектом современных технологий и автоматизации. Для промышленного оборудования способность регулировать электрические устройства и

управлять ими имеет решающее значение для оптимальной производительности и энергоэффективности. Однако управление электроприемниками может оказаться сложной задачей из-за разнообразия задействованных устройств и систем.

Принципиальная схема работы программируемых цифровых реле показана на рисунке 5.

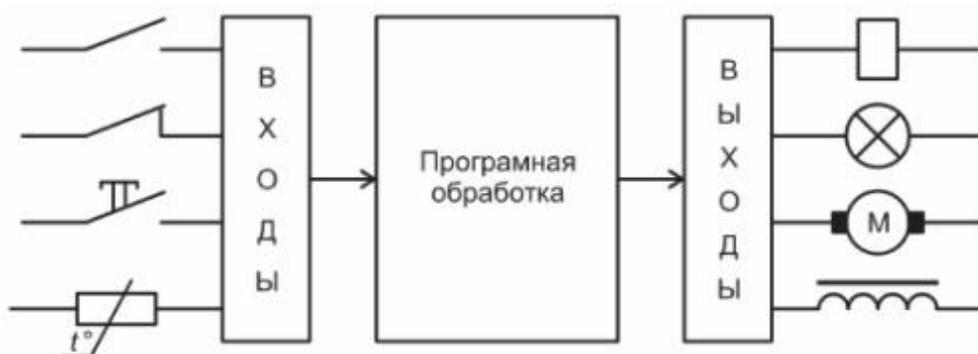


Рисунок 5 – Принципиальная схема работы программируемых цифровых реле

Используя программируемые реле (ПР) для управления электрическими приемниками, можно реализовать несколько преимуществ. Во-первых, ПР обеспечивают повышенную гибкость и адаптируемость. Благодаря возможности программировать и перепрограммировать логику управления пользователи могут легко изменять и оптимизировать поведение электрических приемников, чтобы они лучше соответствовали их требованиям [28]. Такая гибкость обеспечивает плавную интеграцию с существующими системами и добавление новых приемников без необходимости масштабной перемонтажа или модификации оборудования. Во-вторых, ПР обеспечивают точное и точное управление. Благодаря возможности определять сложные последовательности управления пользователи могут гарантировать, что электрические приемники работают наиболее эффективно. Такой детальный контроль сводит к минимуму потери энергии и снижает риск повреждения или неисправности оборудования.

Более того, программируемые реле могут отслеживать и записывать важные рабочие данные, предоставляя ценную информацию для целей оптимизации и устранения неполадок. Наконец, программируемые реле обеспечивают масштабируемость и расширяемость. По мере развития требований к управлению программируемые реле можно легко расширять или модернизировать для размещения дополнительных электрических приемников или сложных сценариев управления. Такая масштабируемость гарантирует, что система управления может расти вместе с потребностями приложения, устраняя необходимость дорогостоящих замен или капитального ремонта системы.

#### Светодиодное освещение.

На данный момент системы освещения (СО) промышленных помещений выполняются с учетом обеспечения максимального комфорта для работников и других людей. Так как в данных типах помещений люди проводят длительное время, то необходимо минимизировать нагрузку на зрительный аппарат, обеспечивать психологический комфорт. Кроме положительных эффектов для физиологического и психологического состояния людей, учет этих факторов при проектировании систем освещения приводит к повышению трудоспособности и моральной мотивации персонала, что, в свою очередь, повышает эффективность использования рабочего времени и трудовые показатели организации в целом [20].

Минимизация нагрузки на зрительный аппарат и психологический комфорт обеспечиваются:

- гибким автоматизированным управлением параметрами освещения (уровнем освещенности, цветовой температурой и т.д.), предусматривается возможность дистанционного управления, в том числе по сетям Bluetooth, Wi-Fi и Internet;
- минимизацией уровня пульсаций светового потока (использованием светодиодных источников света с высококачественными драйверами питания, галогеновых ламп накаливания и т.д.);

- источники света должны быть долговечными и высоконадежными, для исключения миганий (характерно, например, для люминесцентных ламп и низкокачественных светодиодных источников света).

Кроме положительных эффектов для физиологического и психологического состояния людей, учет этих факторов при проектировании систем освещения приводит к повышению трудоспособности и моральной мотивации персонала, что, в свою очередь, повышает эффективность использования рабочего времени и трудовые показатели организации в целом [20].

СП 52.13330.2016. «Свод правил. Естественное и искусственное освещение» также регламентирует дополнительные условия по обеспечению комфортности эксплуатации освещения: нормативную освещенность для различных типов помещений, требуемую минимальную удельную мощность освещения на единицу площади и другие параметры. Также рассмотрены требования по выполнению световодов и других технических решений при проектировании систем освещения.

ГОСТ 31427-2020 регламентирует состав показателей энергетической эффективности жилых и общественных зданий, в том числе и для систем освещения. Отдельным важным требованием к выполнению СО на всех типах объектов и для всех помещений является обеспечение максимальной энергоэффективности. Это может быть достигнуто использованием энергосберегающих источников света различных типов (светодиоды, люминесцентные лампы и т.д.), а также автоматизированных систем управления (на основе программируемых логических цифровых реле или контроллеров), которые, в случае неактуальности высокого уровня освещенности понижают энергопотребление системы освещения или вовсе отключают его по истечению времени, согласно сигналам от датчиков присутствия или освещенности, либо по другим заранее запрограммированным алгоритмам.

Очень важным аспектом выполнения качественной системы освещения является ее высокая надежность, которая обеспечивается высокой надежностью и качеством всех составляющих элементов (источников света, проводников, выключателей, управляющих устройств и т.д.). Нецелесообразна экономия, в ущерб качеству, на элементах и материалах системы освещения, так как она приводит к резкому снижению технико-эксплуатационных характеристик СО и повышению трудовых и экономических эксплуатационных и ремонтных затрат, например, на частую замену источников света [23].

Вопросы эксплуатационной безопасности СО также чрезвычайно актуальны [7]. Нередки случаи поражения электрическим током при замене источников света, которые могут привести к значительным негативным последствиям для здоровья людей, как вследствие прямого поражения электрическим током, так и ввиду вторичных косвенных факторов, например, последующего падения с высоты. Поэтому системы освещения должны гарантированно обеспечивать эксплуатационную безопасность. Все элементы СО должны быть сертифицированы для заданных условий применения, например, по уровню защиты от окружающей среды (IP). В цепях питания систем освещения необходимо использовать устройства защитного отключения (УЗО), которые обесточат цепь, предотвращая электротравму, также применение УЗО значительно повышает пожаробезопасность. Пожаробезопасность систем освещения критически важна и должна обеспечиваться соответствующими техническими решениями согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ) и другим нормативно-техническим документам. Например, в электрической сети СО должна использоваться, согласно ПУЭ, только медная проводка (провода и кабели с медными токопроводящими жилами), кабели должны использоваться с негорючей изоляцией с низким дымовыделением [14].

В целом, в настоящее время качественно спроектированные и выполненные системы освещения являются достаточно безопасными,

надежными и энергоэффективными техническими системами. Можно отметить массовое внедрение СО на основе светодиодных источников света под интеллектуальным автоматизированным управлением.

Преимущества светодиодного освещения показаны на рисунке 6.

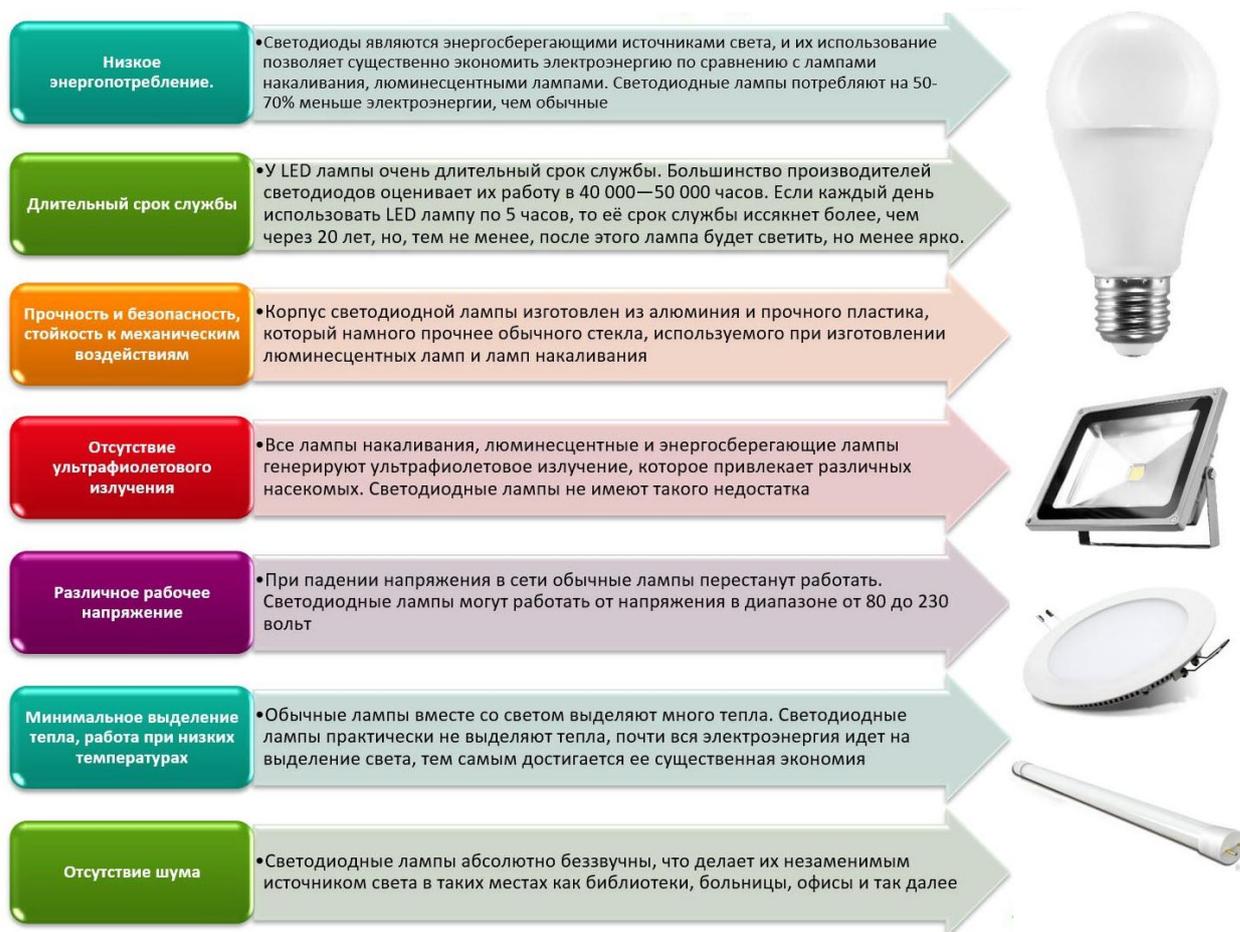


Рисунок 6 – Преимущества светодиодного освещения

Используя возможности современных систем освещения, можно создать яркое, комфортное и энергоэффективное пространство, повышающее работоспособность и самочувствие персонала.

Автоматизированная система технического учета электроэнергии (АСТУЭ).

АСТУЭ – это система, которая позволяет контролировать и оптимизировать потребление электроэнергии на предприятии. Она включает

в себя приборы учета, датчики, контроллеры и программное обеспечение, которое позволяет собирать и анализировать данные о потреблении электроэнергии. АСТУЭ позволяет снизить потери электроэнергии, оптимизировать работу оборудования и повысить энергоэффективность предприятия [25].

Типовая структура АСТУЭ показана на рисунке 7.

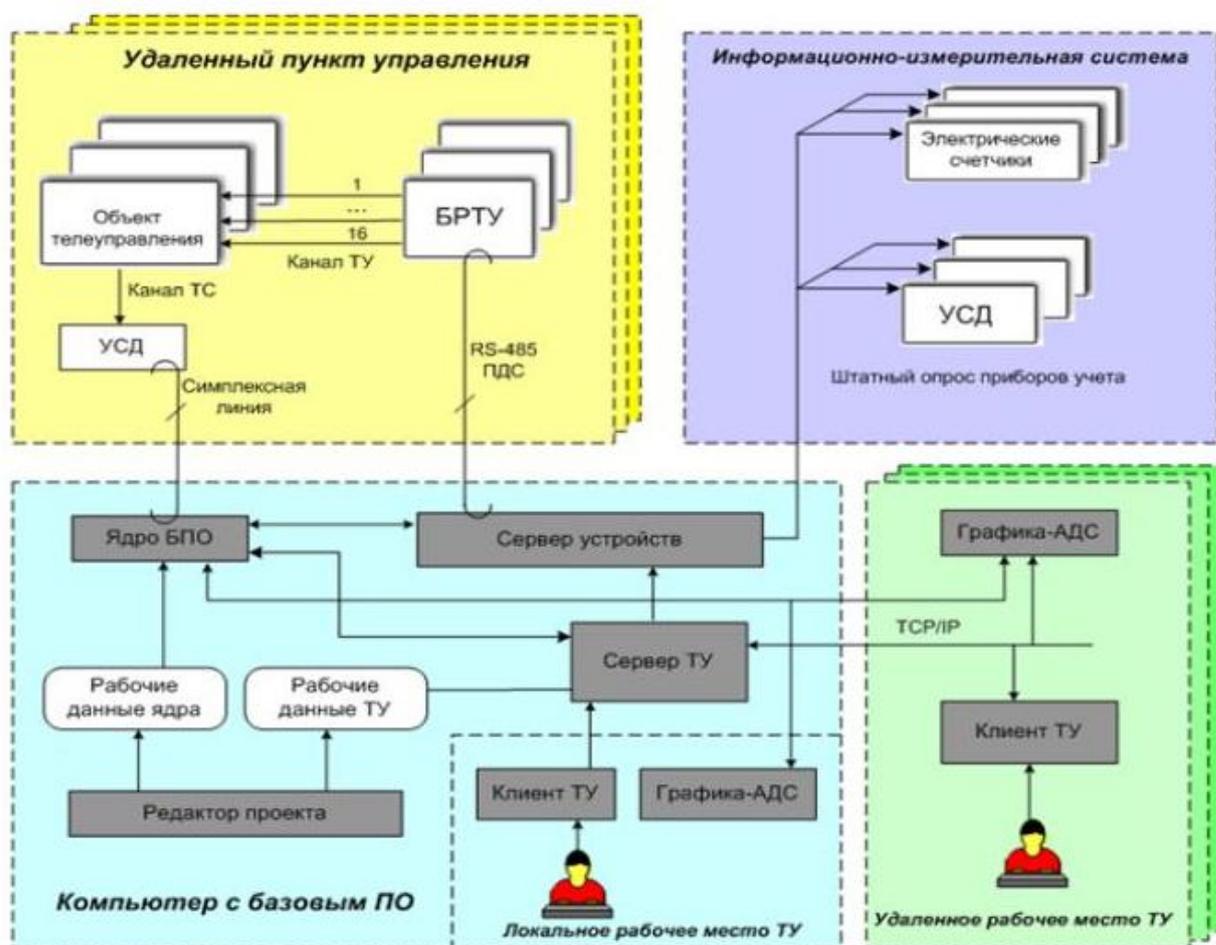


Рисунок 7 – Типовая структура АСТУЭ

Современные АСТУЭ ориентированы на обеспечения максимальной энергоэффективности, автоматизации и эргономики использования.

Интеллектуальная СЭС предприятия (Smart Grid).

Smart Grid – это система, которая включает в себя все элементы, необходимые для управления и контроля за потреблением электроэнергии на

предприятия. Smart Grid позволяет оптимизировать распределение нагрузки, управлять генерацией, выбирать оборудование и планировать развитие сети. Интеллектуальная система электроснабжения также может быть интегрирована с другими системами, такими как система управления производством, система управления технологическими процессами и система управления зданием. Это позволяет получить более полную картину о работе предприятия и принимать более обоснованные решения по управлению энергопотреблением [29].

Стратегия массовой реализации Smart Grid на предприятиях РФ утверждена Министерством энергетики, прогноз комплексной реализации Smart Grid показан на рисунке 8.



Рисунок 8 – Прогноз комплексной реализации Smart Grid на предприятиях РФ до 2030 г., в млрд. руб.

Определено, что массовая плановая реализация Smart Grid обеспечит значительный положительный экономический эффект.

### **1.3 Анализ действующей системы собственных нужд АО «Юго-Западная ТЭЦ» и ее энергетической эффективности**

Для обеспечения работы основного оборудования ТЭЦ необходима работа вспомогательного оборудования, которое является потребителем электрической энергии. Схемой электрических соединений собственных нужд Юго-Западной ТЭЦ предусматривается система электроснабжения всех потребителей электроэнергии, принимающих участие в технологическом процессе производства на электростанции, включая потребителей электроэнергии вспомогательных зданий и сооружений, размещаемых на площадке ТЭЦ.

Основными потребителями электроэнергии на ТЭЦ являются высоковольтные и низковольтные асинхронные электродвигатели насосов, вентиляторов, дожимных компрессоров, а также нагревательные устройства разного вида и назначения, источники света, а также потребители АСУ ТП и связи.

К затратам электроэнергии на собственные нужды газовых турбин относятся следующие механизмы:

- дожимная компрессорная станция (с газовыми дожимными компрессорами).

К затратам электроэнергии на собственные нужды котлоутилизаторов относятся следующие механизмы:

- питательные электронасосы;
- циркуляционные насосы высокого давления;
- циркуляционные насосы низкого давления;
- насосы рециркуляции ГПК;
- насосы химцеха, блочной обессоливающей установки.

К затратам электроэнергии на собственные нужды паровых турбин относятся следующие механизмы:

- циркуляционные насосы;

- конденсатные насосы;
- маслонасосы смазки и регулирования;
- механизмы и насосы градирни.

К затратам электроэнергии на собственные нужды теплофикационных установок относятся следующие механизмы:

- сетевые насосы;
- подпиточные насосы;
- конденсатные насосы бойлеров;
- насосы рециркуляции греющей воды деаэраторов.

План системы электроснабжения собственных нужд Юго-Западной ТЭЦ приведен в Приложении А.

Электропитание потребителей собственных нужд предусмотрено от системы шин РУ-6,3 кВ и РУ-0,4 кВ, с возможностью автоматического подключения резервного источника питания. Каждая из секций РУСН-6 кВ получает питание от своего рабочего трансформатора собственных нужд 11/6,3 кВ, подключаемого отпайкой к генераторному токопроводу. Для питания потребителей 0,4 кВ предусмотрены четыре секции РУСН-0,4 кВ, подключаемых к трансформаторам 6/0,4 кВ марки ТМ-1000-6/0,4. Компенсация реактивной мощности отсутствует, средневзвешенный коэффициент мощности сети СН  $\cos\varphi = 0,899$  (что существенно меньше нормативного рекомендуемого ПУЭ показателя 0,95 и указывает на избыток реактивной мощности в сети). От секций РУСН-0,4 кВ непосредственно запитываются электродвигатели, поставляемые комплектно с газовыми и паровыми турбинами, сборки освещения главного комплекса. Электроснабжение вспомогательных зданий и сооружений, расположенных на площадке ТЭЦ, осуществляется от РУСН-6 кВ.

Для выявления всех резервов экономии энергоресурсов необходимо составлять энергетический баланс. Так как задачей исследования является снижения электропотребления, то рассмотрен электробаланс. Главная цель энергобаланса-определение степени полезного использования

электроэнергии и рационализация электропотребления. В электробалансе отражаются прямые затраты основной технологический процесс, затраты электроэнергии на вспомогательные нужды, потери электроэнергии в элементах системы электроснабжения.

Помесячный анализ 2021 года, представленный на рисунке 9, показывает, что наибольший вклад в электропотребление вносит электропотребление, расходуемое для производства тепловой и электрической энергий, в котором главными потребителями являются газодожимные компрессорные установки и насосное оборудование. В составе насосного основными потребителями электрической энергии являются сетевые насосы, которые работают при помощи электродвигателя. Сетевые насосы устанавливаются в качестве насосов и первого подъема (подача воды из обратного трубопровода к подогревателям), и в качестве второго подъема (подача воды после подогревателей в сеть).

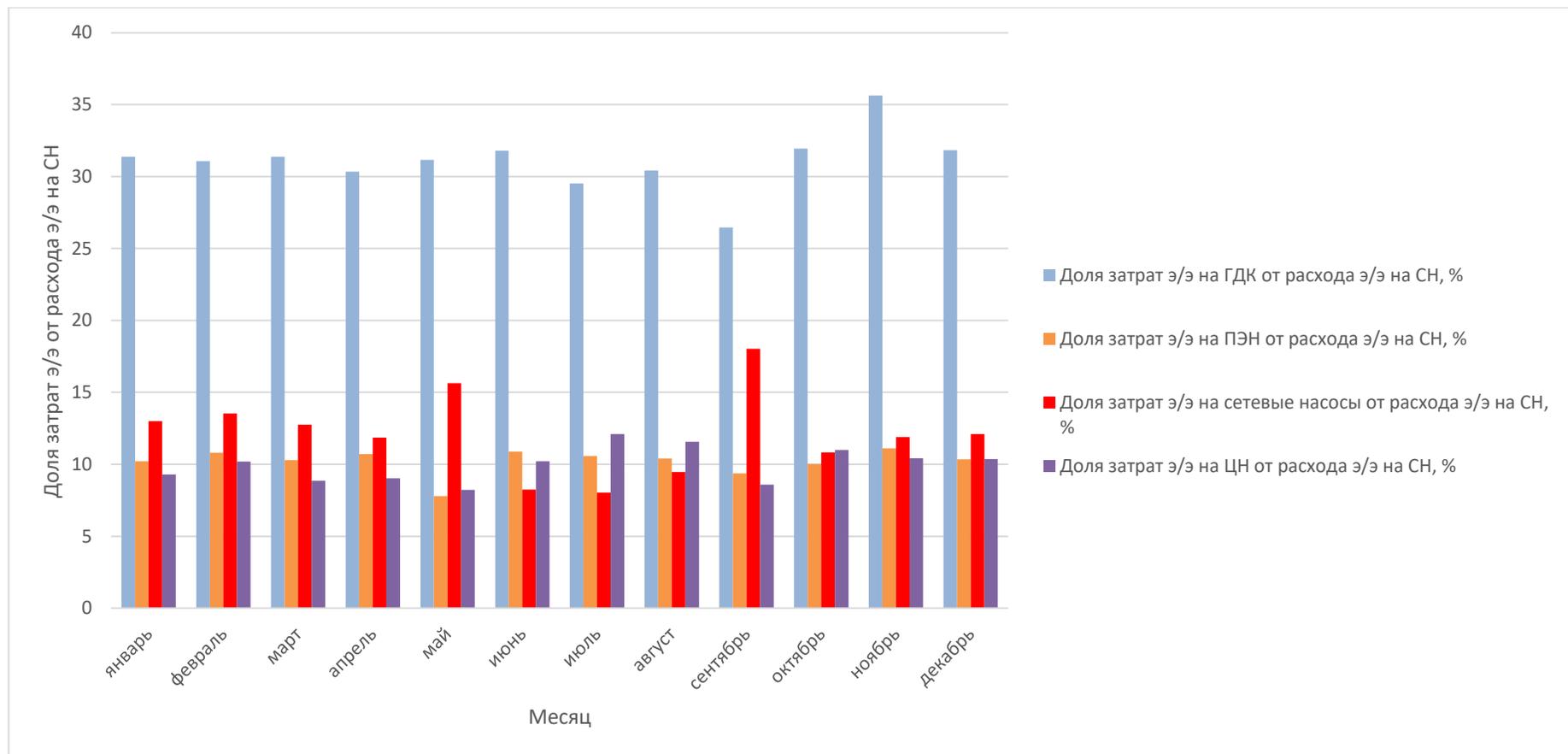


Рисунок 9 – Распределение основных потребителей э/э на собственные нужды ТЭС в 2021г.

Работа сетевого насоса зависит от отпуска тепловой энергии. Потребление тепловой и электрической энергии происходит неравномерно в течение суток, недели, года. В зимний период ТЭЦ должна обеспечивать потребителей отоплением, горячим водоснабжением, таким образом, необходимо задействовать большее количество турбоагрегатов при работе при номинальных параметрах, в летний же период пропадает необходимость отопления, а остается только горячее водоснабжение, для которого достаточно минимального количества турбоагрегатов. Характер изменения отпуска тепловой энергии представлен в виде графика тепловой нагрузки на рисунке 10.

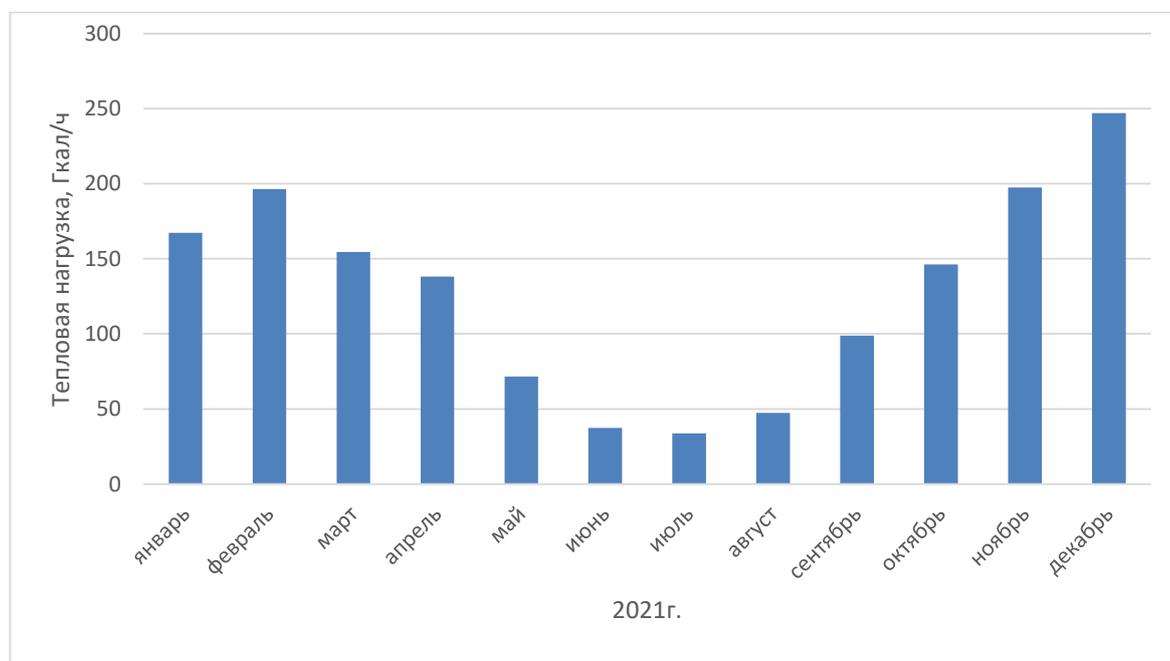


Рисунок 10 – Распределение тепловой нагрузки за 2021г.

В качестве привода насосов используются высоковольтные асинхронные электродвигатели. В случае переменной нагрузки или частых простоев электродвигателей следует применять системы управления. Управление может осуществляться дросселированием, включением-отключением и пускорегулирующими устройствами. В случае отсутствия управления, то при

перегрузке оборудования, оно быстро выходит из строя и требуются частые ремонты, если турбоагрегат недогружен-снижается КПД и коэффициент мощности. Следует рассматривать взаимосвязь работы сетевых насосов от режима работы теплосети, различные режимы могут как вызывать сверхнормативное потребление электроэнергии, так и привести к экономии. За 2021 год наблюдается тенденция превышения температуры прямой сетевой воды над договорным температурным графиком. Таким образом, происходит переход от качественного регулирования к качественно-количественному, что характеризуется меньшими расходами сетевой воды при одинаковом теплосъеме, а, следовательно, и уменьшением потребляемой электроэнергии сетевыми насосами. Уровень снижения затрат электроэнергии на транспортировку воды определяется используемым на источнике тепла способом регулирования насосов. Экономия затрат электроэнергии при частотном регулировании превосходит экономию при регулировании дросселированием на величину затрат, связанных с дросселированием напора на регуляторе. При качественно-количественном регулировании режима теплосети необходимо проводить установку частотно-регулируемого преобразователя для эффективного управления работой насосов и снижения потребления электроэнергии на собственные нужды.

Если просчитать коэффициент загрузки двигателей сетевых насосов в среднем за 5 лет, то получаем значение на уровне 69%:

$$k = \frac{P}{P_{д. ном.}}, \quad (1)$$

где  $P$ -средняя мощность загрузки двигателя;

$P_{д. ном.}$ - номинальная мощность двигателя.

$$k_{СН-11} = \frac{950,8}{1386} \cdot 100 = 68,6 \%;$$

$$k_{\text{CH-12}} = \frac{981,3}{1386} \cdot 100 = 70,8 \ %;$$

$$k_{\text{CH-13}} = \frac{932,8}{1386} \cdot 100 = 67,3 \ %;$$

$$k_{\text{CH-14}} = \frac{971,6}{1386} \cdot 100 = 70,1 \ %.$$

Управление интенсивностью работы систем вентиляции, водоснабжения и водоотведения обеспечивается шиберными заслонками и регулирующими кранами, что обуславливает высокие потери энергии в данных системах и их низкий КПД [23].

Также следует учитывать, что в расход электроэнергии на собственные нужды включаются также расходы на освещение производственных помещений, электроинструмент, электросварку, электродвигатели приспособлений и механизмов для текущего ремонта оборудования, электродвигатели систем отопления и вентиляции производственных помещений. Предусмотрены следующие виды освещения производственных помещений:

- рабочее;
- аварийное;
- охранное.

Долевое распределение установленной мощности освещения производственных помещений представлено на рисунке 11.

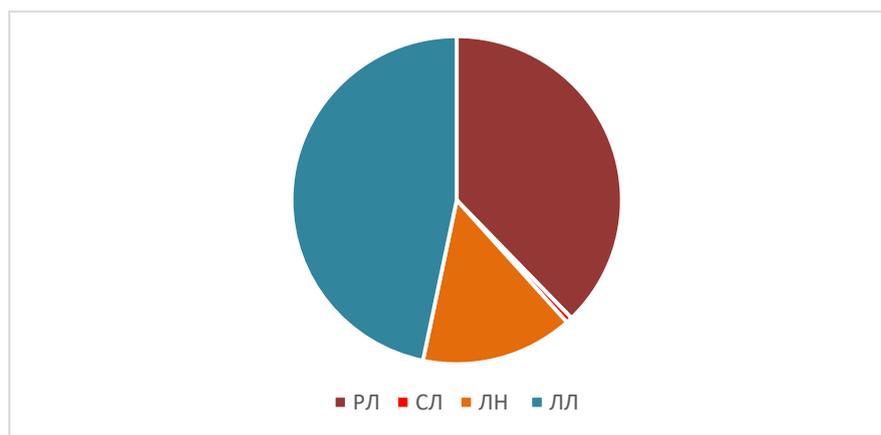


Рисунок 11 – Долевое распределение установленной мощности освещения

Из рисунка видно, что наибольшая доля установленной мощности освещения приходится на люминесцентные лампы, ртутные лампы и лампы накаливания. Светодиодные лампы составляют всего 0,6 %, что свидетельствует о низкой энергоэффективности.

Общее управление электроприемниками имеет малую автоматизацию и плохую оптимизацию СЭС в целом. Отсутствует технический учет электропотребления. Управление освещением осуществляется вручную выключателями, автоматизация отсутствует.

#### **1.4 Обоснование необходимости повышения энергетической эффективности системы собственных нужд, мероприятия по повышению энергетической эффективности**

По результатам анализа действующей системы СН и ее энергетической эффективности, можно сделать вывод о ее несоответствии актуальным требованиям по энергосбережению по следующим параметрам:

- силовые трансформаторы ТП – устаревшей марки с высокими внутренними потерями электроэнергии;
- компенсация реактивной мощности отсутствует, средневзвешенный коэффициент мощности сети СН существенно меньше

нормативного рекомендуемого ПУЭ показателя 0,95, что указывает на избыток реактивной мощности в сети;

- низкая энергоэффективность основных электроприводов систем водоснабжения ввиду того, что управление интенсивностью работы данных систем обеспечивается шибберными заслонками и регулирующими кранами, что обуславливает высокие потери энергии в данных системах и их низкий КПД;
- освещение выполнено светильниками с люминесцентными и ртутными лампами и имеет низкую энергоэффективность;
- плохая оптимизация общего электропотребления ввиду отсутствия АСТУЭ;
- плохая оптимизация и малая автоматизация управления электроприемниками.

Очевидна необходимость повышения энергетической эффективности системы собственных нужд, для чего предлагаются мероприятия:

- установка энергоэффективных силовых трансформаторов ТП, что позволит существенно снизить потери мощности и электроэнергии при питании низковольтной нагрузки СН;
- компенсация реактивной мощности путем установки на шинах 6 кВ ТП конденсаторных батарей;
- установка частотных преобразователей для питания электроприводов систем водоснабжения;
- замена светильников на светодиодные;
- эффективное автоматизированное управление электроприемниками с помощью программируемых реле;
- реализация АСТУЭ и концепции Smart Grid, общая оптимизация технологического процесса СН.

Выводы по разделу 1.

По результатам анализа литературы систематизированы и рассмотрены современные способы повышения энергетической эффективности. Проведен анализ действующей системы собственных нужд АО «Юго-Западная ТЭЦ» и ее энергетической эффективности. Компенсация реактивной мощности отсутствует, средневзвешенный коэффициент мощности сети СН существенно меньше нормативного рекомендуемого ПУЭ показателя. Основную долю потребления СН составляют ЭД электроприводов сетевых насосов. Коэффициент загрузки двигателей меньше 70%, что свидетельствует о неэффективном регулировании приводами. Одним из постоянных потребителей электрической энергии является освещение зданий и территории. Освещение выполнено светильниками с люминесцентными и ртутными лампами и имеет низкую энергоэффективность. Управление освещением осуществляется вручную выключателями, автоматизация отсутствует. Отсутствует технический учет электропотребления.

Очевидна необходимость повышения энергетической эффективности системы собственных нужд, для чего предложен комплекс мероприятий.

## **2 Разработка мероприятий по повышению энергетической эффективности системы собственных нужд АО «Юго-Западная ТЭЦ»**

### **2.1 Модернизация освещения, организация управлением освещением**

Выбор источников света и светильников.

Появление современных источников света произвело революцию в том, как мы освещаем наши помещения. Прошли те времена, когда мы были ограничены традиционными лампами накаливания, которые не только потребляли энергию, но и имели более короткий срок службы. Сегодняшние современные источники света являются свидетельством стремительного развития, достигнутого в области светотехники. Они предлагают целый ряд преимуществ: от энергоэффективности до увеличения срока службы, превращая, таким образом, более яркую и благоприятную среду на производственных объектах [20].

Современные источники света обладают многочисленными преимуществами по сравнению со своими традиционными аналогами. Во-первых, они более энергоэффективны. Например, светодиодная лампа потребляет примерно на 75% меньше энергии, чем лампа накаливания при той же светоотдаче. Это означает значительную экономию на счетах за электроэнергию. Во-вторых, современные источники света имеют более длительный срок службы. Например, светодиодная лампа может прослужить до 50 000 часов, что примерно в 50 раз дольше, чем традиционная лампа накаливания. Это не только снижает потребность в частых заменах, но и приводит к экономии затрат в долгосрочной перспективе. В-третьих, современные источники света экологичны ввиду своей высокой энергоэффективности и надежности. Например, светодиодные лампы потребляют минимальное количество электроэнергии и требуют редкой замены, а их утилизация не представляет проблем (как например, утилизация

люминесцентных).

На данный момент можно отметить массовое внедрение СО на основе светодиодных источников света под интеллектуальным автоматизированным управлением. Рассмотрим подробнее светодиодные источники света и их основные параметры и особенности.

Ключевые преимущества современных светодиодных светильников перед другими типами светильников:

- наивысший КПД среди всех источников света;
- относительно малый нагрев;
- небольшие токи питающей сети и ее малое напряжение;
- компактность питающих драйверов;
- наиболее высокая долговечность;
- экологичность;
- простота замены и утилизации
- быстрое зажигание и выход на полную яркость;
- независимость или малая зависимость яркости от снижения питающего напряжения;
- энергоэффективная регулировка яркости;
- простота изменения цветовой температуры суммарного светового потока светильников;
- высокое качество и малый уровень пульсаций светового потока.

Структура светодиода представляет собой сложную систему, состоящую из нескольких слоев различных материалов. Основа светодиода – это полупроводниковый кристалл, изготовленный из арсенида галлия или фосфида индия. Этот кристалл легирован специальными примесями, которые создают зоны с различной проводимостью.

Структура современного светодиода показана на рисунке 12.

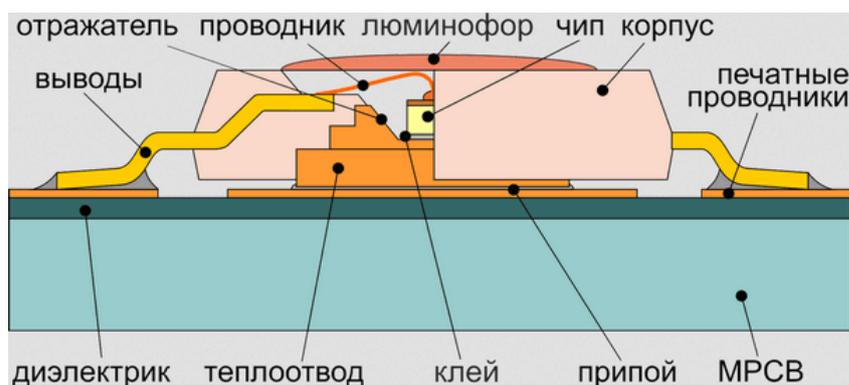


Рисунок 12 – Структура современного светодиода

Светодиодные источники света обеспечивают освещение, приближенное к естественному.

Из недостатков светодиодного освещения можно отметить лишь его относительную дороговизну, которая быстро нивелируется за счет высокой энергоэффективности и более низких затрат на техническое обслуживание (ТО) системы освещения.

Очевидно, что светодиодное освещение обеспечивает существенное энергосбережение и повышение энергетической эффективности освещения. При проектировании, реконструкции и модернизации систем освещения рекомендуется использовать именно светодиодные светильники. Таким образом, для освещения помещений выбираются светодиодные светильники.

Спектры света источников света показаны на рисунке 13.

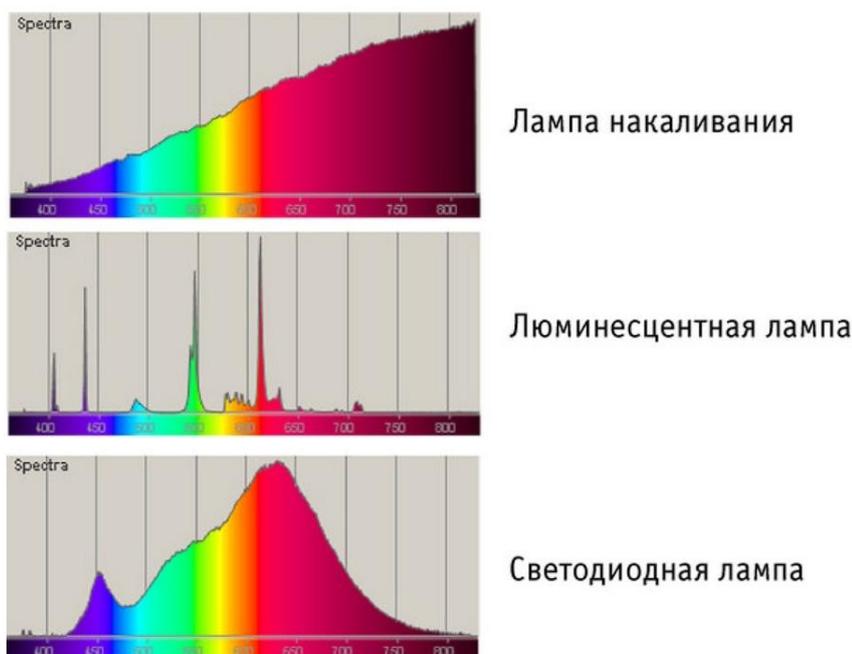


Рисунок 13 – Спектры света источников света

Для светотехнического расчета системы освещения помещений используется метод коэффициента использования светового потока [20]. Согласно размерам помещений, определяются индексы помещений, согласно которым определяются коэффициенты использования светового потока. С учетом коэффициентов запаса и минимальной освещенности находится общий требуемый световой поток от всех светильников. Далее с учетом паспортного светового потока от одного светильника определяется требуемое число светильников.

Пример расчета и выбора светильников для основного участка цеха СН.

«Индекс помещения:

$$i = A \cdot B / (h \cdot (A + B)), \quad (2)$$

где  $A$ ,  $B$ ,  $h$  – длина, ширина и высота помещения м.

Необходимый минимальный световой поток от светильников:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{K_u}, \quad (3)$$

где  $E$  – норма освещенности, лк;

$S$  – площадь помещения, м<sup>2</sup>;

$K_z$ ,  $Z$ ,  $K_u$  – коэффициент запаса, минимальной освещенности, использования светового потока» [20].

$$i = 116 \cdot 27,05 / (8 \cdot (116 + 27,05)) = 2,74,$$

$$\Phi = \frac{200 \cdot 3137,8 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{0,51} = 2030356 \text{ лм.}$$

«Освещение выполняется специализированными промышленными светодиодными светильниками WebStar-105W, световой поток 13120 лм. Используются модули по 5 светильников WebStar-105W.

Необходимое число светильников:

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_c}, \quad (4)$$

где  $\Phi_c$  – световой поток одного светильника, лм» [20].

$$N = \frac{2030356}{5 \cdot 13120} \approx 31 \text{ шт.}$$

Устанавливается 31 модуль по 5 светильников WebStar-105W. Внешний вид светильника показан на рисунке 14.



Рисунок 14 – Светильник WebStar-105W

Для остальных помещений выбор светильников проводится аналогично, результаты – в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты выбора светильников

Помещения	F, м <sup>2</sup>	Φ, лм	N, шт	С ед.св, лм	Марка светильника
Объединено-вспомогательный корпус	3137,8	2030356	31	65600	5 WebStar-105W
Проходная	171,6	76512	2	39360	3 WebStar-105W
Служебно-бытовой корпус	286,8	133287	4	39360	3 WebStar-105W
Убежище	172,8	77058	2	39360	3 WebStar-105W
Материальный склад	225,5	103351	3	39360	3 WebStar-105W

Общая нагрузка освещения:

$$P_{po} = P_{св} \cdot n_{св},, \quad (5)$$

где  $P_{св}$  – нагрузка одного светильника, кВт;

$n_{св}$  – общее число светильников, шт.

$$Q_{po} = P_{po} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (6)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi}, \quad (7)$$

где  $\cos \varphi$  – коэффициент мощности для светильника [20].

$$S_{po} = \sqrt{P_{po}^2 + Q_{po}^2}, \quad (8)$$

$$P_{po} = 0,105 \cdot (31 \cdot 5 + 2 \cdot 3 + 4 \cdot 3 + 2 \cdot 3 + 3 \cdot 3) = 19,74 \text{ кВт}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sqrt{1 - 0,95^2}}{0,95} = 0,33$$

$$Q_{po} = 19,74 \cdot 0,33 = 6,51 \text{ квар}$$

$$S_{po} = \sqrt{19,74^2 + 6,51^2} = 20,79 \text{ кВА}$$

Данные нагрузки модернизированного освещения будут учитываться при КРМ и выборе новых силовых трансформаторов ТП.

Рассчитаем годовую экономию электрической энергии после внедрения данного мероприятия на примере объединено-вспомогательного корпуса. На текущий момент установлены газоразрядные лампы НВА500, потребляемая мощность одной лампы 400 Вт, режим работы круглосуточный. Предлагается замена ламп на светодиодные светильники марки 5·WebStar-105W мощностью 105 Вт.

Таким образом, экономия электрической энергии будет рассчитываться по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{эк}} = (P_{\text{гл}} - P_{\text{сд}}) \cdot \tau \cdot n, \quad (9)$$

где  $P_{\text{гл}}$ -мощность газоразрядной лампы, Вт;

$P_{\text{сд}}$ -мощность светодиодного светильника, Вт;

$\tau$ -число часов работы освещения;

$n$ -количество светильников.

$$\mathcal{E}_{\text{эк}} = (400 - 105) \cdot 31 = 9\,145 \text{ кВтч.}$$

Данные по экономии электроэнергии при замене осветительных приборов отражены в таблице 2.

Таблица 2 – Экономия электроэнергии при внедрении светодиодов

Помещения	Марка текущего светильника	Мощность текущего светильника, кВт	Марка нового светильника	Мощность нового светильника, кВт	Экономия э/э, кВт
Объединено-вспомогательный корпус	HBA500	400	WebStar-105W	105	9 145
Проходная	5STARS 1	150			90
Служебно-бытовой корпус	HBA500	400			1 180
Убежище	ДПП 07-130-50-Г60	130			50
Материальный склад	HBA500	400			885
ИТОГО					11 350

Модернизация системы освещения позволит сократить потребление электрической энергии на 99 426 тыс. кВтч в год.

## 2.2 Повышение энергоэффективности с помощью цифровых программируемых реле

В сфере электрических систем управления произошла революция с появлением программируемых реле (ПР). Поскольку технологии продолжают развиваться быстрыми темпами, невозможно переоценить необходимость в эффективных и универсальных механизмах контроля. В

основе этой революции лежат программируемые реле. Традиционно электрические реле играли решающую роль в системах управления, действуя как электрические переключатели, которые размыкают или замыкают цепи в электрической системе. Однако с развитием технологий эти традиционные реле уступили место ПР, обеспечивающим большую гибкость и контроль в работе системы. Программируемые реле, как следует из названия, представляют собой тип электрического реле, которое можно запрограммировать для выполнения определенных задач. В отличие от традиционных реле с фиксированной функцией, программируемые реле обеспечивают гибкость. Их можно запрограммировать на выполнение различных функций в зависимости от потребностей системы, в которую они интегрированы [10]. По сути, программируемые реле представляют собой миниатюрные программируемые логические контроллеры (ПЛК). Они оснащены встроенными программными интерфейсами и обладают возможностью одновременного управления несколькими устройствами. Это делает их идеальным выбором для небольших задач автоматизации, таких как системы управления освещением.

Истинная ценность программируемых реле заключается в их универсальности. Их можно перепрограммировать в соответствии с изменяющимися требованиями, что делает их экономичным решением для систем динамического управления. Это становится особенно очевидным, если рассматривать их использование в системах управления освещением.

Системы управления освещением прошли долгий путь от простых выключателей. Современные системы управления освещением представляют собой сложные системы, которые объединяют множество устройств и технологий для достижения эффективных и действенных решений в области освещения. В основе этих передовых систем управления лежат программируемые реле. Система управления освещением по существу управляет, контролирует и регулирует освещение в данной среде. Это может быть, как отдельная комната, так и целое здание или даже городская система

уличного освещения. Цель состоит в том, чтобы обеспечить необходимое количество света там, где и когда это необходимо, обеспечивая тем самым энергоэффективность и повышая комфорт и производительность обитателей. Роль ПР в этих системах первостепенна. Они обеспечивают гибкость и контроль, необходимые для эффективного управления различными сценариями освещения. Программируемые реле делают это возможным, будь то регулировка освещения в зависимости от присутствия людей, времени суток или любого другого параметра [18].

Программируемые реле находят широкий спектр применения в системах управления освещением. В жилых помещениях их можно использовать для автоматизации освещения в зависимости от распорядка дня жильцов. Например, их можно запрограммировать на включение света, когда жильцы просыпаются, и выключение его, когда они уходят на работу. В промышленных помещениях программируемые реле можно использовать для эффективного управления освещением в различных зонах. Их можно запрограммировать на регулировку освещения в зависимости от присутствия людей или активности в каждой зоне, обеспечивая таким образом оптимальные условия освещения в любое время. Уличное освещение – еще одна область, в которой программируемые реле проявляют себя с лучшей стороны. Их можно использовать для управления уличным освещением в зависимости от времени суток или условий движения, что приводит к значительной экономии энергии и повышению безопасности.

Будущее управления освещением выглядит многообещающим благодаря достижениям в области программируемых реле. С появлением интеллектуальных программируемых реле системы управления освещением становятся все более интеллектуальными и интуитивно понятными. Интеллектуальные ПР оснащены расширенными функциями, такими как удаленный доступ, профилактическое обслуживание и анализ данных. Они позволяют осуществлять мониторинг и управление системой освещения в режиме реального времени, тем самым повышая ее эффективность и

надежность. Более того, интеграция программируемых реле с технологией Интернета вещей (IoT) открывает путь к решениям интеллектуального освещения. Это позволяет подключить систему управления освещением к Интернету, обеспечивая дистанционное управление и автоматизацию.

Выбор правильного ПР для системы управления освещением имеет решающее значение для ее успеха. Выбор должен основываться на требованиях системы и функциях, предлагаемых программируемым реле. Некоторые ключевые факторы, которые следует учитывать, включают количество контролируемых устройств, сложность выполняемых задач, необходимость удаленного доступа и бюджет. Также важно учитывать простоту программирования и совместимость ПР с другими устройствами в системе. Благодаря правильному программируемому реле система управления освещением может полностью раскрыть свой потенциал, предлагая эффективные, действенные и инновационные решения в области освещения [23].

По итогу можно отметить, что в настоящее время играют ключевую роль в современных системах управления, особенно в управлении освещением. Их универсальность, гибкость и возможности управления делают их идеальным выбором для широкого спектра применений: от жилых и коммерческих помещений до уличного освещения.

Будущее управления освещением выглядит перспективным: достижения в области ПР открывают путь к интеллектуальным и интуитивно понятным решениям в области освещения. Поэтому понимание и использование возможностей ПР имеет решающее значение для всех, кто занимается проектированием и внедрением систем управления освещением. Ожидается, что по мере развития технологий роль ПР в управлении освещением будет расти, трансформируя решения в области освещения и формируя будущее управления освещением.

Таким образом, для освещения помещений потребителей СН предлагается использовать светодиодную систему освещения под

управлением программируемых реле (ПР). Это обеспечит максимальную энергоэффективность, удобство управления и комфортность пользования освещением.

Предлагается использовать современные программируемые реле, обеспечивающие точное цифровое программное управление любыми видами электроприемников. Структурная схема ПР приведена на рисунке 15.

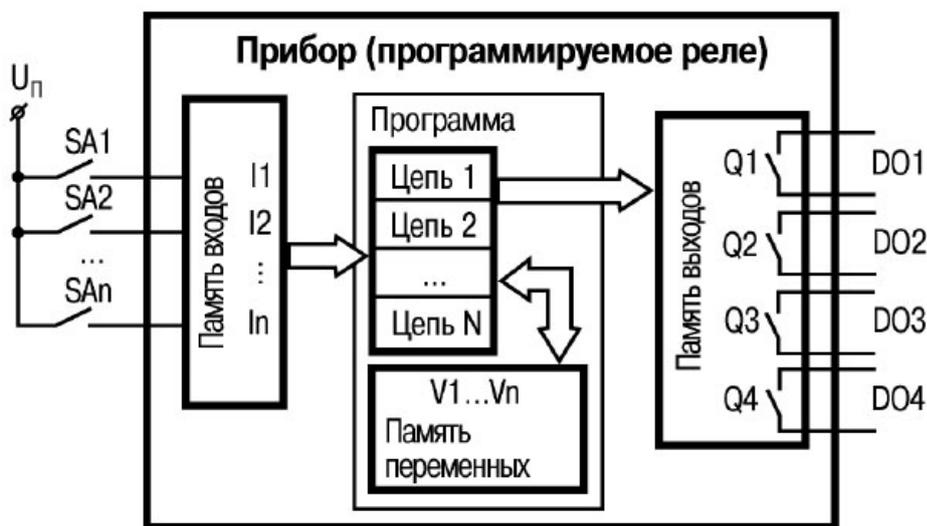


Рисунок 15 – Структурная схема ПР

На рассматриваемом объекте предлагается использовать реле ОВЕН ПР200, отличительные особенности:

- передовая схемотехника и технологический процесс производства;
- полная совместимость с современным производственным ПО и специализированными АСУ ТП отечественных и зарубежных производителей;
- компактный эргономичный корпус с креплением на DIN-рейку;
- современные интерфейсы связи Ethernet (RJ45), RS-485, USB;
- удобное, адаптивное ПО;
- готовые настраиваемые режимы энергосбережения для основных типов электроприемников;

– надежный отечественный поставщик и изготовитель.

На рисунке 16 показан внешний вид реле ОВЕН ПР200.



Рисунок 16 – Внешний вид ПР200

ОВЕН ПР200 – это программируемое реле, разработанное российской компанией ОВЕН. Оно предназначено для управления технологическими процессами в различных отраслях промышленности, ЖКХ и строительстве.

ПР позволяют автоматизировать процессы управления электрооборудованием, что снижает потери энергии из-за неправильного выбора режимов работы или несвоевременного переключения между источниками питания. Оптимизация работы электрооборудования уменьшает расход топлива на тепловых электростанциях, что ведет к уменьшению выбросов углекислого газа и других парниковых газов в атмосферу. Обеспечивается более точное управление параметрами работы оборудования, что позволяет избежать перегрузок и перегрева, а также снижает износ компонентов. ПР легко интегрируются в существующие системы управления и могут быть адаптированы для решения различных задач.

Окно настройки ПР показано на рисунке 17.

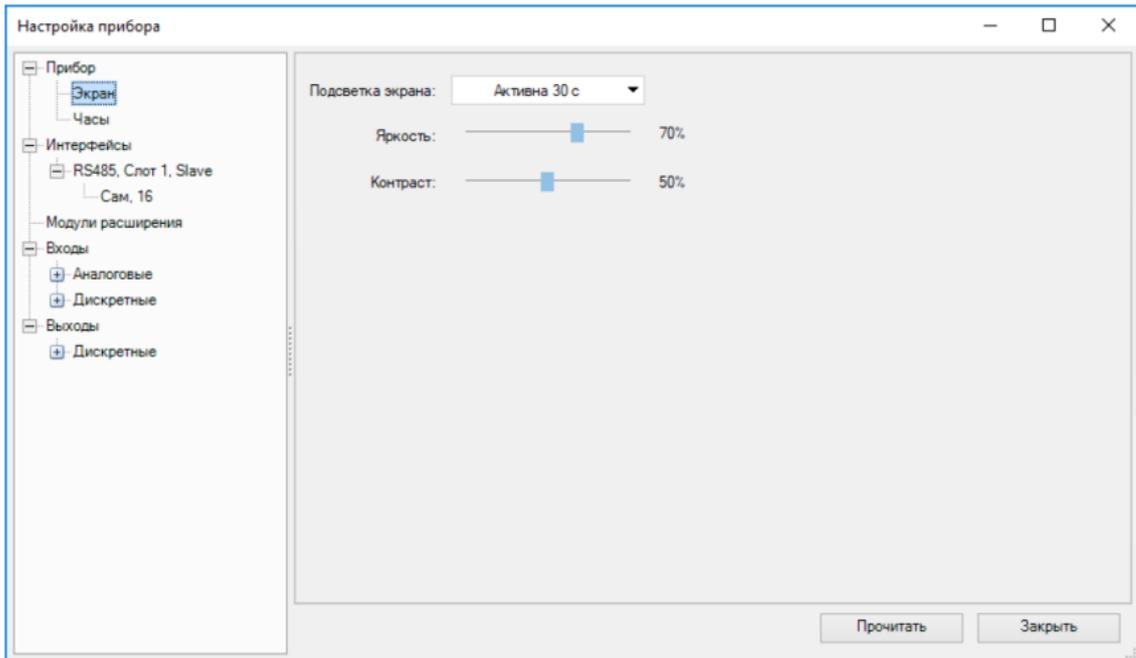


Рисунок 17 – Окно настройки ПР

Произведем анализ потребления электроэнергии после внедрения автоматизации контроля освещения, путем использования программируемых реле. Все светильники разбиты на группы дежурного и рабочего режима.

В год потребление одного светильника составит:

$$\mathcal{E}_{\text{свет}} = (P_{\text{деж}} \cdot T_{\text{деж}} + P_{\text{раб}} \cdot T_{\text{раб}}) \cdot \tau, \quad (10)$$

где  $P_{\text{деж}}$ -мощность светильника в дежурном режиме;

$T_{\text{деж}}$ -время работы светильника в дежурном режиме;

$P_{\text{раб}}$ -мощность светильника в рабочем режиме;

$T_{\text{раб}}$ -время работы в рабочем режиме;

$\tau$ -число дней в году.

Сводные данные по расчету отражены в таблице 3.

Таблица 3 – Экономия электрической энергии при внедрении ПР

Помещения	N, шт	Мощность дежурная, кВт	Мощность рабочая, кВт	Время дежурное, ч	Время рабочее, ч	Экономия э/э, тыс. кВтч
Объединено-вспомогательный корпус	31	21	105	16	8	13 306,44
Проходная	2	21	105	16	8	858,48
Служебно-бытовой корпус	4	21	105	3	5	858,48
Убежище	2	21	105	8	0	122,64
Материальный склад	3	21	105	6	2	367,92
ИТОГО						15 513,96

При использовании программируемых реле электропотребление за год составит 15 514 тыс. кВтч. При отсутствии реализации данного мероприятия электропотребление составляет 33 112 тыс. кВтч. Таким образом, экономия электрической энергии составит 17 598 тыс. кВтч за год.

### 2.3 Автоматическая компенсация реактивной мощности

КРМ может быть достигнута с помощью использования различных устройств, таких как конденсаторы, индуктивности или статические компенсаторы. Компенсация реактивной мощности играет важную роль в обеспечении эффективной работы электрических систем и снижении затрат на электроэнергию. Актуальные среднесменные нагрузки СН, без учета освещения: 12422,47 кВт, 6301,28 квар. С учетом нагрузок нового светодиодного освещения, нагрузки СН:

$$P_p = 12422,47 + 19,74 = 12442,21 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 6301,28 + 6,51 = 6307,80 \text{ квар}.$$

«КРМ производится до нормативного  $\cos \varphi = 0,95$ . Требуемая

мощность компенсирующих устройств (КУ):

$$Q_{к.у.} = 0,9 \cdot P_p \cdot (tg\varphi - tg\varphi_k), \quad (11)$$

где  $P_p$  – активная нагрузка, кВт;

$tg\varphi$  – тангенс угла  $\varphi$  до КРМ;

$tg\varphi_k$  – нормативное значение» [22].

$$Q_{к.у.} = 0,9 \cdot 12442,21 \cdot (0,507 - 0,33) = 1982 \text{ квар.}$$

На шинах 6 кВ устанавливается две автоматические КУ марки УКРМ-6,3-1350 по 1350 квар.

Автоматическая компенсация реактивной мощности (вар-компенсация или вар-контроль) – это процесс, при котором система управления регулирует количество и скорость генерации или потребления реактивной мощности для поддержания стабильного напряжения в электрической сети. Она используется в основном в промышленных и коммерческих установках, а также в системах электроснабжения зданий. Она позволяет снизить нагрузку на силовые трансформаторы, распределительные устройства и кабели, а также уменьшить потери электроэнергии, вызванные перетоками реактивной мощности. Система управления включает в себя датчики напряжения и тока, которые передают информацию о состоянии системы, а также контроллеры, которые обрабатывают эту информацию и отправляют команды на управляющие устройства, регулирующие генерацию или потребление реактивной мощности [16]. Внешний вид КУ – на рисунке 18.



Рисунок 18 – Установка КРМ

Относительная экономия электрической энергии составит:

$$\frac{W_{\text{эк}}}{W_{\text{год}}} = \left(1 - \frac{\cos^2 \varphi_1}{\cos^2 \varphi_2}\right) K_{\text{п}}, \quad (12)$$

где  $\cos^2 \varphi_1$ -величина коэффициента мощности до установки КРМ;

$\cos^2 \varphi_2$ - величина коэффициента мощности после установки КРМ;

$K_{\text{п}}$  –коэффициент потерь, принимаем 0,08.

Экономия электроэнергии после установки КРМ достигнет 1 %.

Далее выбираются энергоэффективные трансформаторы ТП.

#### 2.4 Замена силовых трансформаторов на энергоэффективные

С учетом нового светодиодного освещения, нагрузки будут составлять:

$$P_p = 931,27 + 19,74 = 951,01 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 444,08 + 6,51 = 450,59 \text{ квар},$$

$$S_p = \sqrt{951,01^2 + 450,59^2} = 1052,36 \text{ кВА}.$$

«Требуемая мощность трансформаторов:

$$S_m \geq K_{з.н.} \cdot S_p, \quad (13)$$

где  $K_{з.н.}$  – нормативный коэффициент загрузки;

$S_p$  – расчетная нагрузка, кВА» [6].

$$S_m \geq 0,7 \cdot 1052,36 = 736,7 \text{ кВА.}$$

Принимается два ТМГ12-1000.

«Проверка по загрузке в аварийном режиме:

$$K_{з.ав.} = \frac{S_{п.к.}}{S_m}, \quad (14)$$

где  $S_m$  – номинальная мощность трансформатора, кВА» [9].

$$K_{з.ав.} = \frac{1052,36}{1000} = 1,05 \leq 1,4.$$

Силовые трансформаторы марки ТМГ12-1000 характеризуются малыми потерями холостого хода и короткого замыкания. Определим потери в трансформаторе, полученные результаты внесем в таблицу 4.

Таблица 4 – Экономия электрической энергии при замене трансформаторов

Условия	Потери, кВт	Годовые потери, кВтч	Стоимость потерь в год, руб
До замены	86,705	472 542,25	519 796,48
После замены	66,344	361 574,80	397 732,28
Разница	20,361	110 967,45	122 064,20

Реализация замены силовых трансформаторов на энергоэффективные позволит снизить потери, что приведет к экономии электрической энергии на 165 304 кВт.

## **2.5 Реализация АСТУЭ, выбор оборудования АСТУЭ и программного обеспечения**

Эффективная организация технического учета электроэнергии позволит максимально оптимизировать общий технологический процесс и его электропотребление. Автоматический учет электроэнергии будет обеспечивать современной АСТУЭ на основе оборудования от АО «Энергомера» [24].

На отходящих фидерах ТП необходимо установить трансформаторы тока (ТТ). Трансформаторы тока используются для измерения и контроля тока в электрических цепях. Они преобразуют ток высокого напряжения в ток низкого напряжения, который затем может быть использован для измерения, защиты или управления системой. ТТ состоят из первичной обмотки, которая включается в цепь высокого напряжения, и вторичной обмотки, которая подключается к измерительным приборам или защитным устройствам. Первичная обмотка имеет множество витков провода, которые пропускают измеряемый ток. Вторичная обмотка имеет только один виток, и ее ток пропорционален току в первичной обмотке.

«Условия выбора ТТ:

$$U_{н.анп.} \geq U_{н.уст.}$$

$$I_{1н.} \geq I_{раб.мах.}$$

$$Z_n \geq Z_{2\Sigma}$$

Проверка на термическую и динамическую стойкость:

$$(k_{тер.} \cdot I_{1н.})^2 \cdot t_{тер.} \geq B_k \quad (15)$$

$$i_{дин.} = \kappa_{эд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{1н.} \geq i_y. \quad (16)$$

где  $\kappa_{тер.}$ ,  $\kappa_{эд}$  – кратности термической и динамической стойкости;

$I_{1н.}$  – номинальный первичный ток, кА» [10].

Выбор и проверка ТТ (ввод 6 кВ ТП).

Принимаются ТПЛ-10-М/1500, проверка по условиям:

$$U_{н.анп.} = 10 \text{ кВ} \geq U_{н.уст.} = 6 \text{ кВ},$$

$$I_{1н.} = 1500 \text{ А} \geq I_{раб.мах.} = 1267 \text{ А},$$

$$(95 \cdot 1,5)^2 \cdot 3 = 60919 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > 1,32 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$75 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,5 = 165,1 \text{ кА} > 3,181 \text{ кА}.$$

«Сопротивление вторичной нагрузки:

$$Z_{2\Sigma} = Z_{приб.} + Z_{пров.} + Z_{конт.} \quad (17)$$

где  $Z_{приб.}$ ,  $Z_{пров.}$ ,  $Z_{конт.}$  – сопротивления приборов, проводов и контактов, Ом.

$$Z_{пров.} = \frac{L_{пров.} \cdot \rho}{S_{пров.}}, \quad (18)$$

где  $L_{пров.}$  – длина проводов, м;

$\rho$  – удельное сопротивление проводов, Ом·мм<sup>2</sup>/м;

$S_{пров.}$  – сечение проводов, мм<sup>2</sup>.

$$Z_{приб.} = \frac{S_{приб.}}{I_{н,приб.}^2}, \quad (19)$$

где  $S_{\text{приб.}}$ ,  $I_{\text{н,приб.}}$  – мощность, В·А, и номинальный ток прибора, А»  
[10].

$$Z_{\text{приб.}} = \frac{1}{5^2} = 0,04 \text{ Ом.}$$

$$Z_{\text{пров.}} = \frac{25 \cdot 0,0175}{4} = 0,109 \text{ Ом}$$

$$Z_{2\Sigma} = 0,04 + 0,109 + 0,1 = 0,249 \text{ Ом.}$$

Погрешность ТТ при данном  $Z_{2\Sigma} < 10\%$  [21].

ТТ на фидерах 6 кВ, фидерах и вводах 0,4 кВ выбираются аналогично.

Интеграция ТП и ее электрооборудования в цифровую сеть предприятия.

«Вместо аналоговых стрелочных измерительных приборов принимаются к установке цифровые многофункциональные измерительные приборы (МИП) (MFU на рисунках) sm-963e, обеспечивающие передачу данных (напряжения, токи, мощности и т.д.) по интерфейсу RS-485 в общую цифровую сеть предприятия. Подключение приборов sm-963e осуществляется к УСПД через концентраторы RS-485 по протоколу Modbus. Схема сбора и передачи данных с шин 6 кВ ТП на диспетчерский пункт приведена на рисунке 19.

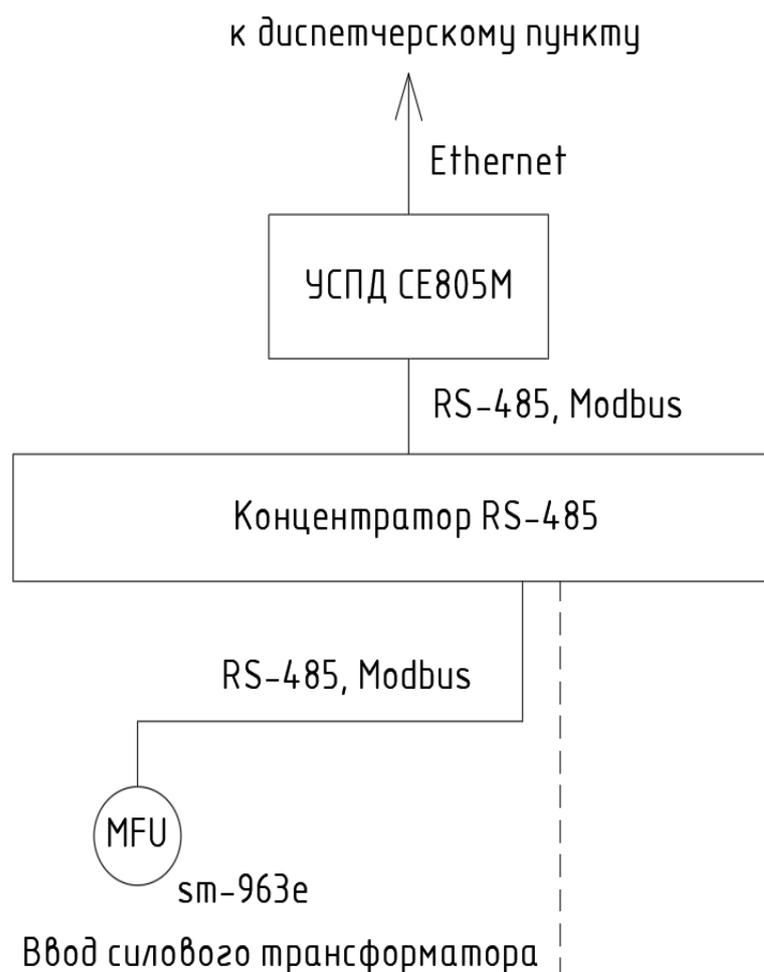


Рисунок 19 – Схема сбора и передачи данных с шин 6 кВ ТП

Учет электроэнергии и подключение потребителей ТП к системе АСТУЭ осуществляется счетчиками Энергомера СЕ 303, установленными на фидерах 6 и 0,4 кВ ТП и подключенными к устройствам сбора и передачи данных (УСПД) CE805M через концентраторы RS-485 по протоколу Modbus. УСПД и концентраторы установлены на каждой шине 6 и 0,4 кВ» [24].

«По результатам анализа данных счетчиков и МИП, установленных на шинах ВН и НН ТП, SCADA-система предприятия контролирует баланс прихода и отдачи активной, реактивной и полной мощности и электроэнергии, выявляя непредусмотренные и излишние потери мощности и электроэнергии. Онлайн-мониторинг баланса мощности и электроэнергии позволяет эффективно оповещать персонал предприятия о нарушениях

режимов электроснабжения и электропотребления, предупреждая аварийные ситуации и минимизируя риск травматизма. Схема сбора и передачи данных с шин 0,4 кВ ТП приведена на рисунке 20.» [24].

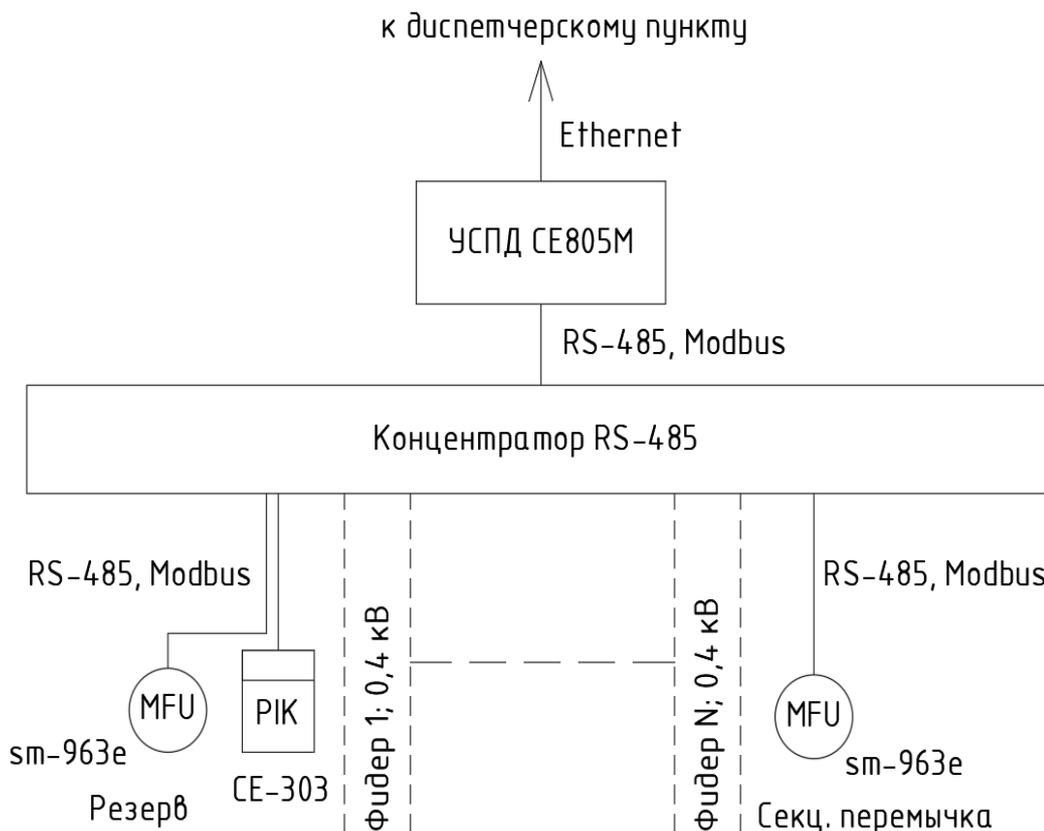


Рисунок 20 – Схема сбора и передачи данных с шин 0,4 кВ ТП

Мониторинг состояния силового трансформатора ТП является важным аспектом в обеспечении надежной и стабильной работы электроэнергетической системы. Он включает в себя контроль параметров трансформатора, таких как температура, напряжение, ток, частота и коэффициент мощности, также в случае необходимости можно вывести ряд дополнительных параметров.

Окно мониторинга состояния силового трансформатора ТП показано на рисунке 21.

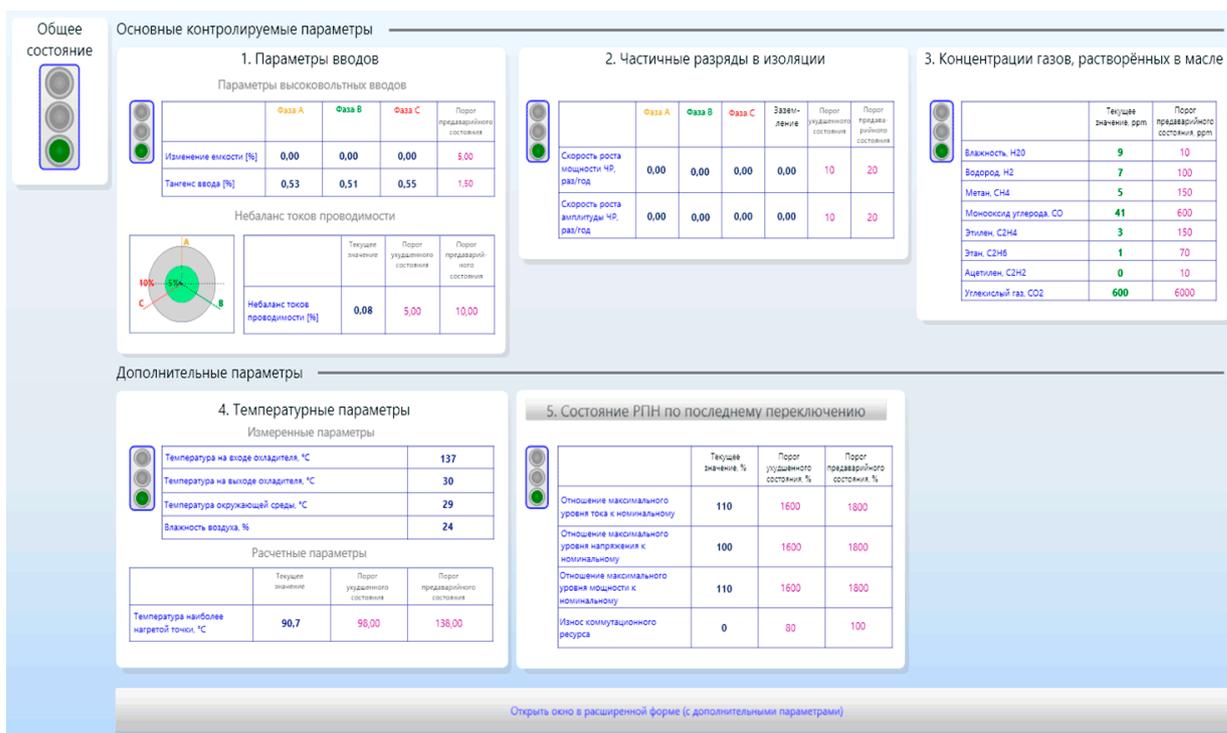


Рисунок 21 – Окно мониторинга состояния силового трансформатора ТП

## Выбор оборудования АСТУЭ.

«Предприятию требуется обеспечить максимальную энергоэффективность технологических процессов и мониторинг нормативного электропотребления производственного оборудования для предотвращения ненормативных и аварийных режимов работы. Реализация современной АСТУЭ позволит обеспечить непрерывный мониторинг электропотребления по всем потребителям, обеспечить максимальную общую энергоэффективность технологических процессов, оптимизировать общий график электропотребления с энергосистемой. В составе АСТУЭ используется следующее оборудование: счетчики СЕ 201, СЕ 303, УСПД СЕ 805М, PLC-модем. Учет электроэнергии и подключение потребителей к системе АСТУЭ осуществляется счетчиками, установленными на вводах РП производственных участков. Программное управление позволяет вести точный учет потерь, профилей мощности нагрузки, а также учитывать специфику электропотребления каждого конкретного потребителя. Также

обеспечивается мониторинг основных показателей электропотребления и качества электроэнергии. УСПД и концентраторы установлены на каждой секции шин» [24].

Оборудование АСТУЭ приведено на рисунке 22.



Рисунок 22 – Оборудование АСТУЭ

«Для организации центра обработки информации (ЦОИ) используем центральный сервер предприятия Huperion RS230 G4. Программные средства ЦОИ содержат специализированное ПО сEnergо 4.7, которое обеспечивает создание, настройку и администрирование всех необходимых для эффективной работы АСТУЭ баз данных и файлов. Информационно-измерительные средства АСТУЭ сEnergо 4.7 внесены в Госреестр средств измерений под № 52208-12. Имеется декларация соответствия требованиям ГОСТ Р: № РОСС RU.AB67.Д00772» [24]. Типовой суточный график электропотребления показан на рисунке 23.

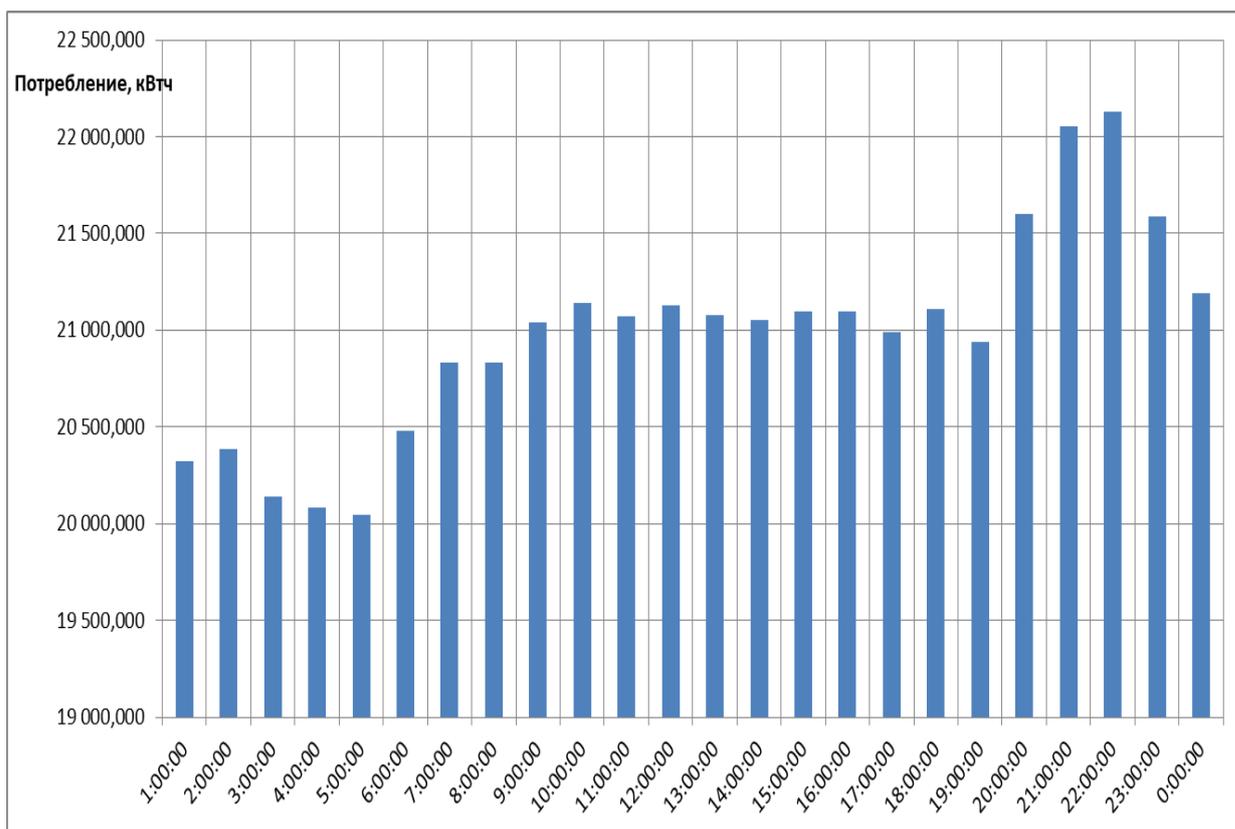


Рисунок 23 – Типовой суточный график электропотребления

Суточный график электропотребления представляет собой график, который показывает потребление электроэнергии в течение суток. Этот график позволяет определить пиковые периоды потребления электроэнергии и использовать эту информацию для оптимизации работы энергосистемы. Например, если известно, что наибольшее потребление электроэнергии происходит в дневное время, то можно увеличить выработку электроэнергии в это время. Кроме того, суточный график электропотребления позволяет определить, когда происходят перебои в подаче электроэнергии, и принять меры для их устранения. Например, если на графике видно, что происходит резкое снижение потребления электроэнергии, то это может указывать на отключение части потребителей или нарушение работы системы.

Оптимизация производственного процесса согласно графику питающей электрической сети позволяет обеспечить максимальный КПД и энергосбережение при работе потребителей СН.

## 2.6 Реализация интеллектуального управления, концепции «Smart Grid»

«Smart Grid» – это современная концепция управления электрической сетью, которая предполагает интеграцию информационных и коммуникационных технологий для оптимизации ее работы. Она включает в себя системы автоматического регулирования напряжения, управления потоками мощности, анализа данных о потреблении энергии и т.д. Реализация интеллектуального управления в рамках концепции «Smart Grid» позволяет существенно повысить эффективность использования электроэнергии, снизить потери и улучшить качество электроснабжения потребителей.

«Для управления потребителями СН будет использоваться SCADA-система ЭНТЕК, адаптированная к Smart Grid. Данное ПО разработано для внедрения систем коммерческого и технического учета энергоресурсов, энергомониторинга, телемеханики, АСУ ТП, MES, задач учета и диспетчеризации объектов энергетики, промышленности, ЖКХ и зданий. Это современный, инновационный мощный и удобный инструмент для быстрого и качественного внедрения систем. В нем воплощен опыт разработчиков и внедренцев в области создания программных продуктов для систем автоматизации самых разных объектов и их групп. Архитектурные решения, положенные в основу ПО позволяют управлять с большим числом автоматизируемых объектов и количеством телепараметров. ПО имеет сравнительно невысокий порог обучения для технических специалистов. В среде конфигурирования максимальное внимание уделено возможности обработки параметров группами – групповые операции по настройке механизмов формирования аварийных сообщений, групповые операции по настройке ведения баз данных истории, объектовые элементы для создания диспетчерского интерфейса, позволяющие осуществлять привязку целиком к

группе параметров, сформированную в среде ENLOGIC IDE (к группам Контроллер ячейки, Счетчик, блок РЗА и т.д.)» [11].

На рисунке 24 показана сетевая архитектура программного комплекса.

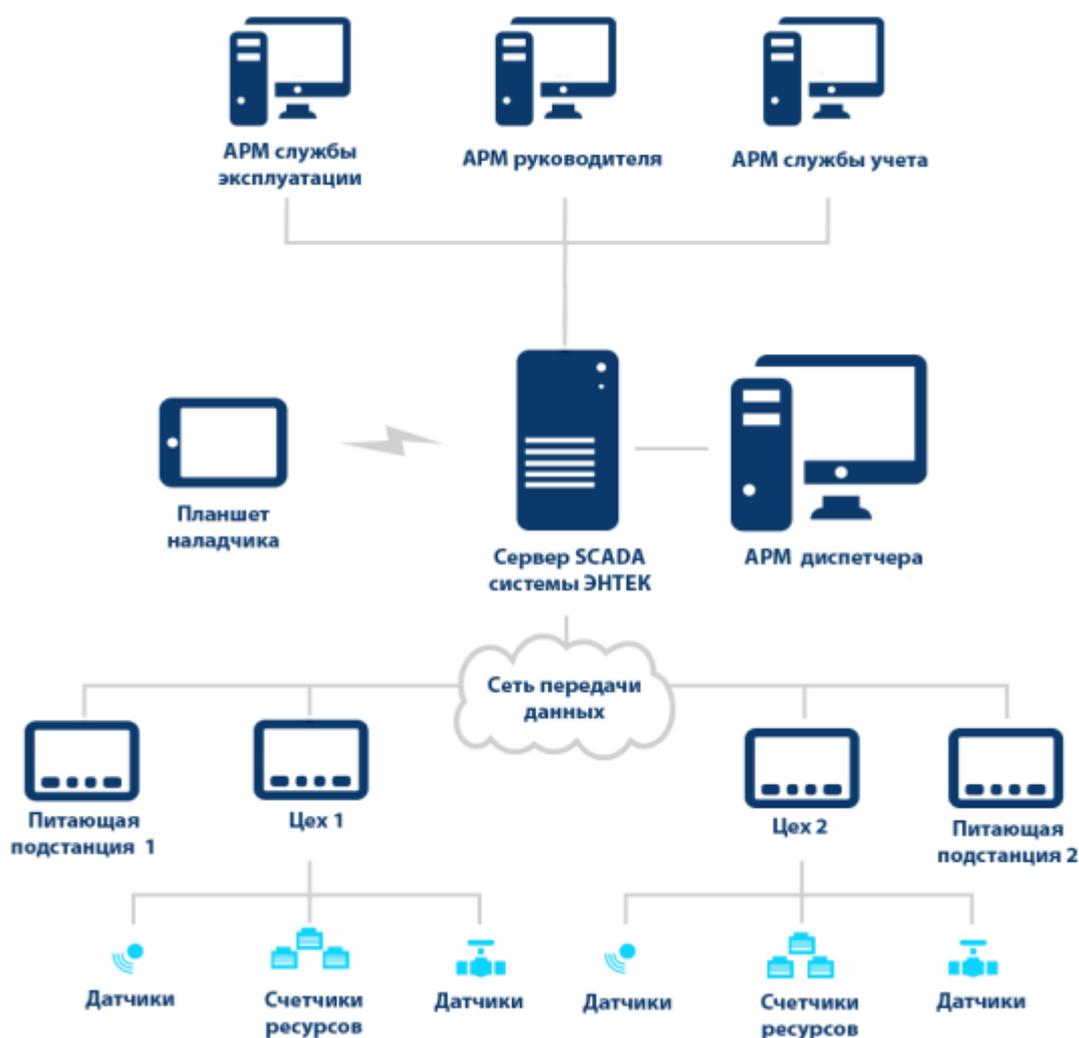


Рисунок 24 – Сетевая архитектура

Применение современной SCADA-системы обеспечит централизованное управление технологическими процессами СН и всеми электроприемниками и управляющими устройствами. Это обеспечит максимальное согласование между всеми потребителями и наибольший КПД всего технологического процесса.

Внедрение SCADA-систем и АСТУЭ на объектах энергетики на основании открытых данных предприятий оказало эффект снижения электрической энергии на 30%. Реализация технического учета на ТЭЦ позволила выявлять потери электрической энергии, контролировать и отслеживать распределение затрат, а также повысить достоверность и качество планирования на будущий год.

## **2.7 Повышение энергоэффективности с помощью внедрения частотных преобразователей в состав электроприводов**

Использование преобразователей частоты (ПЧ) в электроприводах дает многочисленные преимущества с точки зрения энергоэффективности. Во-первых, ПЧ позволяют двигателям работать с переменной скоростью, что позволяет лучше согласовывать скорость двигателя с требованиями нагрузки. Это приводит к значительной экономии энергии, поскольку двигатель потребляет только ту энергию, которая необходима для выполнения поставленной задачи. Во-вторых, ПЧ обеспечивают плавный пуск и остановку двигателя, снижая механическую нагрузку на двигатель и продлевая срок его службы. Кроме того, преобразователи частоты предлагают расширенные функции управления двигателем, такие как управление крутящим моментом и синхронизация скорости, что еще больше повышает энергоэффективность. В целом использование ПЧ в электроприводах может привести к существенной экономии энергии, снижению эксплуатационных затрат и уменьшению воздействия на окружающую среду.

Схема управления электроприводами с ПЧ показана на рисунке 25.

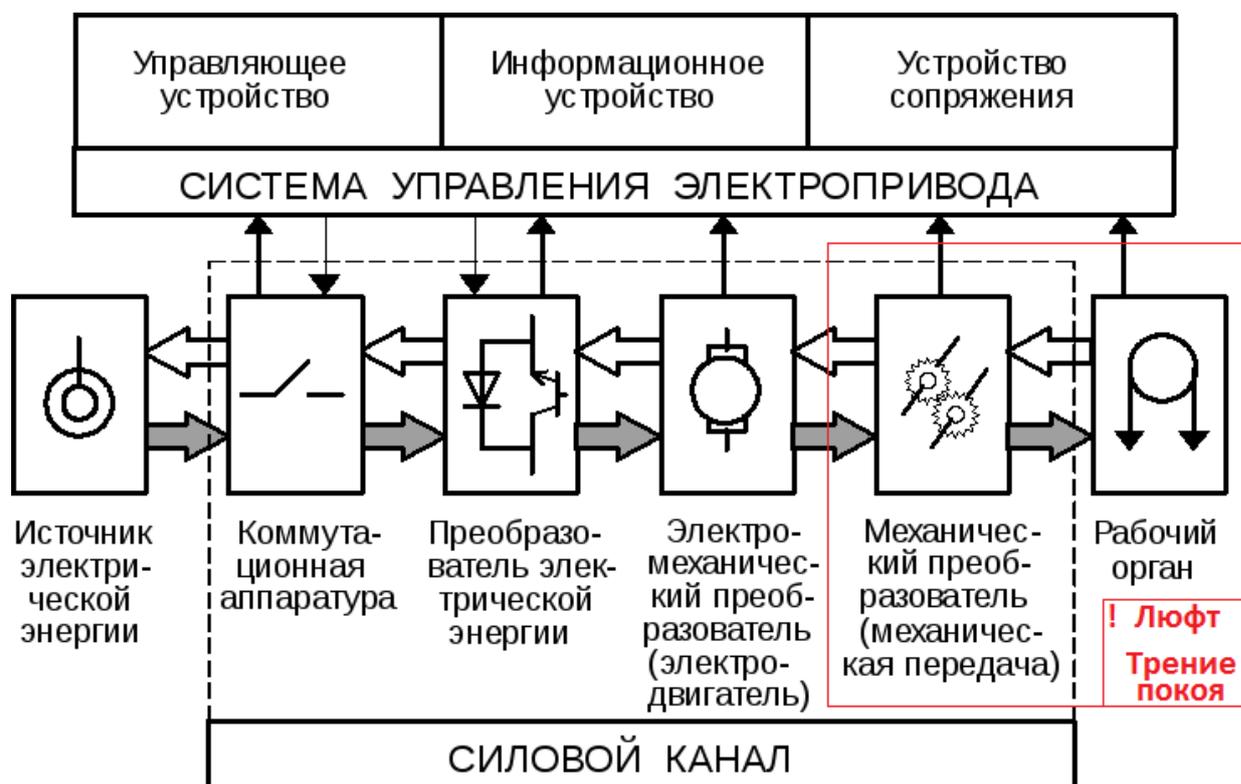


Рисунок 25 – Схема управления электроприводами

В настоящее время, в составе систем управления электроприводами, частотные преобразователи позволяют эффективно управлять производственными механизмами, значительно повышая их энергоэффективность и снижая себестоимость технологических и производственных процессов.

Несколько тематических исследований продемонстрировали эффективность преобразователей частоты в повышении энергоэффективности. Одним из таких примеров является станция очистки сточных вод, в электроприводах которой реализованы ПЧ. Регулируя скорость двигателей в зависимости от фактической нагрузки, установка смогла снизить потребление энергии на 30%. Другой практический пример касался установки ПЧ в системе вентиляции коммерческого здания. Система могла автоматически регулировать скорость вентилятора в зависимости от занятости и качества воздуха, что приводило к экономии энергии до 40%.

Эти примеры подчеркивают значительное повышение энергоэффективности, которого можно достичь за счет использования преобразователей частоты в различных приложениях.

На рисунке 26 показана зависимость суммарной мощности сетевых насосов от расхода сетевой воды.

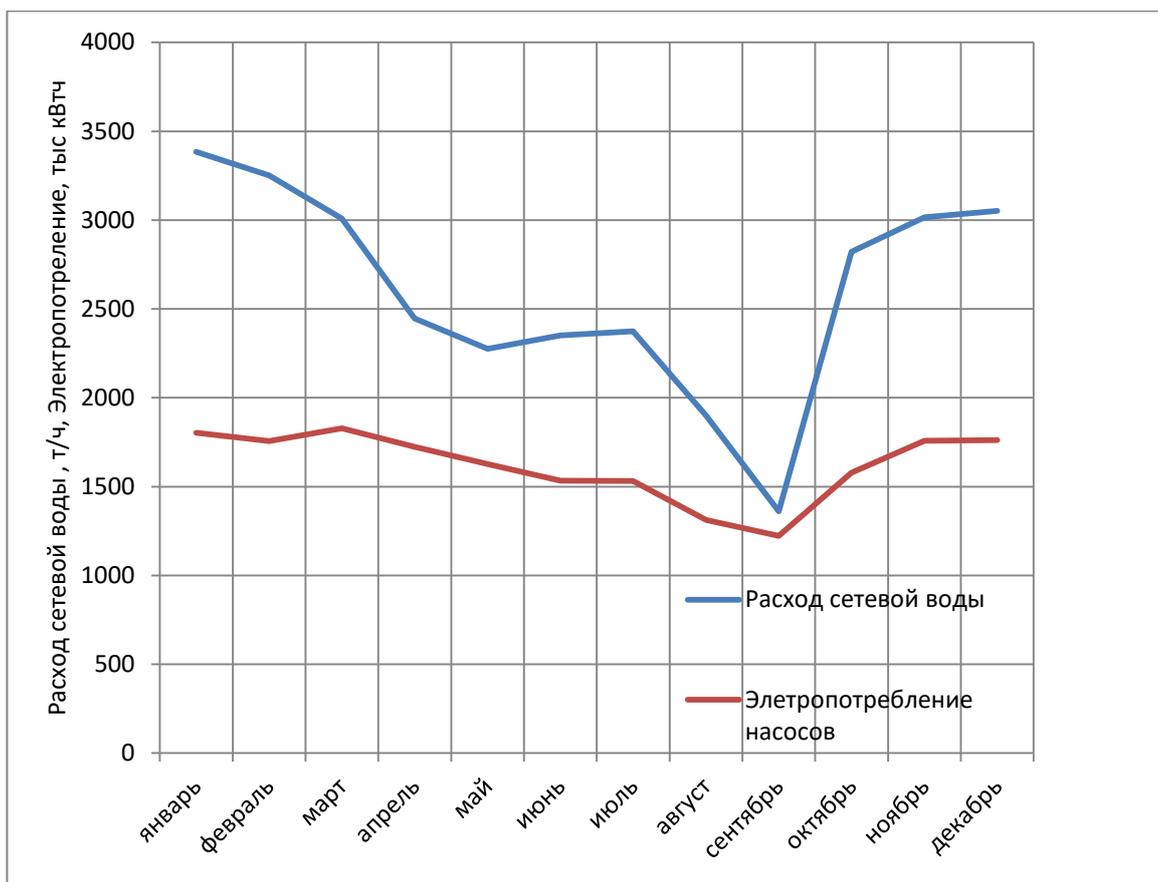


Рисунок 26 – Месячный расход сетевой воды в течение 2022 года

На основании данных зависимостей можно сделать вывод, что средняя мощность всех сетевых насосов находится в пределах 4000 кВтч, что соответствует 3 работающим агрегатам, один из которых находится в недогруженном состоянии, при этом следует отметить, что при снижении водопотребления потребление электрической энергии меняется незначительно.

Исходя из номинальной мощности и напряжения питания электродвигателя предлагается установить ПЧ следующей марки: для сетевых насосов (ЭД мощностью 1250 кВт, 6 кВ): ПЧ марки РИТМ-В-1250-154-06-15.

Внешний вид ПЧ серии РИТМ-В (6 кВ) показан на рисунке 27.



Рисунок 27 – Внешний вид ПЧ серии РИТМ-В (6 кВ)

Входное переменное напряжение эффективно выпрямляется и сглаживается конденсаторными фильтрами. Под цифровым автоматизированным управлением по частоте, полученное постоянное напряжение преобразуется инвертором в переменное, при этом широкий и плавный диапазон изменения частоты обеспечивает очень эффективную и плавную регулировку работы электропривода с минимальными потерями энергии.

Устройство высоковольтного ПЧ показано на рисунке 28.

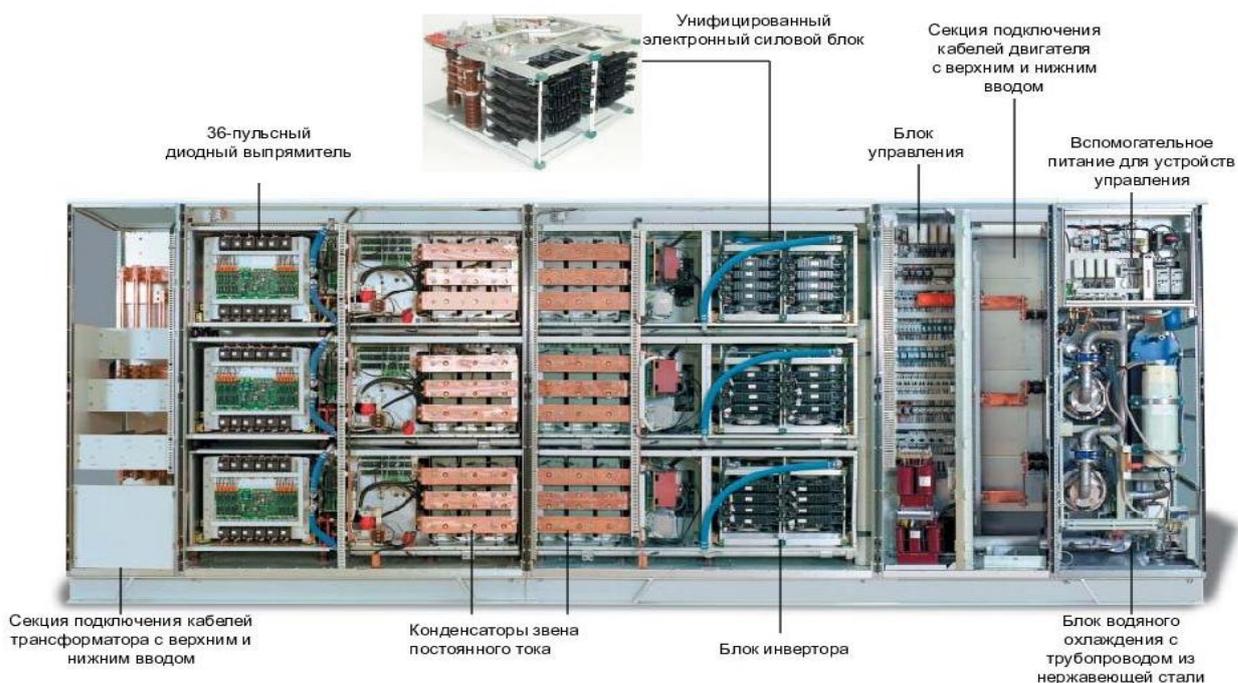


Рисунок 28 – Устройство высоковольтного ПЧ

## 2.8 Исследование энергоэффективности электропривода сетевых насосов до и после внедрения частотного преобразователя

На предприятии, в рамках планового энергоаудита, который осуществляется раз в четыре года специализированной организацией с оформлением энергетического паспорта объекта, проводилось экспериментальное исследование эффективности установки ПЧ для сетевого насоса для выявления возможности уменьшения потребления электрической энергии. Сетевые насосы, как и прочее оборудование СН с электроприводами, работают практически в непрерывном режиме, за исключением времени останова теплосети в ремонт, для обеспечения бесперебойной работы в отопительном сезоне, когда отпуск тепловой энергии и теплоносителя носит максимальный характер. Данные электропривода имеют очень существенную мощность, поэтому вопросы обеспечения максимальной энергоэффективности данных систем особенно важны и актуальны.

В действующей системе регулировка водяного потока выполняется дросселированием. Дросселирование – гашение части напора, создаваемого насосом, с помощью искусственно вводимого в напорную или всасывающую линию гидравлического сопротивления. Обычно дросселирование достигается частичным закрытием задвижки на напорном трубопроводе насоса. Требуемая мощность электропривода зависит от давления и расхода среды и определяется пересечением графиков кривых системы и насоса, что показано на рисунке 29.

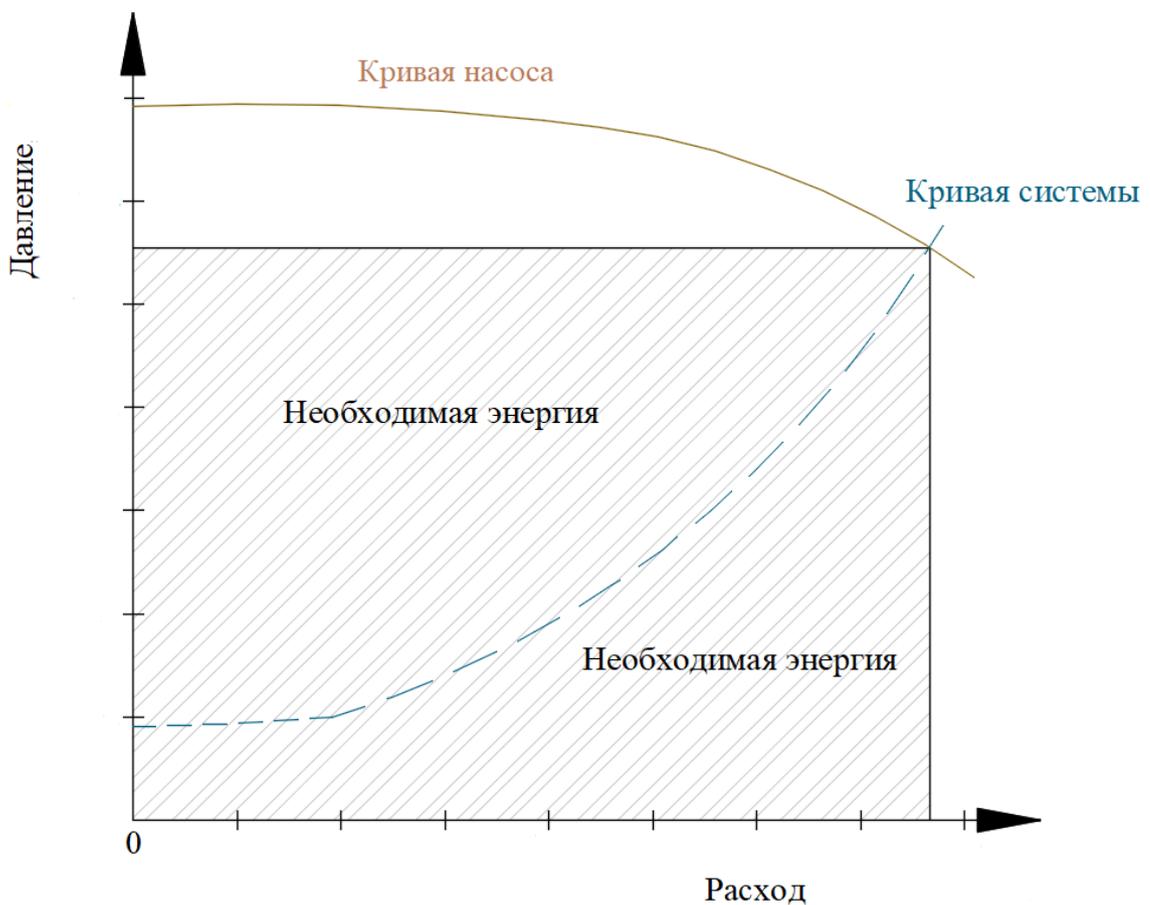


Рисунок 29 – Определение необходимой мощности ЭП вентилятора

Действующий способ регулировки потока основан на принудительном ограничении сечения канала дроссельной заслонкой, возникает отличие характеристик насоса и требуемого водяного потока, расход сети превышает

требуемое значение, что обуславливает значительные энергопотери, что показано на рисунке 30.

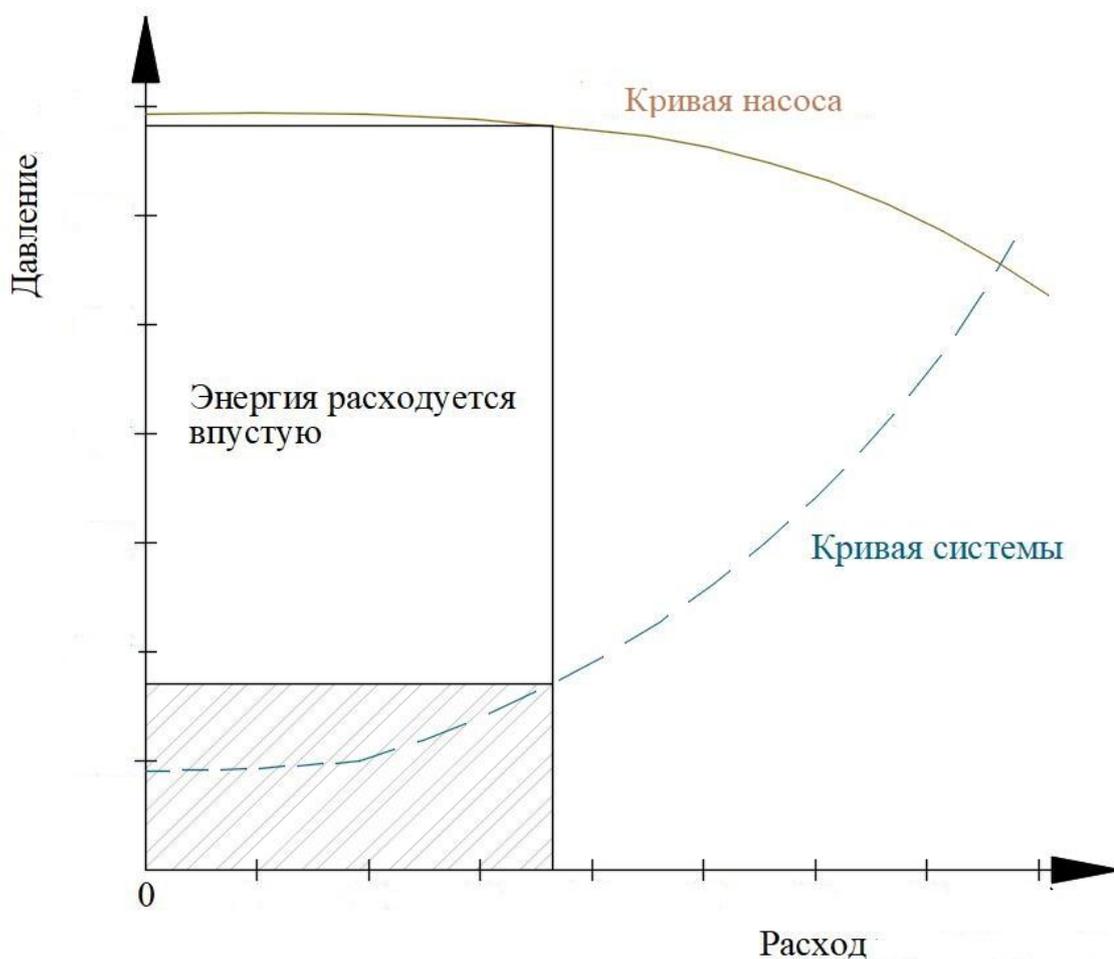


Рисунок 30 – Энергопотери в действующей системе

Применение частотного преобразователя позволяет непосредственно адаптировать частоту вращения рабочего органа насоса и потребляемую электроприводом мощность под необходимую интенсивность водяного потока (зависимость давления от расхода в подающей и потребляющей частях агрегата). При этом отсутствует принудительное ограничение сечения канала, происходит стабилизация давления в системе, увеличивается срок службы сетевого насоса и трубопроводов таким образом, данное мероприятие обеспечивает очень значительную экономию электрической энергии, что показано на рисунке 31.

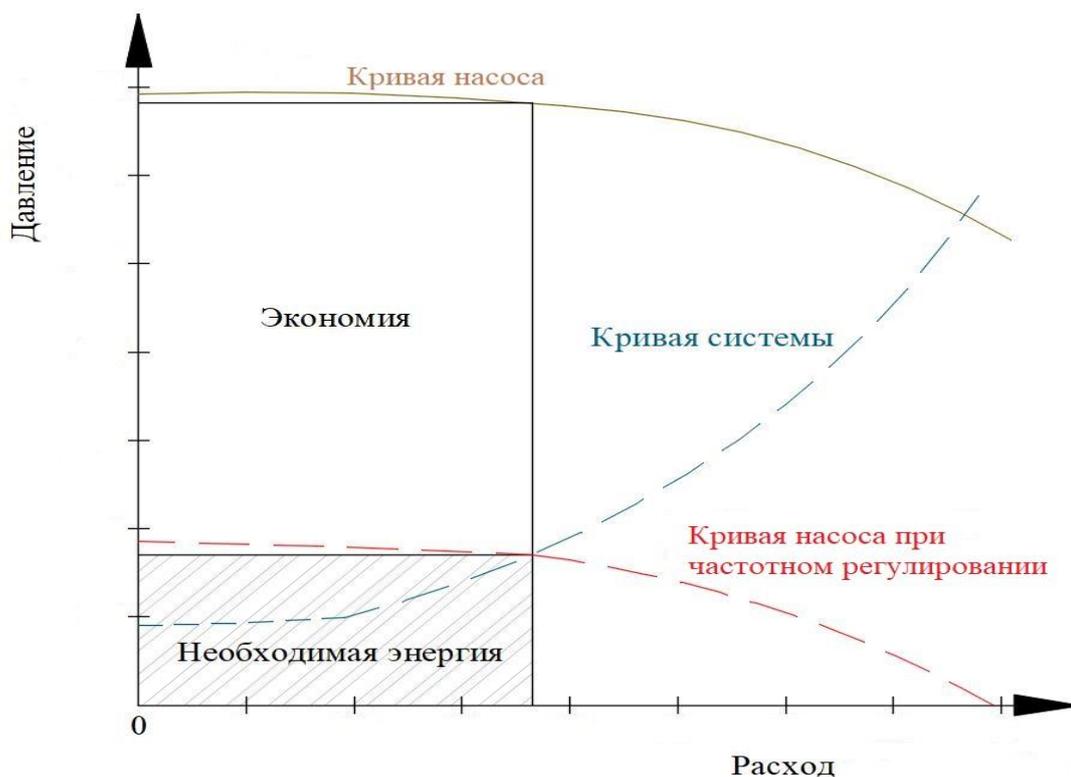


Рисунок 31 – Экономия энергии при частотном регулировании

Рассмотрим экономический эффект от внедрения ПЧ для сетевых насосов. Для этого необходимо провести сбор фактических данных 2022 года на основании показателей коммерческого учета энергетических ресурсов.

Мощность насоса, управляемого частотно-регулируемым приводом, рассчитывается по формуле:

$$P_H = G/G_{\text{НОМ}}^3 \cdot P_{\text{НОМ}}, \quad (20)$$

где  $G$  - фактическая производительность насоса по средним данным за 2022 год, м<sup>3</sup>/ч;

$G_{\text{НОМ}}$  - номинальная производительность насоса (паспортные данные), м<sup>3</sup>/ч;

$P_{\text{НОМ}}$  - номинальная электрическая мощность, кВт.

Мощность, которую потребляет электродвигатель насоса с преобразователем частота:

$$P_{\text{чрп}} = 100 \cdot P_{\text{н}} / \eta_{\text{чрп}}, \quad (21)$$

где  $\eta_{\text{чрп}}$  - коэффициент полезного действия преобразователя частоты на уровне 93 %.

Тогда достижимая экономия электроэнергии равна:

$$P_{\text{эк}} = P_{\text{факт}} - P_{\text{чрп}}, \quad (22)$$

где  $P_{\text{чрп}}$  - фактическая мощность сетевых насосов без ЧРП за 2022 год.

Произведем расчет для одного сетевого насоса, по данным 2022 года. Из таблицы 5 принимаем производительность насоса на уровне 1371 м<sup>3</sup>/ч.

Таблица 5 – Фактические данные по расходу сетевой воды

2022	расход сетевой воды, м <sup>3</sup> /ч	Число агрегатов в работе, шт	Средний расход воды через насос, м <sup>3</sup> /ч
январь	4 265	3	1 422
февраль	4 234	3	1 411
март	4 485	3	1 495
апрель	4 384	3	1 461
май	3 884	3	1 295
июнь	3 800	3	1 267
июль	3 892	3	1 297
август	3 597	3	1 199
сентябрь	4 075	3	1 358
октябрь	3 794	3	1 265
ноябрь	4 294	3	1 431
декабрь	4 655	3	1 552

$$P_H = 1371/2500^3 \cdot 1386 = 229 \text{ кВт}$$

Потребляемая мощность электродвигателя:

$$P_{\text{чрп}} = 100 \cdot 229/93 = 246 \text{ кВт}$$

Средняя мощность за 2022 год одного насоса на основании таблицы 6 составляет 1025 кВтч.

Таблица 6 – Мощность сетевых насосов за 2022 год

Мощность, кВтч	СН-11	СН-12	СН-13	СН-14
январь	1020	1048	974	1049
февраль	1021	1052	986	1075
март	1027	1058	978	1051
апрель	992	980	986	1059
май	1037	1064	965	1050
июнь	952	1017	981	1058
июль	1036	1050	975	1053
август	1031	1047	976	1066
сентябрь	1021	1056	985	1051
октябрь	1045	1058	993	1070
ноябрь	1040	1033	979	1063
декабрь	1026	1035	969	1060
Среднее значение	1021	1041	979	1059

Экономия мощности составит:

$$P_{\text{эк}} = 1025 - 246 = 779 \text{ кВт}$$

Учитывая постоянную работу трех сетевых насосов, суммарная экономия за год будет равна:

$$P_{\text{эксум}} = 779 \cdot 3 \cdot 8760 = 20\,472\,120 \text{ кВтч}$$

Экономия в денежном эквиваленте будет достигать 21 741 тыс. рублей/год.

Очевидна очень высокая технико-экономическая эффективность внедрения ПЧ в электроприводы сетевых насосов. Установка ПЧ в электроприводах может быть рекомендована для повышения энергетической эффективности системы собственных нужд АО «Юго-Западная ТЭЦ».

## **2.9 Внедрение системы энергетического менеджмента**

Система энергетического менеджмента на предприятии не внедрена. При этом некоторые стороны системы энергетического менеджмента реализованы:

- осуществляется коммерческий учет энергоресурсов;
- осуществляется мониторинг состояния оборудования;
- осуществляется анализ потребляемых ресурсов.

Но отсутствуют наработки, базы данных для проведения анализа и установления причин перерасхода электроэнергии на собственные нужды. Предлагаемое решение: выделение специальной штатной единицы для осуществления ежедневного контроля энергоресурсов, ведения базы в специальном ПО, проведения анализа получаемых результатов, разработки и внедрения энергосберегающих мероприятий.

В рамках своей работы энергоменеджер должен проводить мотивационные беседы с персоналом станции и рассказывать о важности энергосбережения.

Разработанная система энергетического менеджмента должна состоять из пяти систематических этапов: стратегия планирования; операционная стратегия; управление человеческими ресурсами; культурная стратегия и стратегия контроля.

Стратегия планирования включает в себя планирование потребления энергоресурсов, как на рабочем месте сотрудника, так и в рамках всего производства. Применяются гибкие инструменты для управления энергоэффективностью. Целевые показатели устанавливаются по проектным значениям в соответствии с наиболее успешной практикой, применяется расчетно-статистический метод, который определяет наиболее существенные факторы, влияющие на удельный расход энергоресурсов.

Операционная стратегия энергопотребления разрабатывается с учетом влияния внешних факторов на энергетические потребности предприятия, что является объективной основой изменения тенденций общей стратегии энергетической эффективности и энергосбережения. Операционная стратегия должна учитывать основные тенденции изменения внешней среды: спрос, предложения и цены на энергоресурсы. Это позволит предприятию быстро адаптироваться на основе энергетических потребностей.

Управление человеческими ресурсами заключается в обеспечении обучения, аттестации, вовлеченности, осведомленности политикой энергосбережения персонала ТЭЦ. Энергетический менеджер должен занять лидерскую позицию по данному вопросу, проводить систематические беседы, мотивацию и командную работу.

Культурная стратегия должна поддерживаться руководителями направлений и директором предприятия. Должно осуществляться внедрение системы непрерывного повышения культуры энергопотребления, бережливого производства. Безусловно, не менее важным является информирование работников о количестве и качестве реализованных проектов.

Стратегия контроля должна осуществляться по всем предыдущим пунктам. Данная система включает себя материальное поощрение по различным показателям.

При постановке задачи оптимизации использования энергетических ресурсов АО «Юго-Западная ТЭЦ» первоначально рассматривалось множество факторов, которые влияют на энергетическую эффективность. Для подробного анализа и выделения основных показателей была сформирована экспертная группа из числа работников АО «Юго-Западная ТЭЦ», которые выразили свои предпочтения на основе строго ранжирования.

С помощью коэффициента конкордации Кендэла, была оценена степень согласованности мнений. Коэффициент можно рассчитать по следующей формуле:

$$W = \frac{12D}{m^2(n^3 - n)}, \quad (23)$$

где D-сумма квадратов отклонений суммы рангов от их средней арифметической;  
n-число экспертов;  
m-число анализируемых порядковых переменных.

Сумма квадратов рангов рассчитывается по формуле:

$$D = \sum_1^n r^2 \frac{\sum_1^n r^2}{n}, \quad (24)$$

где r-ранг m-показателя n-эксперта.

В опросе принимали 32 эксперта и значение коэффициента составило 0,887, что свидетельствует об определенном согласии во мнениях. При значении коэффициента больше 0,5 проверяется гипотеза о неслучайности согласия экспертов по критерию Пирсона.

Критерий Пирсона определяется по формуле:

$$\chi = W \cdot m \cdot (x - 1), \quad (25)$$

где  $x$  - количество степеней свободы.

Критерий Пирсона составляет 124,16, что больше табличного значения и свидетельствует о не случайности совпадения мнений экспертов.

Для корректного отражения и последующих финансовых расчетов представим предлагаемый состав индикаторов исходя из весовых показателей в таблице 7.

Таблица 7 – Ранжированный состав индикаторов

Показатель	Весовой коэффициент
Энергосбережение производства	
Выполнение удельных расходов топлива на отпуск электрической и тепловой энергии	0,117
Выполнение норматива электропотребления	0,115
Выполнения норматива мощности собственных нужд	0,105
Выполнение норматива потребления энергоресурсов (вода, газ)	0,100
Выполнение экологических показателей	0,095
Отсутствие аварий в отчетном периоде	0,095
Энергосбережение зданий	
Рациональный принцип освещения	0,072
Рациональный принцип отопление	0,072
Энергосбережение человеческого капитала	
Эффективное использование бытовой и офисной техники	0,078
Прохождение обучения и аттестации в области энергосбережения	0,051
Соблюдение требований энергетической политики	0,100

Каждому весовому коэффициенту соответствует определенным процент премирования, таким образом, появляется прозрачность в понимании и достижении поставленных задач, заложенных в систему энергетического менеджмента.

Выводы по разделу 2.

Проведена разработка мероприятий по повышению энергетической эффективности системы собственных нужд АО «Юго-Западная ТЭЦ».

Для освещения помещений потребителей СН выбираются светодиодные светильники. Среди рассмотренных вариантов были выбраны образцы, в наибольшей степени приемлемые по соотношению цены и качества. Кроме того, данные светильники являются наиболее безопасными и долговечными. Их энергоэффективность составляет 110 лм/Вт, что более чем в 2 раза превышает аналогичную характеристику применявшихся прежде люминесцентных ламп низкого давления. Данные светильники будут использоваться, в том числе, в аккумуляторном помещении, где имеет место выход в атмосферу водорода, что создает опасность возгорания. Модернизация системы освещения, по предварительным расчетам, обеспечит экономию электроэнергии порядка 99 426 тыс. кВтч в год. Управление освещением с помощью программируемых реле приведет к снижению электропотребления на 17 598 тыс. кВтч в год.

На шинах 6 кВ, для компенсации реактивной мощности, устанавливается две автоматические КУ марки УКРМ-6,3-1350 по 1350 квар, что приведет к повышению коэффициента мощности до 0,95 и снижению электропотребления на 1%.

Устанавливаются два энергоэффективных силовых трансформатора марки ТМГ12-1000, при этом потери электрической энергии уменьшатся на 210 608 кВтч в год.

Повышена энергоэффективность привода сетевого насоса за счет оптимизации режима его работы путем установки частотно преобразователя

марки РИТМ-В-1250-154-06-15, что приведет к экономии электрической энергии 20 472 тыс. кВтч в год.

Автоматизация работы системы собственных нужд ТЭЦ за счет внедрения АСТУЭ на основе оборудования от АО «Энергомера и применение современной SCADA-системы обеспечит оптимизацию и централизованное управление технологическими процессами СН и всеми электроприемниками и управляющими устройствами. На основании опыта сторонних организаций данное мероприятие позволит повысить электропотребления на 30 %.

Для комплексной работы с данными и с персоналом предлагается к внедрению система энергетического менеджмента с выделением новой штатной единицы.

### 3 Оценка основных экономических показателей мероприятий по повышению энергетической эффективности

#### 3.1 Определение капиталовложений

Для оценки основных экономических показателей мероприятий по повышению энергетической эффективности, в первую очередь, необходимо определить суммарные капиталовложения в проект.

«Суммарная стоимость ЭО каждого типа:

$$C = C_{\text{ед}} \cdot n, \quad (26)$$

где  $C_{\text{ед}}$  – стоимость единицы ЭО, тыс.руб.;

$n$  – число единиц ЭО, шт (м)» [19].

Например, цена ТМГ12-1000/6 составляет 1167 тыс. руб. Суммарная стоимость данного типа ЭО:

$$C = 1167 \cdot 2 = 2334,0 \text{ тыс. руб.}$$

Итого суммарная стоимость всего ЭО:

$$\sum C = C_1 + C_2 + \dots C_i, \quad (27)$$

$$\sum C = 2334,0 + 2145,0 + \dots 147,2 = 23854,9 \text{ тыс. руб.}$$

Транспортные расходы (5% от стоимости ЭО):

$$C_{\text{тр}} = 0,05 \cdot \sum C, \quad (28)$$

$$C_{\text{тр}} = 0,05 \cdot 23854,9 = 1431,3 \text{ тыс. руб.}$$

Другие дополнительные расходы определяются аналогично, расчет сведен в таблицу 8.

Таблица 8 – Расчет сметной стоимости проекта

Оборудование	кол-во, шт (км)	Цена, тыс. руб.	∑ стоимость, тыс. руб.
ТМГ12-1000/6	2	1167	2334,0
ТПЛ-10-М	66	32,5	2145,0
ТШЛ-0,66	27	11,21	302,7
Т-0,66	153	2,15	329,0
СЕ 304	23	42,55	978,7
СЕ 303	37	10,40	384,8
УСПД СЕ 805	2	35,42	70,8
СЕ832С5	2	21,24	42,5
КВВГнг-5х4	0,311 км	256,4	79,7
Кабель КП.012-1795838-00	0,602 км	205,4	123,7
WebStar-105W	188	13,14	2470,3
УКРМ-6,3-1000	2	245,4	490,8
TDM-10/0,4	2	42	84,0
АСТУЭ комплект	1	205,4	205,4
sm-963e	42	20,49	860,6
ОВЕН ПР200	22	11,28	248,2
AFD-E370.43	10	128,28	1282,8
AFD-E075.43B	10	10,62	106,2
РИТМ-В-1250-154-06-15	4	611,45	2445,8
SCADA-система, ПО	1	147,2	147,2
Стоимость оборудования (СО)			15132,0
Стоимость тары и упаковки (6% от СО)			1431,3
Транспортные расходы (5% от СО)			1192,7
Складские расходы (0,5% от СО)			119,3
Стоимость монтажных работ (20 % от СО)			4771,0
Сметная прибыль 20%			9542,0
Итого			32188,3

Всего капиталовложения составят 32188,3 тыс. руб.

### 3.2 Определение расчетного экономического эффекта и ожидаемого срока окупаемости

На данный момент предприятие, ввиду технологического устаревания и низкой энергоэффективности оборудования в системе СН, несет существенные дополнительные экономические затраты, которые по данным энергоаудита, оставляют, в среднегодовом выражении 12422,41 тыс. руб./год. Текущие амортизационные отчисления (АО) для действующего заменяемого ЭО составляют 4874,64 тыс. руб./год.

«Расчет АО для нового ЭО:

$$O_{ам} = n_{ам} \cdot C_{о.ф.}, \quad (29)$$

где  $n_{ам}$  – норма АО, %;

$C_{о.ф.}$  – стоимость основных фондов, тыс. руб.» [19].

Для силового электротехнического ЭО:

$$O_{ам} = 0,07 \cdot 39813,6 = 2787,0 \text{ тыс. руб./год.}$$

Расчёт АО сведем в таблицу 9.

Таблица 9 – Расчёт амортизационных отчислений

Статьи затрат	Осн. фонды, тыс.р.	Норма АО, %	АО, тыс. р.
Силовое ЭО	39813,6	7,0	2787,0
Прочее	1097,6	2,4	26,3
Всего	40911,2		2813,3

Снижение АО после реконструкции:

$$\Delta O_{ам} = O_{ам1} - O_{ам}, \quad (30)$$

где  $O_{ам1}$  – текущие АО, тыс. руб./год.

$$\Delta O_{ам} = 4874,64 - 2813,3 = 2061,34 \text{ тыс. руб./год.}$$

«Прогнозируемый срок окупаемости:

$$T_{ок} = \frac{\sum C_{см}}{P_{доп} + \Delta O_{ам}}, \quad (31)$$

где  $\sum C_{см}$  – сметная стоимость проекта, тыс. руб.;

$P_{доп}$  – дополнительные среднегодовые расходы на эксплуатацию, ремонт и ТО действующего оборудования, ввиду технологического устаревания и износа (без учета АО), тыс.руб./год» [19].

$$T_{ок} = \frac{32188,3}{12422,41 + 2061,34} \approx 2,3 \text{ года}$$

Ожидаемый экономический эффект:

$$\mathcal{Э} = P_{доп} + \Delta O_{ам}, \quad (32)$$

$$\mathcal{Э} = 12422,41 + 2061,34 = 14483,75 \text{ тыс. руб./год.}$$

Выводы по разделу 3.

Реализация мероприятий по повышению энергетической эффективности системы собственных нужд АО «Юго-Западная ТЭЦ» обеспечит значительный экономический эффект около 14483,75 тыс. руб./год. Ожидаемый срок окупаемости мал и составляет 2,3 года. Очевидна высокая экономическая эффективность предлагаемых мероприятий и они планируются к реализации.

## Заключение

Повышение энергетической эффективности является важным направлением развития современной энергетики, так как позволяет снизить затраты на производство и транспортировку энергии, уменьшить выбросы вредных веществ в атмосферу и обеспечить устойчивое развитие экономики. Эффективное использование энергии позволяет сохранить природные ресурсы и снизить зависимость от импорта энергоносителей. Кроме того, повышение энергетической эффективности способствует созданию новых рабочих мест и развитию инновационных технологий в сфере энергетики.

Изучены возможности по повышению энергетической эффективности системы собственных нужд и проведена разработка комплекса соответствующих мероприятий.

Проведен анализ литературы по вопросам повышения энергетической эффективности на предприятиях энергетики, рассмотрены современные способы повышения энергетической эффективности. Проведен анализ действующей системы собственных нужд АО «Юго-Западная ТЭЦ» и ее энергетической эффективности. Освещение выполнено светильниками с люминесцентными, ртутными лампами и имеет низкую энергоэффективность. Управление интенсивностью работы систем водоснабжения обеспечивается дроссельными заслонками и регулирующими кранами, что обуславливает высокие потери энергии в данных системах и их низкий КПД. Общее управление электроприемниками имеет малую автоматизацию и плохую оптимизацию СЭС в целом. Отсутствует технический учет электропотребления. Управление освещением осуществляется вручную выключателями, автоматизация отсутствует. Не внедрена система энергетического менеджмента.

Очевидна необходимость повышения энергетической эффективности системы собственных нужд, для чего предложен комплекс мероприятий. Для освещения помещений потребителей СН выбираются светодиодные

светильники марки WebStar-105W, они имеют меньшую потребляемую мощность, таким образом, экономия электрической энергии будет 99 426 тыс. кВтч в год. Для освещения помещений потребителей СН предлагается использовать светодиодную систему освещения под управлением программируемых реле. Это обеспечит максимальную энергоэффективность, удобство управления и комфортность пользования освещением, а также обеспечит снижение электропотребления на 17 598 тыс. кВтч в год. На шинах 6 кВ, для компенсации реактивной мощности, устанавливаются две автоматические КУ марки УКРМ-6,3-1350 по 1350 квар, повысится коэффициент мощности до 0,95, а электропотребление снизится на 1 %. Устанавливаются два энергоэффективных силовых трансформатора марки ТМГ12-1000, что приведет к уменьшению потерь электрической энергии на 105 304 кВтч в год. Работа сетевых насосов будет контролироваться путем установки частотного преобразователя для электропривода. Данное мероприятие характеризуется снижением электропотребления на 20 472 тыс. кВтч в год. Эффективная организация технического учета электроэнергии позволит максимально оптимизировать общий технологический процесс и его электропотребление. Автоматический учет электроэнергии будет обеспечиваться современной АСТУЭ на основе оборудования от АО «Энергомера». Оптимизация производственного процесса согласно графику питающей электрической сети позволит обеспечить максимальный КПД и энергосбережение при работе потребителей СН. Оптимизация работы электрооборудования уменьшает расход топлива на тепловых электростанциях, что ведет к уменьшению выбросов углекислого газа и других парниковых газов в атмосферу. Обеспечивается более точное управление параметрами работы оборудования, что позволяет избежать перегрузок и перегрева, а также снижает износ компонентов. Применение современной SCADA-системы обеспечит централизованное управление технологическими процессами СН и всеми электроприемниками и управляющими устройствами. Это обеспечит максимальное согласование

между всеми потребителями и наибольший КПД всего технологического процесса. Разработка и внедрение системы энергетического менеджмента позволит улучшить данные мероприятия.

Практическое внедрение предложенного комплекса мероприятий по повышению энергетической эффективности системы собственных нужд АО «Юго-Западная ТЭЦ» обеспечит значительный экономический эффект около 14483,75 тыс.руб./год. Ожидаемый срок окупаемости мал и составляет 2,3 года. Очевидна высокая экономическая эффективность предлагаемых мероприятий, которые рекомендованы к реализации на предприятии.

Разработанные в магистерской диссертации организационно-технические предложения могут найти применение на других электростанциях и подстанциях. Полученные научные материалы могут найти применение в учебном процессе.

## Список используемых источников

1. Андрианов Д.П. Оптимизационные задачи электроснабжения : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2023. 156 с.
2. Бирюлин В.И. Электроснабжение промышленных и гражданских объектов : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 204 с.
3. Галишников Ю. П. Трансформаторы и электрические машины : курс лекций. М. : Инфра-Инженерия, 2021. 216 с.
4. Голов Р. С. Управление энергосбережением на промышленном предприятии: монография. М. : Дашков и К, 2023. 458 с.
5. Головатый С. Е. Охрана окружающей среды и энергосбережение : учебное пособие. Минск : РИПО, 2021. 304 с.
6. ГОСТ 14209-85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012414> (дата обращения 14.03.2024).
7. Грунтович Н. В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования : учебное пособие. М. : ИНФРА-М, 2023. 271 с.
8. Кобозев В.А. Качество электроэнергии и энергоэффективность систем электроснабжения потребителей : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 356 с.
9. Кобозев В. А. Электрические машины : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 480 с.
10. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.
11. Любарский Ю. Я. Интеллектуальные электрические сети: компьютерная поддержка диспетчерских решений : учебное пособие. М. : ИНФРА-М, 2022. 160 с.
12. Немировский А. Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2023. 176 с.

13. Поляков А. Е. Электрические машины, электропривод и системы интеллектуального управления электротехническими комплексами : учебное пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2023. 224 с.

14. Правила устройства электроустановок: действующие разделы 6-го и 7-го изданий. М. : ИНФРА-М, 2023. 832 с.

15. Протасевич А. М. Энергосбережение в системах теплогазоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха : учебное пособие. М. : ИНФРА-М, 2021. 286 с.

16. Сибикин Ю. Д. Современные электрические подстанции : учебное пособие. – 2-е изд., доп. М. : ИНФРА-М, 2023. 417 с.

17. Сибикин Ю. Д. Технология энергосбережения : учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. М. : ИНФРА-М, 2023. 336 с.

18. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение : учебное пособие. – 2-е изд., стер. М. : ИНФРА-М, 2023. 328 с.

19. Ушакова Е. О. Экономика : учебное пособие. Новосибирск : СГУГиТ, 2022. 64 с.

20. Шеховцов В. П. Осветительные установки промышленных и гражданских объектов : учебное пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2022. 158 с.

21. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению : учебное пособие. – 3-е изд. М. : ИНФРА-М, 2023. 136 с.

22. Щербаков Е.Ф. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях : учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2023. 495 с.

23. Школа для электрика. [Сайт]. – <http://electricalschool.info/> (дата обращения: 14.03.2024).

24. Энергомера. [Сайт]. – <http://www.energomera.ru/> (дата обращения: 15.03.2024).

25. Я энергетик. [Сайт]. – <https://yaenergetik.ru/> (дата обращения: 16.03.2024).

26. Biegelmeier G. Electro supply system. – Bulletin. Int. Sek IVSS Verhüt Arbeitsall und Berufskrankh Elek, 2020. 428 p.

27. Discussion on construction of green power grid enterprises. Zhang Hong; Guiyang Power Supply Bureau. Guizhou Electric Power Technolog. 2020-06. P 87–91.

28. Erkin Abduraimov. Development of contactless device for maintaining the rated voltage of power supply systems. AIP Conf. Proc. 2552, 040012, 2023.

29. European Technology Platform Smart Grids. Strategic Deployment Document for Europe's Electricity Networks of the Future. April, 2020. 305 p.

30. Smart Grid System Report. U. S. Department of Energy. July 2021.

Приложение А.

План системы электроснабжения собственных нужд Юго-Западной ТЭЦ

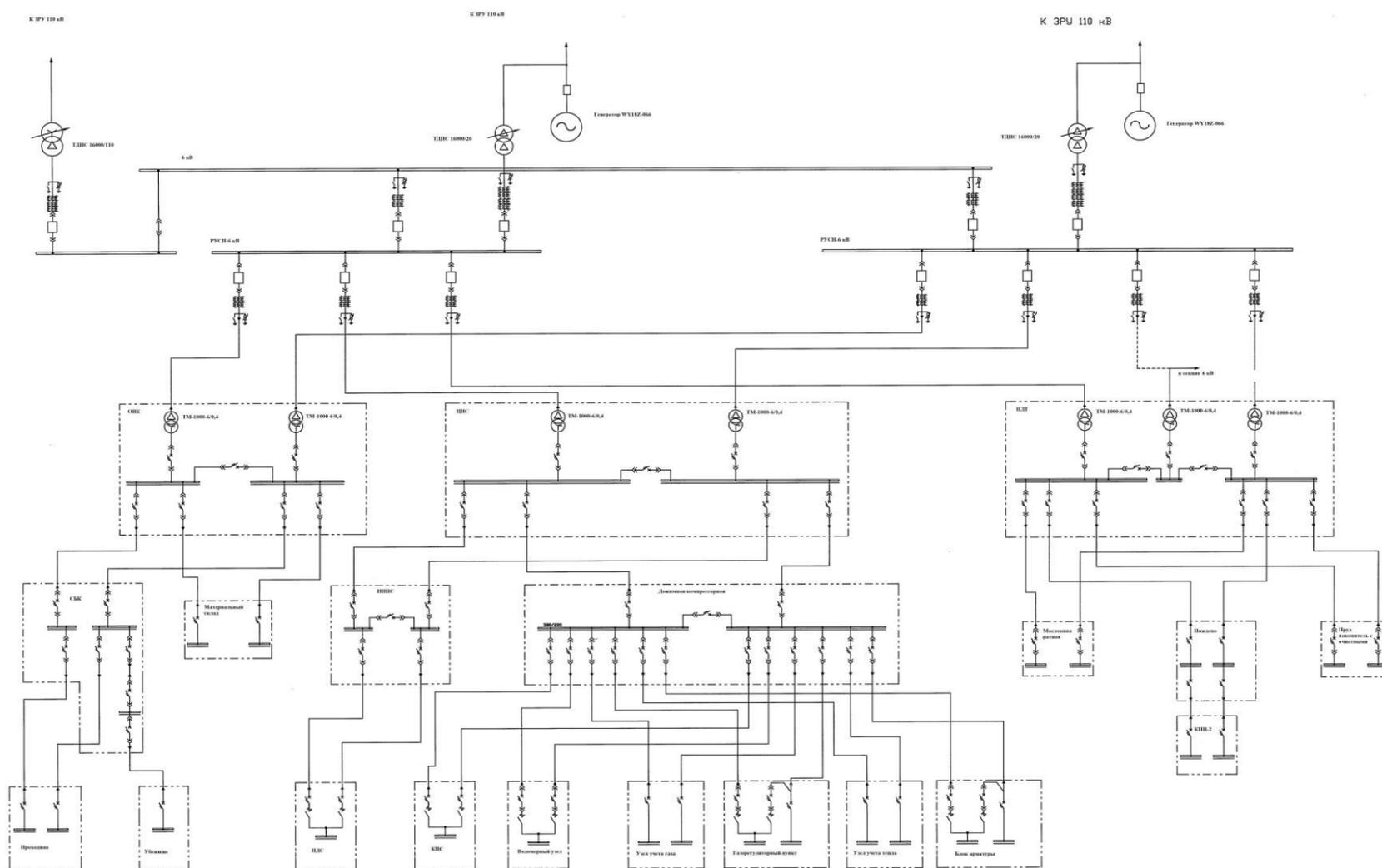


Рисунок А.1 – План системы электроснабжения собственных нужд