

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 энергоэффективности системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов

Обучающийся

С. Ю. Ильченко

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный  
руководитель

к.п.н., доцент, М. Н. Третьякова

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

Тольятти 2022

## Содержание

Введение.....	3
1 Анализ литературных источников по исследуемой проблеме.....	8
1.1 Основные цели и задачи повышения энергоэффективности .....	8
1.2 Алгоритм формирования программы повышения энергоэффективности на предприятиях .....	16
1.3 Структура и мероприятия программы энергетической эффективности .....	19
2. Разработка мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов .....	26
2.1 Общие сведения о станциях электрохимзащиты магистральных газопроводов.....	26
2.2 Характеристика системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов.....	29
2.3 Анализ мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов.....	33
3. Техничко-экономическое обоснование мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов.....	46
3.1 Техническое обоснование мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов.....	46
3.2 Экономическое обоснование мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов.....	62
Заключение .....	67
Список используемых источников .....	70

## Введение

Энергоэффективность при энергосбережении является одной из важнейших задач современной отечественной и мировой энергетики [1]. Известно, что одна треть мирового потребления энергии приходится на промышленность, и это отношение постоянно увеличивается [2].

Бесспорным является факт, состоящий в том, что повышение энергоэффективности является одним из основных государственных направлений и одной из важнейших задач не только в Российской Федерации, но и во всём мире в целом [29].

Известно, что энергетический ресурс, входящий в раздел затрат предприятия, при правильном методологическом подходе значительно улучшает энергетическую эффективность и уменьшает энергетические затраты [2].

Как показывает практика организации, которые разрабатывают и внедряют программы, повышающие энергетическую эффективность, а также разрабатывают и реализуют мероприятия по модернизации энергоустановок, снижают свои энергетические затраты более чем на 30% [5].

В данном вопросе пристальное внимание уделяется теоретической и методологической базе, связанной с анализом целей, задач, методов и мероприятий для их применения в системах электроснабжения предприятий [5].

Внимание акцентируется на разработках и внедрениях качественного алгоритма формирования программы повышения энергоэффективности на предприятиях [4].

В данном направлении исследованы работы следующих авторов, занимающихся подобными исследованиями: Арутюнян А.А., Булатов И. С., Гуськова Н.Д., Ульяновкин О.В., Железко Ю.В., Воротницкий В.В., Макаров Е. Ф., Войтов О. Н., J. Anthony, E. Mills и другие.

Первый магистральный газопровод был запущен в работу 11 сентября 1946 и соединял месторождения газа в Саратовской и Сталинградской областях и Москвой.

После открытия месторождений Сибири, Якутии, и Крайнего севера появилась необходимость строительства более протяженных магистралей. Для защиты от коррозии стальных труб было решено внедрять ранее успешно применяемый способ сдвига потенциала трубы в отрицательную сторону.

Краснотурьинское ЛПУМГ является транспортной частью производственного комплекса по снабжению природным газом как внутренних потребителей, так и для организации экспорта ископаемых предельных углеводородов. Газотранспортная система же является опасным производственным объектом первого класса (чрезвычайно высокой опасности) по классификации федеральным законом №116 от 21.07.1997 «О промышленной безопасности», поэтому защита от коррозии объектов магистральных газопроводов является одним из основных направлений производственной деятельности газовой промышленности по обеспечению бесперебойной и надежной работы газотранспортной системы Российской Федерации.

Для обеспечения защиты на протяжении всей транспортной магистрали применяются установки катодной защиты (УКЗ), состоящие из комплектной трансформаторной подстанции (КТП УКЗ) и станций катодной защиты. Электроснабжения станции осуществляется через КТП от проходящей вдоль коридора транспортной системы воздушной линии 10 кВ.

В связи с тем, что строительство воздушной линии и монтаж КТП УКЗ производилось в восьмидесятых-девяностых годах прошлого столетия, а капитальные ремонты проводились не регулярно, оборудование КТП и ВЛ на данный момент физически и морально устарело и не соответствуют современным требованиям. И как следствие не способно работать эффективно с точки зрения энергосбережения и экономической эффективности.

В связи с вышесказанным можно сделать вывод о необходимости проведения мероприятий по повышению энергоэффективности электроснабжения установок электрохимзащиты магистральных газопроводов. Следовательно, вопросы, связанные с повышением энергоэффективности систем электроснабжения, которые рассматриваются и исследуются в работе, носят актуальный характер.

Целью диссертационной работы является повышение энергоэффективности системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ за счёт модернизации электрических сетей и оборудования.

Объектом исследования является система электроснабжения предприятия ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ.

Предметом исследования являются система электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов предприятия ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ.

Гипотеза исследования состоит в том, что повышение энергоэффективности системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов будет, если:

- внедрять современные энергосберегающие технологии и передовые технические и технологические решения в системах электроснабжения объектов;
- добиться оптимальной загрузки оборудования, в результате чего произвести замену данного оборудования на оборудование меньшей мощности, благодаря чему уменьшатся технические потери электроэнергии в оборудовании;
- использовать современные марки проводников с меньшим удельным сопротивлением, благодаря чему уменьшатся нагрузочные потери электроэнергии;

– использовать современные марки силовых трансформаторов, выбирая их по нагрузочной способности, благодаря чему уменьшаются нагрузочные потери в трансформаторах.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие основные задачи:

– провести детальный анализ литературных источников по исследуемой проблеме энергетической эффективности в системах электроснабжения предприятий;

– разработать комплекс мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов;

– провести технико-экономическое обоснование предложенных мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов объекта исследования.

При выполнении работы в основном используются аналитический метод и методы расчета электрических цепей.

Научная новизна работы состоит в следующем:

– показано, что разработанный комплекс мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов требует комплексного и индивидуального подхода и может использоваться непосредственно в целях энергосбережения объекта исследования и на аналогичных объектах;

– показано, что мероприятия по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов эффективны с технической стороны и приводят к существенному повышению технических характеристик, в частности, улучшению надёжности и качества электроэнергии, а также уменьшению технических потерь электроэнергии;

– показано, что мероприятия по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов эффективны экономически и приводят к существенной экономии денежных средств за счёт значительного уменьшения энергопотребления и сокращения оплаты за ресурсы.

Теоретическая значимость работы заключается в применении основных теоретических положений разработанного комплекса мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов, в системах электроснабжения аналогичных объектов.

Практическая значимость работы заключается в непосредственном применении полученных результатов на предприятии ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ с целью повышения энергоэффективности путём снижения потерь электроэнергии в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов данного предприятия. Результаты работы могут быть использованы в системах электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов.

# **1 Анализ литературных источников по исследуемой проблеме**

## **1.1 Основные цели и задачи повышения энергоэффективности**

Согласно цели диссертационного исследования, в первой главе работы проводится анализ литературных источников по исследуемой проблеме, включающий:

- основные цели и задачи повышения энергоэффективности;
- алгоритм формирования программы повышения энергоэффективности на предприятиях;
- структура и мероприятия программы энергетической эффективности.

При проведении анализа, многие основные труды современных отечественных и зарубежных учёных детально проанализированы и приняты к использованию в работе.

Повышение энергоэффективности – широко используемый термин, который при эффективном внедрении может минимизировать затраты и/или максимизировать прибыль за счет повышения конкурентоспособности [24].

Это также может повысить эффективность использования энергии и снизить ее потребление, что приводит к снижению затрат на электроэнергию [5].

Сопутствующие выбросы либо от использования топлива на месте, либо от источника выработки энергии также могут быть уменьшены.

Это также оказывает влияние на вовлечение сотрудников в программу управления энергопотреблением с помощью таких методов коммуникации, как информационные бюллетени [7].

Важно, чтобы был разработан план мониторинга и отчетности в области энергетики, чтобы обеспечить сбор и передачу соответствующих данных в подходящий формат для распространения [6].



Собранные данные позволят отслеживать использование энергии, а сами данные могут быть проанализированы, чтобы внести вклад в план управления энергией [7].

Известно, что на начальном этапе для управления энергосбережением необходимо провести непосредственный анализ данных энергопотребления предприятия, представляющий собой энергетический аудит [8].

Энергетический аудит проводится после утверждения плана управления энергопотреблением, и его цель состоит в том, чтобы изучить текущее использование энергии, определить любые области, в которых можно повысить эффективность, и снизить энергопотребление [25].

Объем собранных данных и уровень анализа прямо пропорционален стоимости аудита, поэтому доступный бюджет аудита определяет его объем и уровень детализации [8].

Существует три основных типа энергоаудитов, причем первый – это аудит, который является наименее затратным и сложным, поскольку включает посещение объекта и анализ данных о потреблении энергии.

Анализ этих данных проводится с целью выявления любых закономерностей, сравнения с отраслевыми показателями и/или данными с аналогичных объектов.

Первоначальная экономия энергии и связанные с этим возможности могут быть определены с помощью этого типа аудита.

Информация, собранная таким образом, может использоваться в более детальном аудите, если требуется дальнейшее усиление экономии.

Следующим видом аудита является стандартный аудит, который представляет собой более подробный анализ и обзор оборудования и систем объекта.

При необходимости может быть проведена некоторая проверка данных и эффективности энергопотребления путем проведения измерений, и испытаний на месте [27].

Этот уровень аудита также включает экономический анализ мер по сокращению потребления энергии [26].

Последний тип аудита – компьютерное моделирование, которое является наиболее подробным, поскольку включает создание компьютерной модели объекта для оценки вариантов использования энергии.

Это моделирование будет учитывать погоду и другие переменные, которые влияют на потребление энергии, и будет работать в течение всего года.

После того, как модель создана, ее можно использовать в качестве базовой линии, по которой можно измерять изменения.

Поскольку это наиболее сложный тип аудита, его следует использовать только в том случае, если объект является сложным и требует такой сложной формы анализа [12].

Первым шагом в энергетическом анализе является сбор данных посредством энергетического аудита или постоянного мониторинга.

Собранные данные бесполезны, если они не проанализированы правильно, с целью выявления каких-либо тенденций и обозначения областей, которые можно улучшить [5], [9].

Одним из простых способов анализа данных является создание таблицы и диаграммы, показывающей потребление энергии.

Этот тип анализа не включает переменные факторы, такие как погодные условия, которые могут изменить энергетические характеристики зданий или сооружений.

Ниже приводится краткое описание основных методов, применяемых для сбора данных для проведения энергетического аудита на основе анализа источников [27].

Известно, что градусо-дни – это метод, учитывающий изменение и влияние температуры наружного воздуха на энергопотребление здания в течение определенного периода времени [28].

К примеру, разница температур между помещением неотапливаемого здания и наружной температурой составляет 3°C, при этом наружная температура ниже.

Это означает, что для поддержания внутренней температуры 18,5 °C здание требует отопления, когда наружная температура падает ниже 15,5 °C. Эта температура называется базовой.

Для подсчета градусо-дней каждый день, который опускается ниже базовой температуры, учитывается и затем умножается на падение температуры от базовой температуры.

Результаты суммируются за определенный период.

Градусо-дни делятся на два типа: первый – градусо-дни обогрева (HDD), которые описаны выше, и градусо-дни охлаждения (CDD), которые используются в зданиях с кондиционированием воздуха, требующих охлаждения.

Статистика включает сбор, анализ и представление данных с целью обеспечения более детального понимания набора данных.

Относительное расположение значения в наборе данных и его отдаленность от среднего значения можно определить с помощью z-показателя.

Z-оценка, которая также известна как стандартизированное значение, возвращает число стандартных отклонений, значение которых является средним значением набора данных.

Средство вычисления Z-показателя для каждого значения в наборе данных определяется [15]

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s}, \quad (1)$$

где  $z_i$  – Z-оценка для значения  $x_i$ ;

$x_i$  – значение выборки;

$\bar{x}$  – выборочное среднее;

$s$  – стандартное отклонение образца.

Каждое значение  $Z$  возвращает количество стандартных отклонений, которое оно составляет от среднего значения по выборке, и эти значения можно назвать выбросами [30].

Выделение может быть связано с неправильной записью данных или неправильным включением их в анализируемый набор данных.

$Z$ -балл плюс три или минус три можно рассматривать как выброс, и последующий анализ может быть исключен из набора данных.

Линейный регрессионный анализ является широко используемым статистическим методом, который используется для количественной оценки взаимосвязи между зависимой переменной и одной или несколькими независимыми переменными.

Этот метод является полезным инструментом управления энергопотреблением, в котором зависимой переменной может быть потребление энергии, а независимыми переменными могут быть объемы производства, ежемесячные эксплуатационные расходы и дни в градусах.

Используя инструменты анализа данных, такие как Excel, диаграмма создается с использованием точек данных и добавляется наиболее подходящая прямая линия (линия тренда) в виде формулы [11]:

$$y = c + tx. \quad (2)$$

Здесь  $y$  – зависимая переменная,  $x$  представляет собой независимую переменную,  $t$  – это градиент линии регрессии.

При управлении энергопотреблением для сферы, аналогичной рассматриваемой, потребление газа может быть зависимой переменной  $y$  с градусными днями в качестве независимой переменной  $x$ .

Пересечение оси  $Y$  становится теоретической базовой нагрузкой для анализируемой системы, и каждый дополнительный день в градусах будет увеличивать потребление газа на величину градиента линии, умноженную на значение дня в градусах.

Регрессионный анализ также может учитывать взаимосвязь между несколькими независимыми переменными и называется многовариантным линейным регрессионным анализом.

Уравнение, представляющее взаимосвязь между зависимой и независимой переменными согласно [15] имеет следующий вид:

$$y = c + m_1x_1 + m_2x_2 + \dots + m_nx_n. \quad (3)$$

В ходе регрессионного анализа выявляется коэффициент детерминации ( $r$ ), который является мерой того, насколько точно линия тренда соответствует точкам данных.

Коэффициент детерминации согласно [18] рассчитывается с использованием приведенного ниже уравнения:

$$r^2 = \frac{SSR}{SST} = \frac{\sum(\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2}, \quad (4)$$

где  $SSR$  – сумма квадратов регрессии;

$SST$  – общая сумма квадратов;

$\hat{y}_i$  – оценочное значение для зависимой переменной для  $i$ -го наблюдения;

$\bar{y}$  – среднее значение для зависимой переменной;

$y_i$  – фактическое значение зависимой переменной для наблюдения;

$SSR$  – сумма квадратов разностей между предсказанными зависимыми переменными и средними значениями для всех наблюдений;

$SST$  – базовое значение, рассчитанное путем суммирования квадратов разностей между фактическими значениями зависимых переменных и их средними значениями для всех наблюдений.

Чем выше значение  $r$ , тем точнее линия тренда соответствует точкам данных, поэтому, если значение  $r$ , равно 0,69, это означает, что линия тренда будет объяснять 69% изменений в точках данных.

На основе результатов регрессионного анализа можно выявить наиболее существенные факторы, влияющие на энергоэффективность и энергосбережение предприятия, что позволяет прогнозировать и управлять этими процессами.

Управление энергосбережением непосредственно связано с вопросами энергетического менеджмента [28].

Развитие энергетического менеджмента в современном мире, положительно влияет на экономике компаний.

В различных источниках описано множество схем управления энергетическими ресурсами.

Менеджмент подразумевает в себе термин «управление людьми» и решение данных задач происходит за счет отдельных работников, рабочих групп или рабочих коллективов.

В зарубежных источниках описан менеджмент как достижение поставленных задач руками других людей.

Проведение инструктажей, ознакомление персонала предприятий с должностными инструкциями, осуществление контроля правильной эксплуатации энергетических установок имеет актуальность в развитии энергетической системы в целом [29].

С развитием тенденций экономики возникает высокая конкурентная политика между предприятиями и организациями, за использование всех видов ресурсов.

В связи с повышением энергетической основы в затратах на оказание услуг и производства продукции развитие энергетического менеджмента особую приобретает актуальность.

При реализации управленческих решений, не маловажной составляющей является энергосбережение, как процесс уменьшения

энергетических затрат, за счет эффективности энергопотребления и приводит к ряду преимуществ [31]:

- увеличение прибыльности;
- повышение конкурентоспособности;
- возрастает экономическая устойчивость предприятия.

При использовании современных методов энергосбережения большую популярность набирает альтернативная энергетика, с использованием энергии солнца и относящаяся к возобновляемым источникам энергии.

Ведется строительство солнечных, геотермальных, ветровых и др. станций [4].

В связи с понятием системы современной науки, энергетический менеджмент рассматривается, по нескольким направлениям.

Основные направления менеджмента [32]:

- организационный;
- мотивационный;
- информационный;
- маркетинговый;
- инвестиционный.

В настоящее время производится оптимизация системы энергетического менеджмента в организационном направлении.

Некачественная организация данного направления, негативно влияет на развитие предприятия.

Для стабильного развития инфраструктуры, требуются разработка алгоритма и четкое выполнение его составляющих [1].

Реализация энергетического менеджмента направлено, как правило, на повышение энергетической эффективности по использованию топливно-энергетических ресурсов.

Например, высокий уровень использования топлива дизельными электростанциями при бурении скважин на нефть и газ, повышает прибыльность предприятия.

За счет выбора уникальных методов управления энергетической эффективностью, появляется возможность создания энергетически эффективных рабочих мест с высокими экологическими показателями, производство модернизации энергетических установок на региональном уровне.

Мотивация персонала предприятия направлена на выполнение запланированных действий, для достижения желаемого результата и повышения качества работы.

Задача энергетического менеджера состоит в привлечении как можно больше работников на добровольной основе, а не административной [3].

Премирование работников, за качественное выполнение должностных обязанностей имеет положительную тенденцию коллектива в мотивационном направлении [2].

Данная информация учитывается в дальнейшем при проведении исследований в работе.

## **1.2 Алгоритм формирования программы повышения энергоэффективности на предприятиях**

Принципы формирования программ, направленных на повышение энергетической эффективности предприятий, подразумевает этапы социального и экономического развития как персонала, так и технических процессов, и технологий. Одно из мероприятий по стимулированию и упрощению управление – это формирование частной собственности в промышленном комплексе, с четким определением границ между промышленной деятельностью всего предприятия и операционной деятельностью каждого топ-менеджера.

Организации, которые проводят разработку и внедрение программ по повышению энергетической эффективности, разрабатывают и внедряют



мероприятия по оптимизации и модернизации энергетического оборудования снижают свои энергозатраты более чем на 30%.

Энергетические ресурсы – это одна из важнейших и более затратных статей расхода бюджета любого предприятия, относящаяся к затратам как на основное производство, так и на вспомогательные службы. При повышении энергетической эффективности и уменьшении затрат энергии растет как экономическая эффективность, так и финансовая привлекательность организации с точки зрения социальных аспектов (работники хотят работать на предприятии, где большая зарплата), так и с точки зрения инвестиций (инвесторы вкладывают меньшие деньги, а получают больше выгоды)

Рассмотрение энергетических составляющих, с дальнейшим их решением осуществляя непрерывный контроль, за энергетическим потреблением системы, представляют основу программы повышения энергоэффективности.

Алгоритм формирования программы повышения энергоэффективности на предприятиях можно разделить на несколько стадий [10]:

- на первой стадии необходимо обеспечить контроль, за потреблением энергетических ресурсов и затратами на них. Осуществление информационных кампаний, для повышения и необходимости сбережения топливно-энергетических ресурсов. Проведение обучения работников методам, направленных на повышение энергетической эффективности, с выдачей рекомендаций;
- на второй стадии необходимо производить инвестирование, для повышения энергетической эффективности. Данная стадия, как правило, требует меньше усилий по мере освоения. Когда функционирование энергетических установок взято под контроль. Произведено устранение нецелесообразного расхода энергетических ресурсов. Производят реализацию инвестиционной компании, направленную на энергетическую эффективность;

– на третьей стадии требуется создать компьютерный мониторинг, для функционирования эффективной системы энергетического менеджмента. Данный этап позволяет вовремя получать необходимую информацию, для реализации качественного управления.

Инвестиционная компания рассчитывается, из средств, сэкономленных на энергетической эффективности.

В основе энергетического аудита лежит количественная и качественная оценка критериев, имеющихся в стандартах энергетического менеджмента согласно [7].

Энергетический аудит способен сократить затраты в потреблении энергии, при кратчайших сроках, оценить оптимальность работы центров ответственности и т. п.

На рисунке 1 представлен базовый алгоритм анализа энергетического комплекса предприятия, детально описанный в [8].

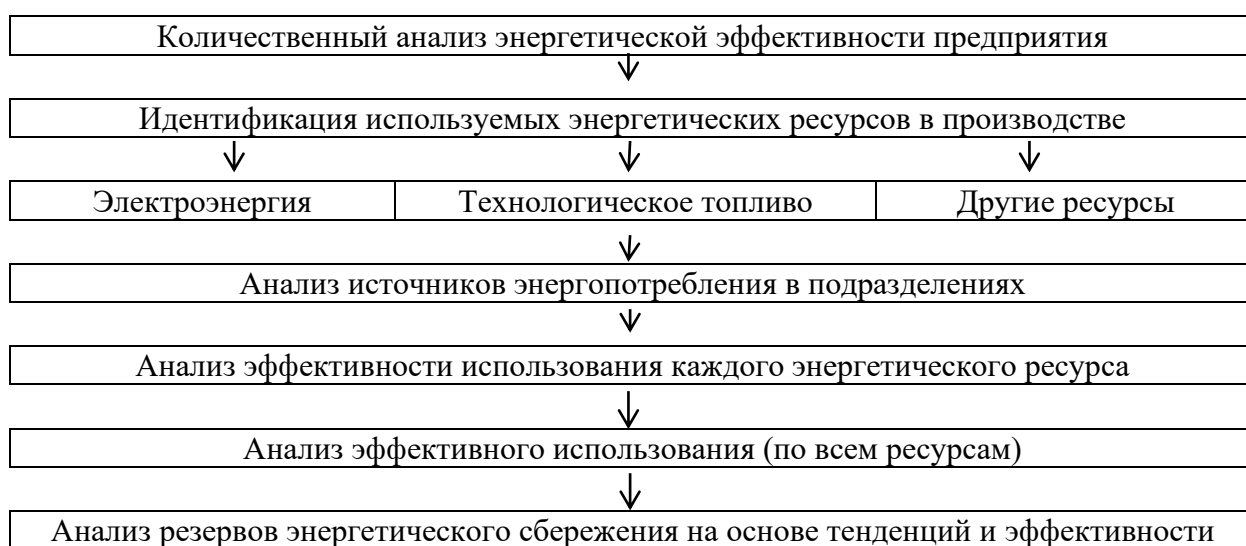


Рисунок 1 – Базовый алгоритм анализа энергетического комплекса предприятия

Базовый алгоритм анализа энергетического комплекса предприятия является основой для проведения дальнейших исследований в работе.

### 1.3 Структура и мероприятия программы энергетической эффективности

Систематизируя приведённую ранее информацию, составим структуру программы энергетической эффективности, включающую в себя следующие модули, приведённые на рисунке 2 [11].



Рисунок 2 – Структура программы энергетической эффективности

«Известно, что основные направления для мероприятий по энергосбережению носят организационный либо технический характер (аспект)» [10, с. 28–31].

«Организационные мероприятия по энергосбережению заключаются в непосредственном теоретическом процессе организации управлением

развитием электроэнергетических и электротехнических систем и включают в себя» [10, с. 28–31]:

- «разработку, согласование и утверждение плана программы по непосредственному управлению развитием электроэнергетических и электротехнических систем» [12];
- «проведение энергоаудита» [12];
- «постановка задач и целей персоналу» [12];
- «обучение и развитие навыков персонала» [12];
- «проведение энергоменеджмента» [12];
- «привлечение инвестиций как внешних, так и внутренних» [12];
- «премирование и штрафы за несоблюдение установленных норм потребления энергоресурсов» [12];
- «контроль над использованием энергоресурсов всех типов и видов» [12];
- «внедрения новых программ для анализа и контроля потребления энергоресурсов и их оптимизации с использованием ЭВМ и т. д.» [12]

«Технические мероприятия по энергосбережению носят практический характер» [13].

«Для предприятий энергетики наиболее распространёнными и эффективными мероприятиями этой группы являются мероприятия по модернизации и реконструкции электрических сетей и оборудования, а также по оптимизации режимов работы электроустановок, что в подавляющем большинстве случаев приводит к ощутимым технико-экономическим результатам» [13].

«Кроме того, особое внимание уделяется автоматизации электрических сетей и оборудования систем электроснабжения, а также вопросам компенсации реактивной мощности» [14, с. 28–31].

«Наиболее эффективными и значимыми техническими мероприятиями по энергосбережению считаются» [14]:

- «реконструкция схем с заменой (модернизацией) устаревших проводников электрических сетей и оборудования на современные марки с улучшенными техническими показателями» [14];
- «установка и ввод в эксплуатацию современных силовых трансформаторов и силового электрооборудования, имеющих улучшенные технические характеристики» [14];
- «качественная компенсация реактивной мощности с применением автоматических регуляторов для данного процесса» [14];
- «замена проводников на перегруженных линиях электропередачи» [14];
- «замена систематически перегруженных силовых трансформаторов» [14];
- «повышение загрузки до оптимального уровня силового оборудования трансформаторных подстанций, мощных электродвигателей и др.» [14];
- «автоматизация сети с непосредственной установкой автоматических регуляторов и систем автоматики (АПВ, АВР, АЧР и др.)» [14];
- «уменьшение технических потерь до нормируемого уровня и полное искоренение коммерческих потерь» [14].

«Из группы технических мероприятий также выделяют режимные мероприятия, например обеспечение оптимального режима компенсаторов реактивной мощности, своевременное переключение ответвлений обмоток трансформаторов с РПН, отключение силовых трансформаторов в сетях низкого напряжения на период малых нагрузок, перевод нагрузки на другие линии в «часы пик», разгрузка узлов электрических сетей, станций и подстанций и т.п.» [19, с. 49-54].

«Отдельно следует рассмотреть технические мероприятия по минимизации потерь электроэнергии как одно из наиболее действенных способов повышения энергоэффективности» [19].

«Минимизация потерь электроэнергии является одним из наиболее важных задач энергосбережения отечественной электроэнергетики» [19].

«Современные промышленные предприятия всё чаще обращают внимание на данную проблему по причине возможности уменьшить свои экономические расходы и значительно улучшить технико-экономические показатели своих систем электроснабжения» [16].

«В последние годы доля потерь электроэнергии в сетях промышленных предприятий значительно возросла, что связано, в первую очередь, с использованием устаревшего оборудования, не соответствующего современным нормам качества, применением в сетях резкопеременной и нестационарной нагрузки, отсутствие компенсации реактивной мощности» [19].

«Кроме того, с другой стороны, к увеличению потерь электроэнергии приводят также ошибки на стадии проектирования, катастрофически низкая загрузка оборудования, а также недостаточная оптимизация технологического процесса» [19].

«Поэтому решение поставленной в работе задачи в условиях современной электроэнергетики носит актуальный характер и требует дальнейших исследований» [19].

«Как известно, отчётные потери электроэнергии представляются в форме следующих составляющих, а именно» [17, с. 6–9]:

- «технические потери – это потери, возникающие вследствие физических процессов в электрооборудовании и сетях. На промышленных предприятиях значительную долю технических потерь составляют нагрузочные потери (до 80%)» [17];
- «коммерческие потери – обусловлены различного рода хищениями электроэнергии и несвоевременной её оплатой» [17];
- «инструментальные потери – возникают вследствие погрешностей измерительных приборов учёта и контроля электроэнергии, а также их несоответствия требуемым параметрам и характеристикам» [17];

– «потери на собственные нужды – учитывают потери и расход электроэнергии в электроустановках на собственные нужды при передаче и распределении электроэнергии потребителям (подстанции, распределительные пункты и др.)» [17].

«Совместное применение организационных и технических мероприятий для решения задач энергосбережения в итоге приводит к осязаемому технико-экономическому эффекту на всех звеньях систем электроснабжения как предприятий, так и энергосистемы в целом» [12, с. 82–87].

«Прежде, чем внедрять те или иные мероприятия по энергосбережению, необходимо тщательно и скрупулёзно изучить их сущность, определить причины их образования, проанализировать и структурировать полученные данные» [12].

«И только после этого анализа можно четко определить и сформулировать самые необходимые и потенциально эффективные мероприятия по энергосбережению для конкретного предприятия» [12].

«При этом необходимо принять во внимание, что, как правило, многие из наиболее эффективных мероприятий требуют существенных капиталовложений, поэтому необходимо провести технико-экономическое обоснование внедрения данных мероприятий в систему электроснабжения конкретного предприятия и сделать соответствующие выводы» [12].

«В конечном итоге необходимо обосновать экономическую эффективность предложенных мероприятий, рассчитав срок их конечной окупаемости по известным методикам» [12].

«Кроме того, внедрение многих мероприятий по энергосбережению предоставляет возможность разрешить ряд других важных технических задач» [12].

«Например, с помощью соответствующего программного обеспечения, контролирующего потребление электроэнергии в узлах, появляется возможность фиксировать возникновение токов коротких замыканий с

последующей их локализацией, которые являются серьезной проблемой, особенно для кабельных сетей предприятий» [18].

«Кроме того, таким же способом можно анализировать ветви и узлы схемы и выявлять в сети несанкционированный доступ (кражи электроэнергии различного типа)» [12].

«Помимо этого, внедрение мероприятий по энергосбережению также приводит к решению вопросов экономического и технического характера, например, снижение расхода на монтаж, эксплуатацию и ремонт, искоренение краж и недоучёта электроэнергии (экономические потери электроэнергии), повышение надёжности систем электроснабжения и их отдельных элементов вследствие использования инновационных разработок, а также проведения модернизации и реконструкции сетей, систем и их элементов в системах электроснабжения различного типа» [21].

Указанные мероприятия исследуются в работе далее применительно к объекту исследования в магистерской диссертации.

Выводы по разделу 1.

В результате выполнения первой главы магистерской диссертации «Повышение энергоэффективности системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов», на основании анализа технической литературы по данной тематике, рассмотрены и проанализированы следующие вопросы: основные цели и задачи повышения энергоэффективности, алгоритм формирования программы повышения энергоэффективности на предприятиях, структура и мероприятия программы энергетической эффективности. В результате проведения исследований и публикаций по тематике исследования, установлено, что в данном вопросе пристальное внимание уделяется теоретической и методологической базе, связанной с анализом целей, задач, методов и мероприятий для их применения в системах электроснабжения предприятий. Внимание акцентируется на разработках и внедрениях качественного алгоритма формирования программы повышения энергоэффективности на предприятиях.



В результате написания первой главы работы получены следующие результаты:

- установлено, что тема и направление исследований, связанных с повышением энергетической эффективности в системах электроснабжения предприятий, носит актуальный характер;
- в результате проведения исследований и публикаций по тематике исследования, установлено, что в данном вопросе пристальное внимание уделяется теоретической и методологической базе, связанной с анализом целей, задач, методов и мероприятий для их применения в системах электроснабжения предприятий;
- установлено, что при исследовании проблематики энергосбережения необходимо применять комплексный подход, включающий проведения энергетического аудита, энергоменеджмента, разработку проекта, привлечение инвестиций, получение результата и мониторинг данных;
- детально рассмотрены базовый алгоритм анализа энергетического комплекса предприятия, а также структура программы энергетической эффективности предприятия. Установлено, что на стадии разработки проекта энергоэффективности они являются базовыми;
- проведён анализ основных мероприятий по энергосбережению, выделены организационные и технические мероприятия. Показано, что данные мероприятия являются основой на стадии реализации проекта энергоэффективности.

## **2 Разработка мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов**

### **2.1 Общие сведения о станциях электрохимзащиты магистральных газопроводов**

Как было указано ранее, основной целью диссертационной работы является повышение энергоэффективности системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ, осуществляемое за счёт применения энергосберегающих мероприятий, разрабатываемых в работе далее. Во втором разделе осуществляется разработка мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов (объекта исследования), для чего приводятся общие сведения о станциях электрохимзащиты магистральных газопроводов, применяемых на данном участке объекта исследования, приводится описание структуры и характеристики системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов, а также выполняется анализ мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов с последующей их разработкой применительно у объекту исследования.

Рассматриваемая станция электрохимзащиты предназначена для поддержания в надлежащем состоянии металлических частей магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ от коррозии и старения. Электрохимическая (катодная) защита осуществляется путем поляризации металлической оболочки оборудования [19].

На исследуемом участке в качестве станций электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ, применяются блок-боксы типа БСКЗ-Э, блок-боксы серии БСКЗ, а также модификация блок-боксов – БСКЗ-В-10-5-2-А-У1. Расшифровка условного обозначения блок-боксов станции электрохимзащиты защиты, которая применяется для защиты магистральных газопроводов: БСКЗ-В-10-5-2-А-У1 (производитель – ООО «Озёрский завод энергоустановок»): блок-бкс станций электрохимзащиты защиты с воздушным вводом 10 кВ, с двумя блоками электрохимзащиты защиты мощностью 5 кВт, с автоматическим регулированием защитного потенциала, климатического выполнения и категории размещения 1 по ГОСТ 15150-69 [22].

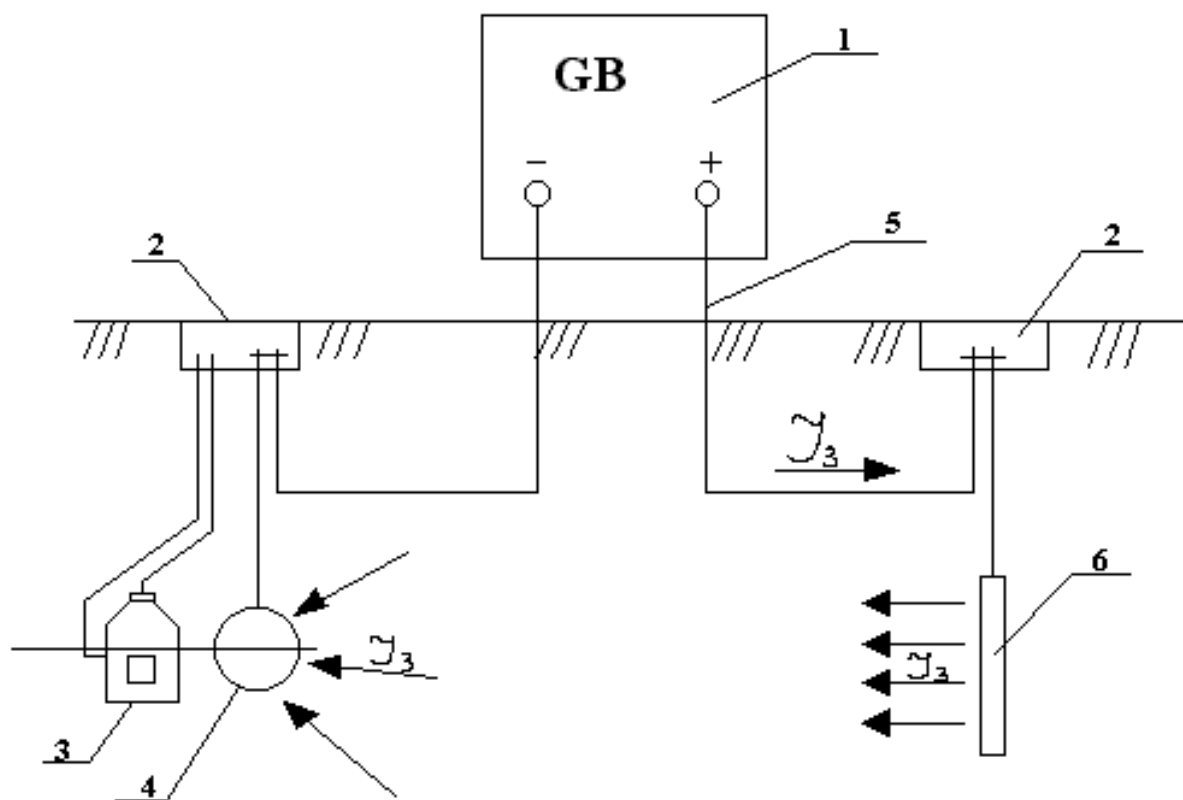
На рассматриваемом участке расположено три таких однотипных подстанции электрохимзащиты защиты указанной марки. Внешний вид применяемой в работе станции электрохимзащиты защиты серии БСКЗ представлен на рисунке 3 [22].



Рисунок 3 – Внешний вид станции электрохимзащиты защиты серии БСКЗ

Станция электрохимзащиты защиты осуществляет основную функцию по предотвращению коррозии участков трубопроводов. Она представляет собой электроустановку с регулируемым или фиксированным напряжением [18].

Принципиальная схема установки электрохимзащиты защиты типа БСКЗ-Э, работающая на постоянном токе и применяемая для защиты металлических частей магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ от коррозии и старения, представлена на рисунке 4 [22].



1 – преобразователь электрохимзащиты защиты; 2 – контактное оборудование; 3 – электрод сравнения длительного действия с датчиком электрохимического потенциала; 4 – ПССГ; 5 – соединительные линии; 6 – анодный заземлитель

Рисунок 4 – Принципиальная схема установки электрохимзащиты защиты типа БСКЗ-Э

## **2.2 Характеристика системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов**

Станции электрохимзащиты защиты (ЭХЗ) типа БСКЗ-Э обеспечивают сохранность наземных и подземных металлических трубопроводов, а также конструктивных сооружений от электрохимической коррозии.

Как было указано ранее, на исследуемом участке в качестве станций электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ, применяются блок-боксы со станциями электрохимзащиты защиты типа БСКЗ-Э, блок-боксы серии БСКЗ, модификация блок-боксов – БСКЗ-В-10-5-2-А-У1 в количестве трёх единиц [23].

Питание указанных типов станций электрохимзащиты защиты производится от сети частотой 50 Гц через воздушный ввод напряжением 10 кВ. Для этой цели применяются провода марки АС-25, введённые в эксплуатацию в конце восьмидесятых годов двадцатого века и находящиеся в аварийном состоянии в следствии катастрофического износа всей линии в целом, а также её отдельных элементов. Длины линий при питании от подстанций на напряжении 10 кВ имеют разные значения.

В каждой из трёх станций электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ размещается следующее оборудование [23]:

- два силовых понижающих трансформатора марки ТМ (ТМГ)-6(10)/0,4 кВ;
- блоки типа БАВР;
- преобразователь;
- адаптеры сигналов.

Особенности работы рассматриваемых в работе станций электрохимзащиты (далее – ЭХЗ) магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ [25]:

– на всех станциях ЭХЗ установлены два силовых трансформатора, так как установки электрохимической защиты относятся ко II категории надежности потребителей;

– оборудование станций ЭХЗ работает на переменном токе (к преобразователю) и постоянном токе (от преобразователя до электродов и заземлителей).

Характеристика системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов

Наименование станции ЭХЗ	Кол-во х блоков, шт х кВт	Питающая линия			Количество трансформаторов, шт	Марка трансформатора
		Тип линии	Марка провода	Длина линии, км		
БСКЗ-В-10-5-2-А-У1	2х5	воздушная	АС-25/4,2	5,0	2	ТМГ-100/10
БСКЗ-В-10-5-2-А-У1	2х5	воздушная	АС-25/4,2	8,0	2	ТМГ-100/10
БСКЗ-В-10-5-2-А-У1	2х5	воздушная	АС-25/4,2	10,0	2	ТМГ-100/10

Далее проводится краткое описание элементов и цикла работы системы электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ, рассматриваемых в данной работе.

На всех подстанциях электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ установлены два силовых понижающих трансформатора, питающийся от сети с номинальным напряжением 10 кВ.

От силовых трансформаторов на номинальном напряжении 0,4 кВ получает питание распределительная сеть (0,38/0,22 кВ), электроприемниками которой являются преобразователи напряжения (на базе микросхем АРПЗ).

В ПАО «Газпром» сертифицированы для использования две основные группы преобразователей. В преобразователях, относящихся к первой группе, регулирование осуществляется путем реакции на изменение самого регулируемого параметра; (т. е. при изменении напряжения или тока защиты станции происходит изменение защитного потенциала). В преобразователях второй группы регулирование осуществляется путем реакции на изменение состояния электрода сравнения (т. е. рядом с трубой зарыт специальный медносульфатный электрод, а выводы его подключены к станции и при изменении состояния электрода сравнения происходит регулирование параметров станции). Преобразователи напряжения, установленные на магистральных участках газопровода, по принципу действия относятся к первой группе. С их помощью осуществляется автоматическое регулирование величины защитного потенциала трубопроводов за счет с встроенных в систему управления автоматических регуляторов [26]. Передача энергии от преобразователя (с его выхода) до электродов и заземлителя осуществляется по цепи постоянного тока.

Показатели работы станций электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ зависят от режимов работы основных функциональных элементов: силового трансформатора, сетей электроснабжения 10 кВ и 0,4 кВ, преобразователей и автоматических регуляторов.

Режимы работы станций ЭХЗ, в свою очередь, сказываются работе системы электроснабжения в целом. В частности, от функционирования станций ЭХЗ зависят пределы регулирования параметров системы, суточный график нагрузки, выбор коммутационной и защитной аппаратуры станции и т. д.

Различают следующие режимы работы станций ЭХЗ [24]:

– обычный режим: характеристики системы не превышают номинальные значения;

– форсированный режим: оборудование станции работает в условиях перегрузки;

– аварийный режим: возникает при аварийных условиях (режим короткого замыкания, повреждение электрооборудования и т. п.).

Также на станциях электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ имеются следующие виды сигнализации, которые играют важнейшую роль для нормальной эксплуатации объекта:

– «сигнализация положения выключателей, переключателей ответвления у трансформаторов связи и потребностей» [12];

– «аварийная – об аварийном отключении коммутационного аппарата; предупреждающая – о ненормальном режиме или ненормальном состоянии элементов установки» [12];

– «сигнализация действия защиты (указательное реле)» [12];

– «сигнализация действия автоматики» [12];

– «командная сигнализация – для передачи важных предписаний» [12].

«Сигнализация положения выключателей производится с помощью ламп включенного, отключенного и аварийного состояния, которые загораются» [12] от исполнительных элементов в нужном режиме.

«Для аварийной сигнализации предусматривают общий звуковой сигнал на всю установку, назначением которого является обращение внимания обслуживающего персонала на возникновение аварийного состояния; звуковой сигнал дублируется индивидуальными световыми сигналами, указывающими нахождение аварийного участка» [24]. «У выключателей получение обоих сигналов основано на принципе несоответствия между положениями ключа управления и выключаемым аппаратом» [29].

Целью предупреждающей сигнализации является информирование персонала о ненормальном режиме работы или ненормальном состоянии вторичных цепей защиты и автоматики. Принцип действия этого вида сигнализации (предупреждающего типа) подобен аварийной [28].



### **2.3 Анализ мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов**

Перейдем к разработке мероприятий в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ. С учетом современных направлений в сфере энергосбережения на рассматриваемом объекте можно в принципе осуществить следующее:

1. Провести ряд технических мероприятий, а именно:
  - Провести модернизацию сети электроснабжения станций катодной защиты (заменить провода, стойки ВЛ, арматуру стоек, коммутирующей аппаратуры и т. д.);
  - Провести модернизацию трансформаторных подстанций, питающих УКЗ (заменить трансформаторы, модернизировать защиту и т. д.);
  - Пересмотреть схему питания;
  - Усовершенствовать системы контроля расхода энергии (замена счетчиков на стандартизированные в системе АСКУЭ).
2. Провести ряд организационных мероприятий, а именно
  - Запланировать повышение квалификации в области энергосбережения сотрудников, занятых на обслуживании системы защиты от коррозии;
  - Разработать программу стимулирования и мотивирования сотрудников с целью развития культуры энергосбережения;

Поскольку эффект от технических мероприятий проявляется гораздо быстрее нежели от организационных, то выбор сделан в пользу внедрения первого вида мероприятий.

Проанализировав комплекс возможных мероприятий и сопоставив его с силами и возможностями службы защиты Краснотурьинского ЛПУМГ. Для данного предприятия наиболее актуальными и реально выполнимыми являются: замена провода в системе электропитания и замена трансформаторов. Проверку целесообразности которых проведем далее.

Известно, что в «современной электроэнергетике мероприятия по уменьшению (минимизации) потерь электроэнергии являются конечной целью повышения энергоэффективности в электрической сети как потребителей, так и энергосистемы» [19].

Основными задачами программы по повышению энергоэффективности ООО «Газпром трансгаз Югорск» являются [23]:

- «снижение потерь активной электроэнергии на подстанциях и в электрических сетях ООО «Газпром трансгаз Югорск» до нормативных значений, регламентированных требованиями» [23];
- снижение объёма расхода электроэнергии на собственные нужды предприятия и структурных подразделений ООО «Газпром трансгаз Югорск» (расход на хозяйственные нужды);
- реализация потенциала энергосбережения и повышения энергетической эффективности производственной деятельности;
- формирование эффективной системы управления энергосбережением;
- повышение объемов внедрения эффективных мероприятий.

Данные мероприятия в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности в ООО «Газпром трансгаз Югорск» по своей природе делятся на организационные и технические мероприятия, и непосредственно реализуются в следующих основных комплексах [23]:

- «комплекс мероприятий, направленных на снижение потерь электроэнергии» [19];

– «комплекс мероприятий, направленных на снижение расхода энергетических ресурсов на собственные нужды (электроэнергии, тепловой энергии и т. д.), а также воды и прочих ресурсов на предприятии» [19].

В результате проведённого анализа установлено, что на большинстве объектов ООО «Газпром трансгаз Югорск» при анализе и внедрении на них МСП, особое внимание акцентируется [28]:

– «на своевременном, качественном и оперативном процессе компенсации реактивной мощности, на уменьшении нагрузочных потерь путём повышения коэффициента загрузки оборудования до необходимого нормируемого значения, а также исключения нестационарной нагрузки оборудования как фактора, приводящего к существенным непрогнозируемым потерям в сети» [28];

– «на уменьшении потерь на собственные нужды подстанций путём оптимизации и автоматизации технологического процесса, а также применения для этой цели энергосберегающих технологий» [28];

– «на уменьшении потерь электроэнергии в измерительных комплексах и системах путём их модернизации, включая не только измерительные приборы, но и измерительные трансформаторы и системы в целом» [28].

Согласно принятой комплексной программе по снижению потерь электроэнергии, наиболее эффективными и значимыми мероприятиями по снижению потерь на ООО «Газпром трансгаз Югорск» считаются [26]:

– «реконструкция схем с заменой устаревших проводников электрических сетей на современные марки с улучшенными техническими показателями» [26];

– «установка и ввод в эксплуатацию новых силовых трансформаторов и силового электрооборудования, имеющих улучшенные технические характеристики» [26];

- «качественная компенсация реактивной мощности с применением автоматических регуляторов данного процесса» [26];
- «замена проводов на перегруженных линиях электропередачи» [26];
- «замена систематически перегруженных силовых трансформаторов на подстанциях» [26];
- «повышение загрузки до оптимального уровня силового оборудования трансформаторных подстанций, мощных электродвигателей и др.» [26];
- полное искоренение коммерческих потерь ЭЭ.

«В комплекс мероприятий, направленных на снижение расхода энергетических ресурсов на собственные нужды (электроэнергии, тепловой энергии и т. д.), а также воды» [27] и прочих ресурсов в ООО «Газпром трансгаз Югорск», включены следующие основные организационные мероприятия [26]:

- «организация экономичного режима работы энергопотребляющего оборудования и освещения» [26];
- «снижение отопительной нагрузки в зданиях или отдельных помещениях в нерабочие периоды» [26];
- «введение системы материального поощрения за экономию энергоресурсов» [26];
- «обеспечение контроля за нецелевым использованием энергоносителей» [26];
- «организация системы закупки для хозяйственных и производственных нужд энергопотребляющего оборудования высоких классов энергоэффективности» [26];
- «анализ договоров ресурсоснабжения на предмет выявления положений договоров, препятствующих реализации мер по повышению энергетической эффективности» [26].

«В комплекс мероприятий, направленных на снижение расхода энергетических ресурсов на собственные нужды (электроэнергии, тепловой энергии и т.д.)» [29], а также воды и прочих ресурсов в ООО «Газпром трансгаз Югорск», включены следующие основные технические мероприятия [29]:

- установка энергосберегающих светодиодных источников освещения в целях снижения энергопотребления;
- установка средств автоматического регулирования систем освещения, отопления и расхода прочих энергоресурсов;
- утепление фасадов зданий и сооружений;
- установка энергосберегающих окон и дверей;
- установка рекуператоров воздуха;
- «установка отражающих экранов за отопительными приборами» [29];
- «установка регуляторов расхода воды» [29].

В результате проведённого анализа по данному вопросу, установлено, что согласно комплексной программе снижения потерь электроэнергии в сетях ООО «Газпром трансгаз Югорск», предлагается «разделить мероприятия по снижению потерь электроэнергии (МСП) на следующие группы» [30]:

- «усовершенствование управления режимами электрических сетей и оборудования» [30];
- «автоматизация управления режимами электрических сетей и оборудования» [30];
- «реконструкция электрических сетей и оборудования» [30];
- «усовершенствование учета потребления электроэнергии» [30].

«Совместное применение организационных и технических аспектов мероприятий для решения задач минимизации потерь электроэнергии в итоге приводит к значительному технико-экономическому эффекту на всех звеньях систем электроснабжения объекта исследования» [32].

Ниже рассматривается каждая группа отдельно. При этом, согласно известным подходам, все мероприятия по энергоэффективности, следует делить на две основные группы: организационные или технические [31]. Поэтому они будут рассмотрены и выбраны для каждой из данных групп отдельно с целью их применения в работе.

«К организационным мероприятиям по повышению энергоэффективности относятся: разработка организационной документации, направленной на поощрение работников, выполняющих предписания по снижению потерь электроэнергии, внедрение инструкций и положений по правильному ведению технологического процесса, наказание виновных и поощрение отличившихся и т. д.» [30]. Основные организационные аспекты мероприятий по снижению потерь электроэнергии (МСП) согласно комплексной программе снижения потерь электроэнергии в сетях ООО «Газпром трансгаз Югорск» приведены на рисунке 5.

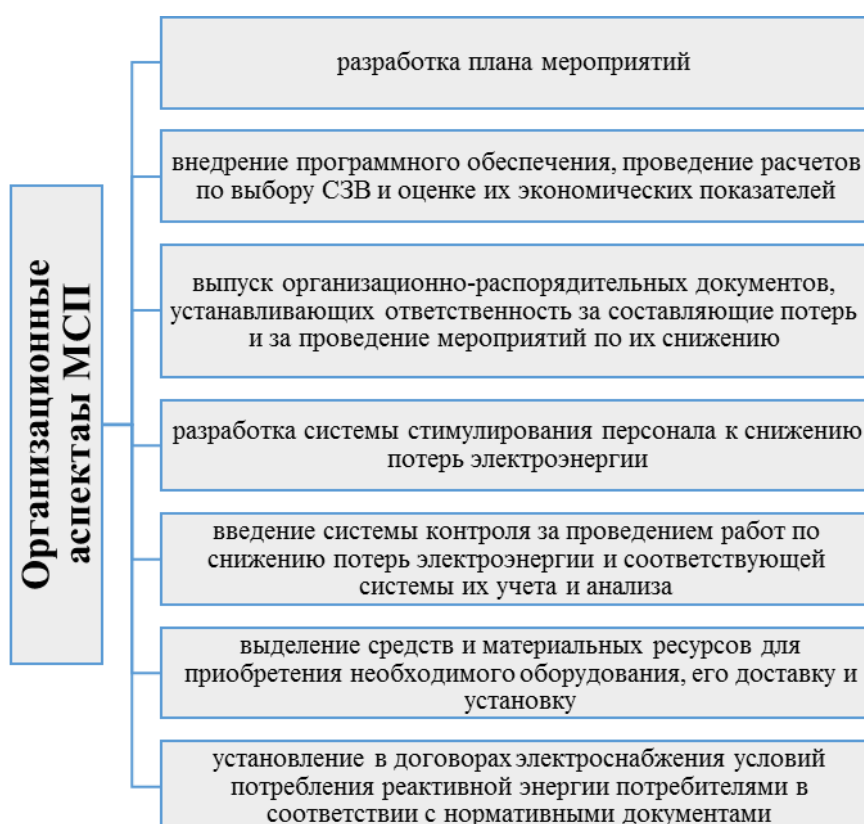


Рисунок 5 – Организационные аспекты МСП в сетях ООО «Газпром трансгаз Югорск»

К техническим мероприятиям относятся мероприятия по реконструкции и модернизации схем, оборудования и системы электроснабжения в целом, а также средства по прочим практическим мероприятиям в сетях. Технические аспекты МСП согласно комплексной программе снижения потерь электроэнергии в сетях ООО «Газпром трансгаз Югорск» приведены на рисунке 6.

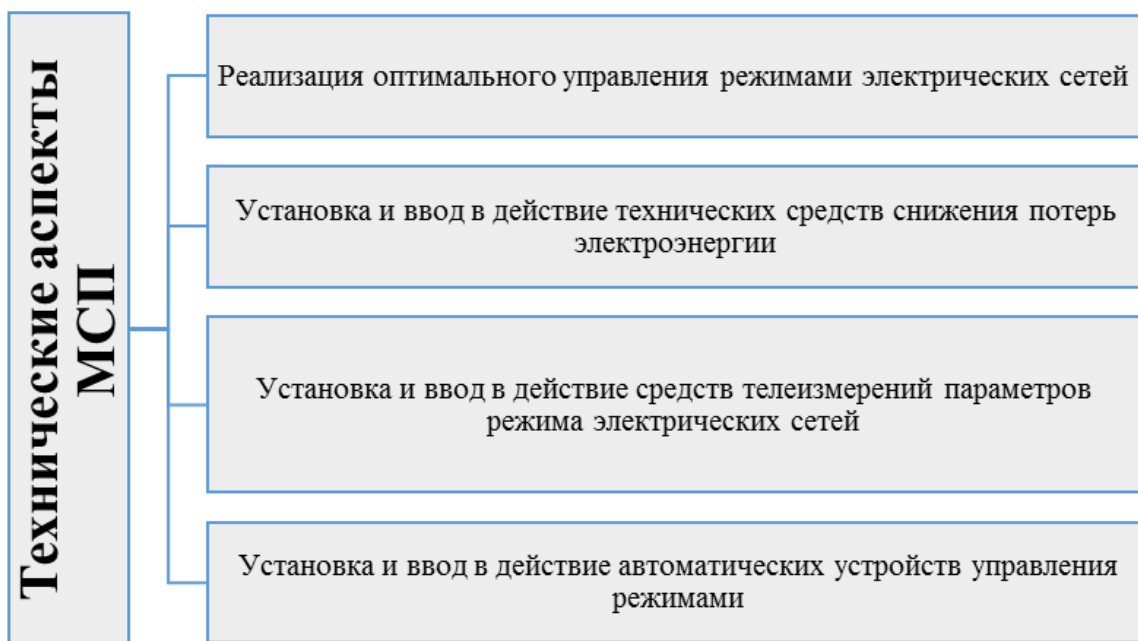


Рисунок 6 – Технические аспекты МСП согласно комплексной программе снижения потерь электроэнергии в сетях ООО «Газпром трансгаз Югорск»

Основные «мероприятия по автоматизации управления режимами электрических сетей согласно комплексной программе снижения потерь электроэнергии в сетях ООО «Газпром трансгаз Югорск» приведены на рисунке 7» [30].

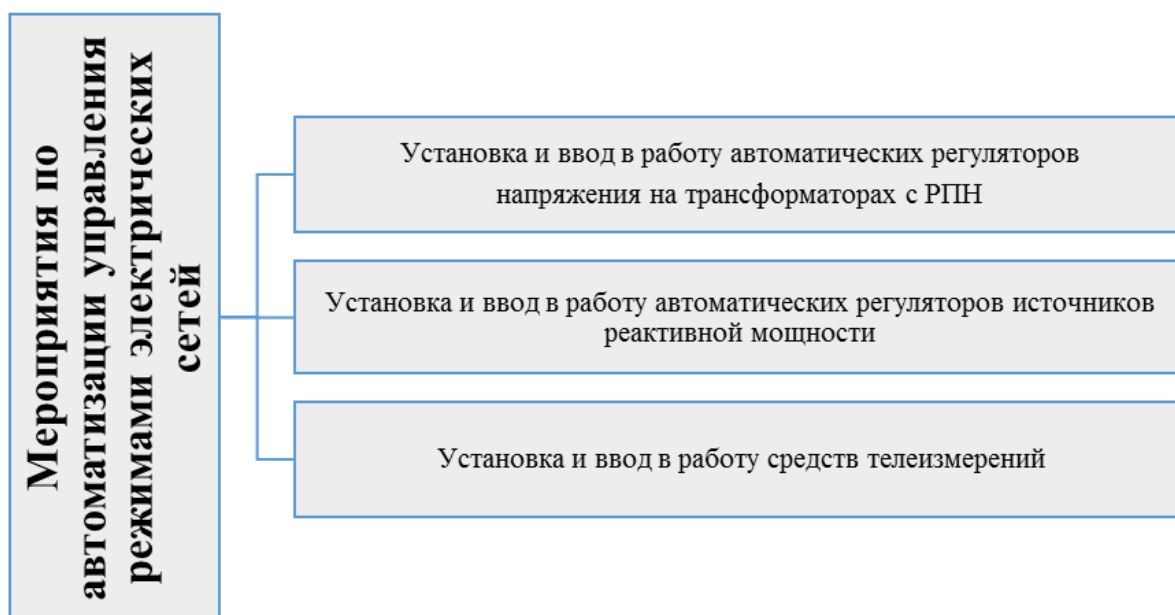


Рисунок 7 – Мероприятия по автоматизации управления режимами сетей согласно программе снижения потерь электроэнергии ООО «Газпром трансгаз Югорск»

«Технические мероприятия по повышению энергоэффективности носят практический характер» [30].

«Для предприятий энергетики наиболее распространёнными и эффективными мероприятиями этой группы являются мероприятия по модернизации и реконструкции электрических сетей и оборудования, а также по оптимизации режимов работы электроустановок, что в подавляющем большинстве случаев приводит к ощутимым технико-экономическим результатам» [30].

Основные мероприятия по реконструкции электрических сетей согласно комплексной программе снижения потерь электроэнергии в ООО «Газпром трансгаз Югорск» приведены на рисунке 8. Основные мероприятия по усовершенствованию управления режимами электрических сетей согласно комплексной программе снижения потерь электроэнергии в сетях ООО «Газпром трансгаз Югорск» приведены на рисунке 9.



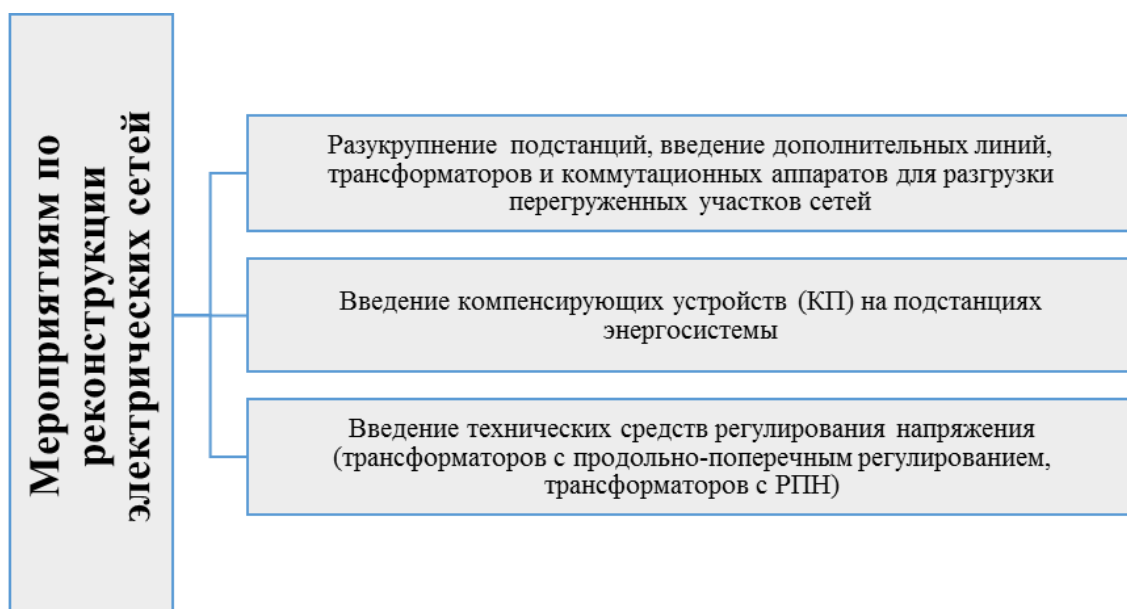


Рисунок 8 – Мероприятия по реконструкции электрических сетей согласно комплексной программе снижения потерь электроэнергии в ООО «Газпром трансгаз Югорск»



Рисунок 9 – Мероприятия по усовершенствованию управления режимами сетей согласно комплексной программе снижения потерь в ООО «Газпром трансгаз Югорск»

Основные «мероприятия по усовершенствованию учета потребления электроэнергии приведены на рисунке 10» [30].

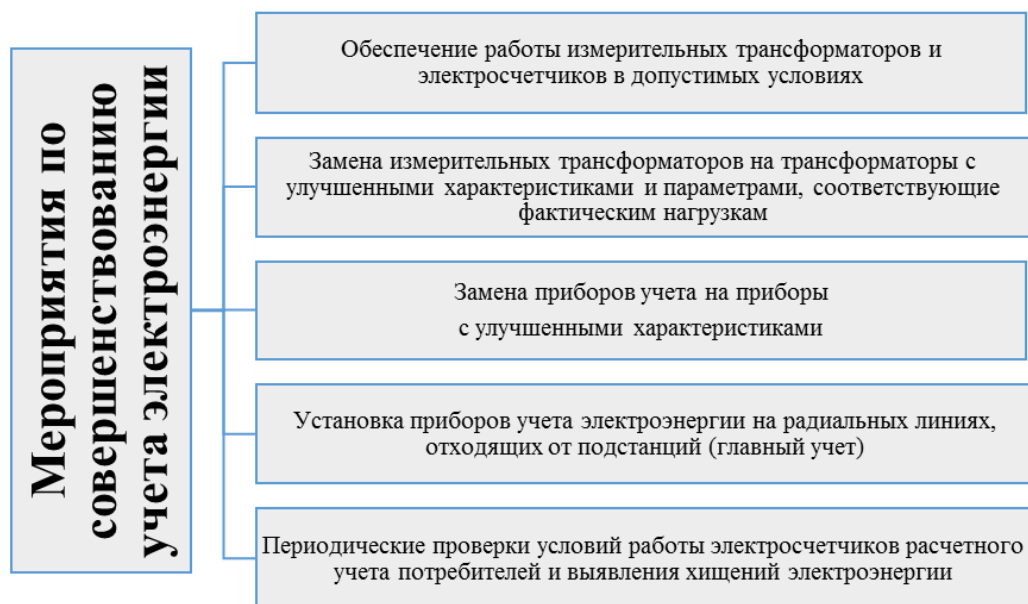


Рисунок 10 – Мероприятия по усовершенствованию учета потребления электроэнергии, согласно программе снижения потерь, в ООО «Газпром трансгаз Югорск»

Исходя из перечисленных выше мероприятий по повышению энергоэффективности в ООО «Газпром трансгаз Югорск», а также учитывая приведённую ранее техническую информацию по объекту исследования, в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ, как наиболее эффективные, с точки зрения повышения энергоэффективности на данном объекте, приняты следующие организационные мероприятия:

- «проведение энергоаудита» [30];
- «постановка задач и целей персоналу, обучение и развитие навыков персонала» [30];
- «проведение энергоменеджмента» [30];
- «привлечение инвестиций как из внешних, так и внутренних источников» [30];
- «премирование и штрафы за несоблюдение установленных норм потребления энергоресурсов» [30];

– «контроль над использованием энергоресурсов всех типов и видов» [30];

– «внедрения новых программ для анализа и контроля потребления энергоресурсов и их оптимизации с использованием ЭВМ» [30].

Также, исходя из перечисленных выше мероприятий по повышению энергоэффективности в ООО «Газпром трансгаз Югорск», а также учитывая приведённую ранее техническую информацию по объекту исследования, в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ, «как наиболее эффективные, с точки зрения повышения энергоэффективности на данном объекте, приняты следующие технические мероприятия» [30]:

– мероприятие по реконструкции (замене) устаревших и изношенных воздушных линий ВЛ-10 кВ на инновационные проводники марки СИП, обладающие более высокой надёжностью, практичностью, электробезопасностью, удобством монтажа и качеством. Благодаря данному мероприятию также снизятся потери электроэнергии за счёт меньшего удельного сопротивления проводов марки СИП по сравнению с проводами марки АС. Данное мероприятие принимается за основу в работе далее;

– замена масляных силовых трансформаторов марки ТМ-25/10 на другие марки (сухие, марки ТСЗГЛ, имеющие ряд преимуществ, в частности по потерям на короткое замыкание и холостой ход) либо на аналогичные трансформаторы меньшей номинальной мощности, тем самым повысив коэффициенты загрузки этих трансформаторов и снизив потери электроэнергии на холостой ход [5]. Окончательное решение по данному мероприятию принимается в работе далее на основании полученных результатов расчётов.

Указанные технические мероприятия взяты за основу и детально рассмотрены и исследованы в работе далее.

Выводы по разделу 2.

В результате выполнения второй главы магистерской диссертации «Повышение энергоэффективности системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов», на основании анализа объекта исследования и мероприятий по повышению эффективности, осуществлена разработка мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов, для чего рассмотрены и проанализированы следующие вопросы: общие сведения о станциях электрохимзащиты магистральных газопроводов, характеристика системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов, анализ мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов.

В результате написания второй главы получены результаты:

- установлено, что в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ, являющегося объектом исследования в работе, применяются блок-боксы со станциями электрохимзащиты защиты типа БСКЗ-Э, блок-боксы серии БСКЗ, модификация блок-боксов – БСКЗ-В-10-5-2-А-У1 в количестве трёх единиц;
- в результате проведения анализа на объекте исследования, приведены основные технические данные и характеристики всех установленных станций электрохимзащиты;
- в результате проведения анализа технического состояния объекта исследования установлено, что на всех станциях электрохимзащиты применяются устаревшие проводники марки АС, выработавшие свой ресурс и находящиеся в аварийном состоянии, а также применяются завышенные типономиналы силовых трансформаторов;

– после детально проведённого анализа, приняты основные организационные и технические мероприятия по повышению энергоэффективности на объекте исследования.

Исходя из перечисленных выше мероприятий по повышению энергоэффективности в ООО «Газпром трансгаз Югорск», а также учитывая приведённую ранее техническую информацию по объекту исследования, в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ, как наиболее эффективные, с точки зрения повышения энергоэффективности на данном объекте, приняты следующие технические мероприятия практического направления, а именно:

– мероприятие по реконструкции (замене) устаревших и изношенных воздушных линий ВЛ-10 кВ на инновационные проводники марки СИП, обладающие более высокой надёжностью, практичностью, электробезопасностью, удобством монтажа и качеством. Благодаря данному мероприятию также снизятся потери электроэнергии за счёт меньшего удельного сопротивления проводов марки СИП по сравнению с проводами марки АС. Данное мероприятие принимается за основу в работе далее;

– замена масляных силовых трансформаторов марки ТМ-25/10 на другие марки (сухие, марки ТСЗГЛ, имеющие ряд преимуществ, в частности по потерям на короткое замыкание и холостой ход) либо на аналогичные трансформаторы меньшей номинальной мощности, тем самым повысив коэффициенты загрузки этих трансформаторов и снизив потери электроэнергии на холостой ход. Окончательное решение по данному мероприятию принимается в работе далее на основании полученных результатов расчётов.

Целесообразность данных мероприятий практического направления детально исследуется, проверяется и обосновывается в работе далее на основании расчётных показателей.

### **3 Технико-экономическое обоснование мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов**

#### **3.1 Техническое обоснование мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов**

Учитывая приведённую ранее техническую информацию по объекту исследования, в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ, как наиболее эффективные, с точки зрения повышения энергоэффективности на данном объекте, приняты следующие технические мероприятия, эффективность применения которых детально исследуется в данном разделе:

– замена устаревших и изношенных воздушных линий ВЛ-10 кВ на инновационные проводники марки СИП, обладающие более высокой надёжностью, практичностью, электробезопасностью, удобством монтажа и качеством. Благодаря данному мероприятию также снизятся потери электроэнергии за счёт меньшего удельного сопротивления проводов марки СИП по сравнению с проводами марки АС.

– замена масляных силовых трансформаторов марки ТМ-25/10 на другие марки (сухие, марки ТСЗГЛ, имеющие ряд преимуществ, в частности по потерям на короткое замыкание и холостой ход) либо на аналогичные трансформаторы меньшей номинальной мощности, тем самым повысив коэффициенты загрузки этих трансформаторов и снизив потери электроэнергии на холостой ход [5]. Окончательное решение по данному мероприятию будет принято в работе далее на основании полученных результатов расчётов.

Помимо этого, внедрение мероприятий по энергоэффективности также приводит к решению вопросов экономического и технического характера, например, снижение расхода на монтаж, эксплуатацию и ремонт, искоренение краж и недоучёта электроэнергии (экономические потери электроэнергии), повышение надёжности систем электроснабжения и их отдельных элементов вследствие использования инновационных разработок, а также проведения модернизации и реконструкции сетей, систем и их элементов в системах электроснабжения различного типа.

Для осуществления технических мероприятий по замене проводов и силовых трансформаторов необходимо проведение специализированных расчетов. Требуется определить оптимальное сечение проводов и рассчитать наиболее приемлемое значения мощности для заменяемых трансформаторов.

«Известно, что выбор сечений воздушных линий электропередачи (ВЛЭП) осуществляется по экономической плотности тока по выражению» [10]

$$F_9 = \frac{I_H}{j_9}, \quad (5)$$

где  $I_H$  – «ток нормального режима, А» [10];

$j_9$  – «экономически выгодная плотность тока, А/мм<sup>2</sup>» [10].

Для питающих ВЛЭП воздушных линий ВЛ-10 кВ понизительных ТП-10/0,4 кВ в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов, искомый ток нормального режима будет определяться так [8]:

$$I_H = \frac{S_p}{\sqrt{3} \times U_{ном. \times n}}, \quad (6)$$

где  $S_p$  – расчётная мощность нагрузки всей соответствующей

понизительной подстанции 10/0,4 кВ системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов, кВА [7];

$n$  – «количество используемых цепей воздушных линий в соответствующем режиме работы, шт» [7].

В работе расчётная мощность нагрузки всей соответствующей понизительной подстанции 10/0,4 кВ системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов, принята равной номинальной мощности силовых трансформаторов ТП-10/0,4 кВ.

Для питающих ВЛЭП воздушных линий ВЛ-10 кВ понизительных ТП-10/0,4 кВ в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов, с учётом того, что расчётная мощность принята равной номинальной мощности силовых трансформаторов ТП-10/0,4 кВ, искомый ток нормального режима будет равен:

$$I_n = \frac{100}{\sqrt{3} \times 10 \times 1} = 5,8 \text{ А.} \quad (7)$$

Значение расчётного максимального тока послеаварийного режима воздушной ЛЭП-10 кВ (рассматривается послеаварийный режим, когда одна линия питает два силовых трансформатора понизительных подстанций в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов 10/0,4 кВ), а также с учётом условий резервирования [7]

$$I_a = 1,4 \frac{S_p}{\sqrt{3} \times U_{\text{ном.}} \times n}. \quad (8)$$

При этом при расчёте значения максимального расчётного тока принимается во внимание условия резервирования на ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов для всех остальных двухтрансформаторных понизительных ТП-10/0,4 кВ принято значение  $K_{\text{рез}}=1,4$  [7].



Для питающих ВЛЭП напряжением 10 кВ системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов с учётом того, что расчётная мощность принята равной номинальной мощности силовых трансформаторов ТП-10/0,4 кВ вычислим фазный ток в линии:

$$I_a = 1,4 \times 5,8 = 8,12 \text{ А.}$$

Выбор сечения по экономической плотности тока для питающих ВЛЭП-10 кВ понизительных ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов [7]

$$F_{э.р} = \frac{8,12}{1,1} = 7,4 \text{ мм}^2.$$

Условия проверки сечения в нормальном режиме работы [1]:

$$I_d > I_n \quad (9)$$

где  $I_d$  – «значение длительно – допустимого тока выбранного проводника стандартного сечения, А» [7].

Условия проверки сечения в послеаварийном режиме работы [1]:

$$I_d > I_a \quad (10)$$

«По условию механической прочности для проводов питающей воздушной линии электропередачи напряжением 10 кВ системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов должно выполняться следующее условие по минимальному сечению провода (III район по гололёду, ВЛ – общего пользования, одноцепная» [15]).

Исходя из этого, для питающих ВЛЭП напряжением 10 кВ выбирается самонесущий изолированный провод марки СИП-3 1x25 с длительно – допустимым током проводника  $I_{\partial} = 130 \text{ А}$  [15].

Проводятся проверки выбранного сечения проводника по нормальному, послеаварийному режиму, а также по механической прочности.

По условию (9)

$$130 \text{ А} > 5,8 \text{ А.}$$

Условие (9) выполняется.

По условию (10)

$$130 \text{ А} > 8,12 \text{ А.}$$

Условие (10) выполняется.

Для остальных питающих ТП-10/0,4 кВ выбор новых проводников марки СИП будет проведён аналогично.

С учётом того факта, что нагрузка у всех СКЗ одинакова, а также на всех питающих ТП-10/0,4 кВ установлены одинаковые трансформаторы, значит, марки и сечения проводов СИП для всех СКЗ будут также одинаковы.

Полученные результаты выбора и проверки проводов марки СИП для питающих ВЛЭП-10 кВ понизительных ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты выбора и проверки проводов марки СИП для питающих ВЛЭП-10 кВ понизительных ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов

Номер подстанции ЭХЗ	Наименование станции ЭХЗ	Кол-во х блоков, шт х кВт	Питающая линия			
			Тип линии	Марка провода СИП	Длина линии, км	$I_0$ , А
1	БСКЗ-В-10-5-2-А-У1	2х5	воздушная	СИП-3 1х25	5,0	130
2	БСКЗ-В-10-5-2-А-У1	2х5	воздушная	СИП-3 1х25	8,0	130
3	БСКЗ-В-10-5-2-А-У1	2х5	воздушная	СИП-3 1х25	10,0	130

С учётом схемы электрических соединений понизительных ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов, далее в работе необходимо провести выбор и проверку силовых трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ на допустимую загрузку активной мощностью как в нормальном, так и послеаварийном режиме работы системы.

Так как понизительные трансформаторы понизительных ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов питают также потребителей, большинство из которых относится ко второй категории надёжности, следовательно, на данных понизительных подстанциях устанавливаются два силовых трансформатора [4].

При выборе трансформаторов на питающей подстанции понизительных ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов необходимо также учесть нагрузку фактических потребителей станций ЭХЗ, которых питает эта ТП-10/0,4 кВ.

Выбор и проверка силовых трансформаторов на понизительных ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов в работе проводится по условию [24]

$$S_{\text{ном.т}} = \frac{P_p}{N \cdot \beta_m}, \quad (12)$$

где  $S_{\text{ном.т.}}$  – «номинальная (паспортная) мощность силового трансформатора, установленного на питающей ТП-10/0,4 кВ» [17];  
 $S_{\text{ном.т.р}}$  – «расчетная мощность силового трансформатора, установленного на питающей ТП-10/0,4 кВ, кВА» [17];  
 $P_p$  – «суммарная активная нагрузка потребителей СКЗ, которые получают питание от ТП-10/0,4 кВ, кВт» [17];  
 $N$  – «количество силовых трансформаторов, шт» [17];  
 $\beta_m$  – «нормируемый коэффициент загрузки трансформатора» [4].

Для ТП-10/0,4 кВ, питающей потребители первой подстанции ЭХЗ понизительных ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов, с учётом фактической нагрузки её потребителей (2 блока по 5 кВт – 10 кВт):

$$S_{\text{ном.т.}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{10}{2 \cdot 0,8} = 6,25 \text{ кВА.}$$

По полученным результатам расчёта, для установки на ТП-10/0,4 кВ, питающей потребители первой подстанции ЭХЗ понизительных ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ, с учётом фактической нагрузки её потребителей, в работе выбраны два силовых трансформатора марки ТСЗ-25/10 [12].

Данные трансформаторы – сухого типа. Они не имеют масла и зарекомендовали себя при эксплуатации и ремонте значительно лучше, чем классические трансформаторы типа ТМ.

Трансформаторы марки ТСЗ имеет две обмотки и выбраны для применения в условиях умеренного климата.

Далее в работе осуществляется проверка этого же силового трансформатора в послеаварийном режиме работы, с учётом подключения

дополнительной нагрузки сторонней секции сборных шин 10 кВ в случае выхода в аварийный режим второй питающей линии или трансформатора по каким-либо причинам [11].

Проверка проводится при условии работы, когда один из силовых трансформаторов по какой-либо причине вышел из строя и требуется автоматическое переключение его нагрузки на другой трансформатор, оставшийся в работе.

Проверяется выбранный трансформатор по перегрузочной способности при аварийном отключении второго трансформатора.

Проверка выбранных трансформаторов в нормальном режиме по допустимому коэффициенту загрузки с учётом фактической нагрузки подстанций ЭХЗ [12]

$$K_3^H = \frac{S_p}{S_{ном.т}} \leq 0,8. \quad (13)$$

Проверка выбранных трансформаторов в послеаварийном режиме по допустимому коэффициенту загрузки с учётом фактической нагрузки подстанций ЭХЗ [12]

$$K_3^{n.ав} = \frac{1,4S_p}{S_{ном.т}} \leq 1,6. \quad (14)$$

Для установки на ТП-10/0,4 кВ, питающей потребители первой подстанции ЭХЗ понизительных ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов в нормальном и послеаварийном режимах работы, выбранный тип трансформаторов соответствует условиям проверок:

$$K_3^H = \frac{6,25}{25} = 0,25 \leq 0,8.$$

$$K_3^H = \frac{1,4 \cdot 6,25}{25} = 0,35 \leq 0,8.$$

Окончательно принимается для установки на ТП-10/0,4 кВ, питающей потребителя первой подстанции ЭХЗ понизительных ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов, два силовых трансформатора марки ТСЗ-25/10.

Аналогично проведён выбор трансформаторов на остальных питающих ТП-10/0,4 кВ станций электрохимзащиты магистральных газопроводов и результаты представлены в виде таблицы 3.

Таблица 3 – Выбор трансформаторов на питающих ТП-10/0,4 кВ станций электрохимзащиты магистральных газопроводов

Номер подстанции ЭХЗ	Наименование станции ЭХЗ	Кол-во х блоков, шт х кВт	Количество трансформаторов, шт	Марка трансформатора	Выполнение условий проверки
1	БСКЗ-В-10-5-2-А-У1	2х5	2	ТСЗ-25/10	Да
2	БСКЗ-В-10-5-2-А-У1	2х5	2	ТСЗ-25/10	Да
3	БСКЗ-В-10-5-2-А-У1	2х5	2	ТСЗ-25/10	Да

Далее на основании принятых технических решений, подтверждённых в работе, проводится техническое обоснование внедряемых мероприятий по повышению энергоэффективности на объекте исследования.

Данное обоснование проводится, исходя из величины потерь электроэнергии до и после внедрения принятых решений по минимизации потерь электроэнергии путём внедрения соответствующих мероприятий по реконструкции объекта.

Потери активной мощности в линии трехфазной электрической сети в нормальном режиме определяются:

$$\Delta P^H = 3(I_p^H)^2 \cdot r_o \cdot \tau, \text{ кВт}, \quad (15)$$

где  $I_p^H$  – расчетный ток нормального режима, А;

$L$  – длина ВЛ, км.

Потери активной электроэнергии в воздушных линиях электропередачи определяются так:

$$\Delta W_a = \Delta P^H \cdot \tau, \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (16)$$

где  $\tau$  – время наибольших потерь, ч.

При этом:

$$\tau = (0,124 + T_{max} \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760, \quad (17)$$

где  $T_{max}$  – годовое число часов использования максимума нагрузки, [3], принимается  $T_{max}=7650$  ч, т.к. ВЛ 10 кВ работают в непрерывном режиме).

$$\tau = (0,124 + 7650 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 = 7787,6 \text{ ч.}$$

Проводится расчёт на примере участка ВЛ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ, питающей потребителя первой подстанции ЭХЗ понизительных ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ.

До мероприятий по повышению энергоэффективности (провод марки АС-25, длина линии – 5 км)

$$\Delta P^H = 3 \cdot 5,8^2 \cdot 0,576 \cdot 5 = 290,6 \text{ кВт.}$$

$$\Delta W_a = 290,6 \cdot 7787,6 = 2263462,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

После мероприятий по повышению энергоэффективности (провод марки СИП-3 3x25, длина линии – 5 км):

$$\Delta P^H = 3 \cdot 5,8^2 \cdot 0,44 \cdot 5 \approx 222 \text{ кВт.}$$

$$\Delta W_a = 222 \cdot 7787,6 = 1729034,1 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Результаты расчёта потерь активной мощности и электроэнергии в остальных питающих воздушных линиях 10 кВ до и после внедрения мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчёта потерь активной мощности и электроэнергии в питающих воздушных линиях 10 кВ до и после внедрения мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов

Номер подстанции ЭХЗ	Длина линии, км	Питающая линия до внедрения мероприятий			Питающая линия после внедрения мероприятий		
		Марка провода	$\Delta P^H$ , кВт	$\Delta W_a$ , кВт·ч.	Марка провода	$\Delta P^H$ , кВт	$\Delta W_a$ , кВт·ч.
1	5,0	АС-25/4,2	290,6	2263462,8	СИП-3 1x25	222,0	1729034,1
2	8,0	АС-25/4,2	465,0	3621540,5	СИП-3 1x25	355,2	2766454,6
3	10,0	АС-25/4,2	581,2	4526925,6	СИП-3 1x25	444,0	3458068,2
Всего по ЭХЗ		-	1336,8	10411928,9	-	1021,2	7953556,9

В работе практическим расчётом подтверждено, что мероприятие по замене проводов марки АС-25 на провода СИП-3 1x25 на участках ВЛ-10 кВ, питающих потребители подстанций ЭХЗ понизительных ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ, технически эффективно, так как значительно увеличивает пропускную способность ВЛ-10 кВ, а также снижает величину потерь мощности и электроэнергии в ней.



Сравнение потерь активной мощности в линии питания до реконструкции и после можно видеть на рисунке 11. В результате проведенных мероприятий потери уменьшились на 2458372 кВт·ч, что составляет 23,6 % от значения потерь мощности до проведения реконструкции в процентном отношении.

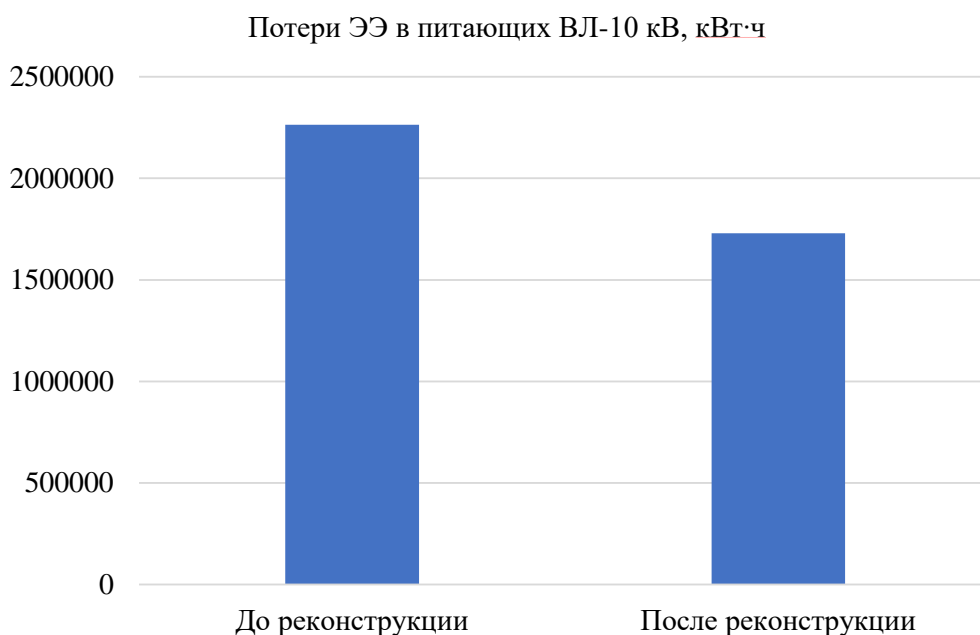


Рисунок 11 – Потери электроэнергии в питающих ВЛ-10 кВ до и после проведения реконструкции

Далее проводится техническое обоснование внедрения второго мероприятия по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ, осуществляемое путём замены силовых трансформаторов марки ТМ-100/10 на трансформаторы марки ТСЗ-25/10.

Техническое обоснование данного мероприятия также проводится через величину потерь электроэнергии до и после внедрения мероприятий.

Объем потерь электроэнергии в силовых трансформаторах на питающих ТП-10/0,4 кВ станций ЭХЗ за календарный год определяется следующим образом [20]:

$$\Delta W_m = n \cdot \Delta P_{xx} \cdot T_\tau + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{кз} \cdot K_3^2 \cdot \tau_{max}, \quad \text{кВт} \cdot \text{ч}, \quad (18)$$

где  $\Delta P_{xx}, \Delta P_{кз}$  – удельные потери мощности ХХ и КЗ силового трансформатора в кВт;

$K_3$  – коэффициент загрузки трансформаторов;

$n$  – количество работающих параллельно силовых трансформаторов;

$T_\tau$  – суммарное время работы силового трансформатора за год, ч.

В соответствии с [5] для режима работы потребителя принимается в работе тоже значение, что и для питающих ВЛ-10 кВ ранее, значит для значения  $T_\tau = T_{max} = 7650$  ч.

Аналогично время максимальных потерь электроэнергии составляет  $\tau = 7787,6$  ч.

Далее производится расчет потерь электроэнергии в двух силовых трансформаторах ТП-10/0,4 кВ, питающей потребителя первой подстанции ЭХЗ понизительных ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ до проведения реконструкции.

При этом учитывается, что трансформаторы работают отдельно. Поэтому с учётом количества трансформаторов до проведения мероприятий по реконструкции:

$$\Delta W_{m.1} = 1 \cdot 2,45 \cdot 7650 + \frac{1}{1} \cdot 11 \cdot 0,05^2 \cdot 7787,6 = 4013875,1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

$$\Delta W_m = 2 \cdot 4013875,1 = 8027750,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Итого потери электроэнергии до реконструкции в двух трансформаторах за год составляют 8027750,2 кВт·ч.

Теперь рассчитываются планируемые потери электроэнергии в год после завершения мероприятий по реконструкции подстанции с заменой старых и установкой двух новых трансформаторов сухого типа.

При этом в работе также предполагается, что трансформаторы на питающей подстанции станции ЭХЗ объекта исследования работают раздельно.

Поэтому:

$$\Delta W_{m.2} = 1 \cdot 0,25 \cdot 7650 + \frac{1}{1} \cdot 0,22 \cdot 0,3^2 \cdot 7787,6 = 2259701,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

$$\Delta W_m = 2 \cdot 2259701,5 = 4519403 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Итого планируемые расчетные потери электроэнергии после произведенной реконструкции в двух трансформаторах ТСЗ-25/10 за год составят 4519403 кВт·ч.

Результаты расчёта потерь мощности и электроэнергии в остальных понизительных силовых трансформаторах ТП-10/0,4 кВ до и после внедрения мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты расчёта потерь мощности и электроэнергии в понизительных силовых трансформаторах ТП-10/0,4 кВ до и после внедрения мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов

Номер подстанции ЭХЗ	Количество трансформаторов, шт.	Понизительная ТП-10/0,4 кВ до внедрения мероприятий		Понизительная ТП-10/0,4 кВ после внедрения мероприятий	
		Марка трансформатора	$\Delta W_m$ , кВт·ч.	Марка трансформатора	$\Delta W_m$ , кВт·ч.
1	2	ТМ-100/10	8027750,2	ТСЗ-25/10	4519403,0
2	2	ТМ-100/10	8027750,2	ТСЗ-25/10	4519403,0
3	2	ТМ-100/10	8027750,2	ТСЗ-25/10	4519403,0
Всего по ЭХЗ		-	24083250,6	-	13558209,0

Сравнение потерь активной мощности на трансформаторах до реконструкции и после можно видеть на рисунке 12. В результате проведенных мероприятий потери уменьшились на 3508347,2 кВтч, что составляет 43,7 % от значения потерь мощности до проведения реконструкции в процентном отношении.

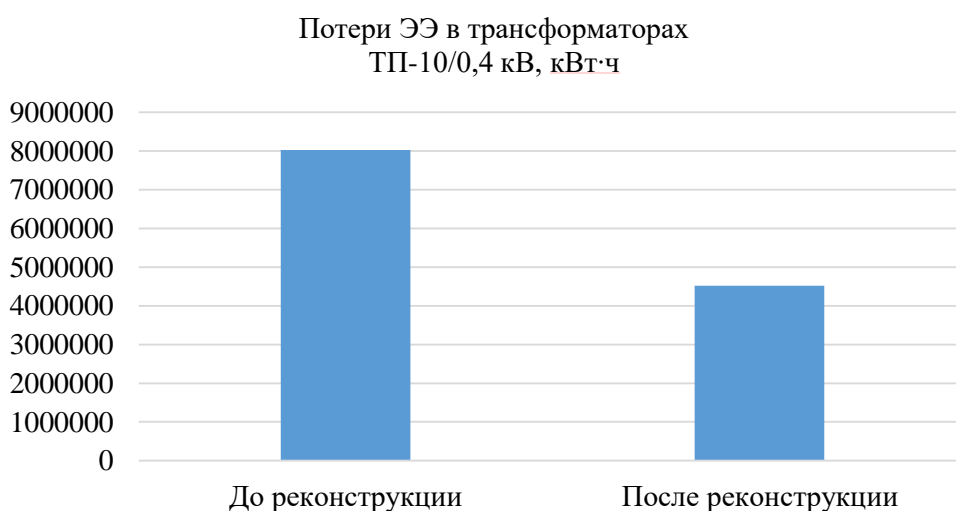


Рисунок 12 – Потери электроэнергии в трансформаторах ТП-10/0,4 кВ до и после проведения реконструкции

В работе практическим расчётом подтверждено, что мероприятие по замене силовых трансформаторов с марки ТМ-100/10 на марки ТСЗ-25/10 на ТП-10/0,4 кВ, питающих потребители подстанций ЭХЗ системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ, технически эффективно, так как значительно снижает величину потерь мощности и электроэнергии в силовых трансформаторах.

Следовательно, в результате внедрённых мероприятий по повышению энергоэффективности путём данной реконструкции на понизительных ТП-10/0,4 кВ, установлено следующее:

– потери активной электроэнергии после проведённой реконструкции на одной ТП-10/0,4 кВ с учётом количества трансформаторов уменьшились на 3508347,2 кВт·ч, что составляет 43,7 % от значения потерь электроэнергии на одной ТП с двумя трансформаторами до проведения реконструкции в процентном отношении;

– суммарные потери активной электроэнергии после проведённой реконструкции на всех ТП-10/0,4 кВ с учётом количества трансформаторов уменьшились на 10525041,6 кВт·ч, что составляет 43,7 % от значения потерь электроэнергии на всех ТП с двумя трансформаторами до проведения реконструкции в процентном отношении.

Значит, предложенные в работе мероприятия выгодны с технической стороны.

Окончательный вывод по целесообразности внедрения данных мероприятий по повышению энергоэффективности проводится в работе далее после экономического обоснования данных мероприятий.

### **3.2 Экономическое обоснование мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов**

После технического обоснования внедрения мероприятий по повышению энергоэффективности в системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ установлено, что предложенные мероприятия по реконструкции питающих ВЛ-10 кВ с заменой проводов, а также мероприятие по реконструкции понизительных ТП-10/0,4 кВ с заменой силовых трансформаторов, приводят к значительным снижениям потерь электроэнергии.

В виду этого, на основании полученных в работе результатов, проводится экономическое обоснование внедрения данных мероприятий в систему электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ.

При этом получена следующая разница в потерях электроэнергии до и после внедрения соответствующих мероприятий, а именно:

- в результате внедрённых мероприятий по повышению энергоэффективности путём реконструкции питающих ВЛ-10 кВ, установлено, что суммарные потери активной электроэнергии после проведённой реконструкции уменьшились на 2458372 кВт·ч;
- в результате внедрённых мероприятий по повышению энергоэффективности путём данной реконструкции на понизительных ТП-10/0,4 кВ, установлено, что суммарные потери активной электроэнергии уменьшились на 10525041,6 кВт·ч.

Исходя из полученных результатов, определяется стоимость разницы потерь электроэнергии в денежном эквиваленте (экономический эффект в долгосрочной перспективе) по формуле:

$$\mathcal{E} = \Delta W_a \cdot C, \text{ руб.} \quad (19)$$

где  $C$  – стоимость 1 кВт·ч потреблённой электроэнергии. Принимается для Свердловской области по состоянию на 2022 год, значение  $C=4,73$  руб. при одноставочном тарифе [16].

Следовательно, экономический эффект в долгосрочной перспективе от внедрения мероприятий по повышению энергоэффективности путём реконструкции питающих ВЛ-10 кВ будет равен:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_1 &= 2458372 \cdot 4,73 = 11628099,56 \text{ руб} \approx 11628100 \text{ руб.} \\ &= 11628,1 \text{ тыс. руб.} \end{aligned}$$

Экономический эффект в долгосрочной перспективе от внедрения мероприятий по повышению энергоэффективности путём реконструкции понизительных ТП-10/0,4 кВ будет равен:

$$\mathcal{E}_2 = 10525041,6 \cdot 4,73 = 49783446,8 \text{ руб} \approx 49783,4 \text{ тыс. руб.}$$

Суммарный экономический эффект в долгосрочной перспективе от внедрения мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ

$$\mathcal{E}_\Sigma = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2, \text{ руб.} \quad (20)$$

Значит

$$\mathcal{E}_\Sigma = 11628,1 + 49783,4 = 61411,5 \text{ тыс. руб.}$$

В результате проведения расчётов установлено, что суммарный экономический эффект в долгосрочной перспективе от внедрения мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ составил 61411,5 тыс. руб.

Учитывая полученные результаты, на основе [18] можно сделать вывод, что данные мероприятия по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ экономически эффективны. Экономический эффект от внедрения мероприятий показан на рисунке 13. Следовательно, они окончательно могут быть рекомендованы для применения на объекте исследования в долгосрочной перспективе.



Рисунок 13 – Экономический эффект от внедрения мероприятий по повышению энергоэффективности на объекте исследования



Выводы по разделу 3.

В результате выполнения третьей главы магистерской диссертации «Повышение энергоэффективности системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов», на основании анализа объекта исследования и мероприятий по повышению эффективности, проведено технико-экономическое обоснование мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов.

Мероприятия заключаются в реконструкции питающих воздушных линий 10 кВ станций электрохимзащиты и понизительных трансформаторных подстанций объекта исследования.

На основе технико-экономической оценки реконструкции питающих ВЛ-10 кВ, установлено следующее:

- потери активной мощности после проведённой реконструкции уменьшатся на 2458372 кВт, что составит 23,6 % от значения потерь мощности до проведения реконструкции в процентном отношении;
- потери активной электроэнергии после проведённой реконструкции снизятся на 2458372 кВт·ч, что составит 23,6 % от значения потерь активной электроэнергии до проведения реконструкции в процентном отношении.

На основе проведенных технико-экономических расчетов по оценке по оценке эффективности реконструкции понизительных ТП-10/0,4 кВ, установлено следующее:

- потери активной электроэнергии после проведённой реконструкции на одной ТП-10/0,4 кВ с учётом количества трансформаторов уменьшатся на 3508347,2 кВт·ч, что составит 43,7 % от значения потерь электроэнергии на одной ТП с двумя трансформаторами до проведения реконструкции в процентном отношении;
- суммарные потери активной электроэнергии после проведённой реконструкции на всех ТП-10/0,4 кВ с учётом количества трансформаторов

уменьшится на 10525041,6 кВт·ч, что составит 43,7 % от значения потерь электроэнергии на всех ТП с двумя трансформаторами до проведения реконструкции в процентном отношении.

Таким образом, предложенные в работе мероприятия выгодны с технической стороны.

Суммарный экономический эффект в долгосрочной перспективе от внедрения мероприятий по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ составит 61411,5 тыс. руб.

Таким образом, предложенные мероприятия по повышению энергоэффективности в системе электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ экономически эффективны. Следовательно, они могут быть рекомендованы для применения на объекте исследования в долгосрочной перспективе.

## Заключение

В результате выполнения работы обоснована необходимость повышения энергоэффективности системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ.

Для выбора комплекса мероприятий по повышению энергоэффективности системы электроснабжения станций электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ проведен анализ нормативной, технической и научной информации, касающийся способов решения аналогичных проблем. При этом выявлено:

- в данном вопросе пристальное внимание уделяется теоретической и методологической базе, связанной с анализом целей, задач, методов и типов мероприятий для их обоснованного применения в системах электроснабжения предприятий;

- при разработке программ энергосбережения на предприятиях рекомендуется применять комплексный подход, включающий проведение энергетического аудита, энергоменеджмента, разработку проекта, привлечение инвестиций, получение результата и мониторинг данных;

- имеется базовый алгоритм анализа энергетического комплекса и типовая структура программы энергетической эффективности предприятий, которых целесообразно придерживаться на стадии разработки проекта;

- на стадии внедрения программы энергосбережения на предприятии, следует выделять группы организационных и технических мероприятий.

Проведен анализ электрооборудования станций электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ, в ходе которого выявлены ключевые элементы и проблемные места, имеющиеся в системе электроснабжения объекта исследования. В частности констатировано:

– для осуществления электрохимзащиты магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Югорск» Филиал - Краснотурьинское ЛПУМГ применяются три блок-боксы серий БСКЗ-Э и БСКЗ;

– для организации питания станций электрохимзащиты применяются устаревшие проводники марки АС, выработавшие свой ресурс и находящиеся в аварийном состоянии;

– на трансформаторных подстанциях объекта исследования применяются завышенные типономиналы силовых трансформаторов.

На основе проведенного анализа сделан выбор о разработке мероприятий по повышению энергоэффективности объекта, имеющих технический характер. В частности предложено:

– произвести замену устаревших и изношенных воздушных линий ВЛ-10 кВ на инновационные проводники марки СИП, обладающие более высокой надёжностью, практичностью, электробезопасностью, удобством монтажа и качеством, а также меньшим удельным сопротивлением по сравнению с проводами марки АС;

– заменить силовые масляные трансформаторы ТМ-100/10 на ТСЗ-25/10, что позволит повысить их коэффициенты загрузки и снизить потери электроэнергии на холостой ход.

Проведена технико-экономическая оценка предложенных технических мероприятий по повышению энергоэффективности, в ходе которой установлено:

– потери активной мощности после проведённой реконструкции уменьшаться на 2458372 кВт, что составит 23,6 % от значения потерь мощности до проведения реконструкции в процентном отношении;

– потери электроэнергии после проведённой реконструкции на одной ТП-10/0,4 кВ с учётом количества трансформаторов уменьшаться на 3508347,2 кВт·ч, что составляет 43,7 %;

– суммарные потери активной электроэнергии после проведённой реконструкции на всех ТП-10/0,4 кВ уменьшаться на 10525041,6 кВт·ч, что составит 43,7 %;

– суммарный экономический эффект в долгосрочной перспективе от внедрения мероприятий по повышению энергоэффективности составит 61411,5 тыс. руб.

Полученные результаты свидетельствуют о повышении энергоэффективности системы электроснабжения и станции электрохимзащиты в целом. Таким образом, цель данной выпускной квалификационной работы достигнута.

Учитывая полученные результаты, на основе положений и рекомендаций нормативных документов, можно сделать вывод, что данные мероприятия экономически эффективны и целесообразны. Следовательно, они могут быть рекомендованы для применения на объекте исследования, а также на аналогичных объектах, в долгосрочной перспективе. Что свидетельствует о практической значимости результатов работы.

## Список используемых источников

1. Арутюнян А.А. Основы энергосбережения. Методы расчета и анализа потерь электроэнергии, энергетическое обследование и энергоаудит, способы учета и снижения потерь, экономический эффект – М: Энергосервис, 2017. 621 с.
2. БСКЗ-Э. ООО «Озёрский завод энергоустановок». Режим доступа: <https://www.ozeu.ru/catalog/ehz/bskz-e.shtml> Дата обращения: 12.12.2021
3. Булатов И. С. Энергосбережение в промышленности – И.С. Булатов. - М.: Мир, 2012. 148 с.
4. Войтов О. Н. Алгоритмы оценки потерь электроэнергии в электрической сети и их программная реализация. – Электричество. 2015. № 10.
5. Воротницкий В.Э. Потери электроэнергии в электрических сетях: анализ и опыт снижения – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2016. – 104 с.
6. Воротницкий В.Э. Расчет, нормирование и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях. Уч. – метод. пособ. – М.: ИПК. 2014.
7. Гордеев А. С., Огородников Д.Д., Юдаев И.В. Энергосбережение в сельском хозяйстве. Учебное пособие – М.: Лань, 2014. - 400 с.
8. Железко Ю. С. Минимизация потерь электроэнергии в электрических сетях. Программное обеспечение расчетов. – Электрические станции. 2015. № 9.
9. Железко Ю. С. Методы и модели расчёта и снижения потерь электроэнергии в сетях 0,38-220 кВ. - Электрические станции. 2017. № 3.
10. Лисенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладышев М.Г. Хрестоматия Энергосбережения – М.: Гостехиздат, 2015. 439 с.
11. Макаров Е. Ф. Резервы снижения потерь электроэнергии в распределительных сетях. – Электрические станции. – 2017. – № 3.

12. Меркер Э. Э. Энергосбережение в промышленности и эксергетический анализ технологических процессов. Учебное пособие – М.: Высшая школа, 2014. 316 с.
13. ООО «Газпром трансгаз Югорск». Режим доступа: <https://yugorsk-tr.gazprom.ru/> Дата обращения: 12.12.2021
14. Основы энергосбережения промышленных предприятий. - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2005. 971 с.
15. Правила устройства электроустановок. – М.: Главгосэнергонадзор России, 2016. 692 с.
16. Самарин О. Д. Техничко-экономические основы теплотехнической безопасности и энергосбережения в зданиях и сооружениях – М.: МГСУ, 2007. 160 с.
17. Самарин О. Д. Энергосбережение. Энергоэффективность – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2011. 296 с.
18. Свидерская О. В. Основы энергосбережения – М.: ТетраСистемс, 2009. 176 с.
19. Семенов В.С. Основы энергосбережения – М.: Книга по Требованию, 2013. 259 с.
20. Сибикин Ю. Д, Сибикин М.Ю. Технология энергосбережения. Энергоэффективность – М.: Форум, 2012. 352 с.
21. Сибикин Ю. Д. Электроснабжение. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.
22. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. - М.: ЭНАС, 2018. 312 с.
23. СТО 56947007-29.240.30.010-2008. «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.twirpx.com/file/24666/> (дата обращения: 12.04.2022).

24. СТО Газпром 398.45.4037.5-2002. Требования к обеспечению запаса мощности силовых трансформаторов ЭХЗ – Электронная библиотека Газпром, 2002. 127 с.
25. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об энергосбережении, повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
26. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. – М.: Форум, Инфра. 2015. 136 с.
27. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года. Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р – М.: Министерство энергетики, 2020. 142 с.
28. Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения. ГОСТ Р 51387-99. - Л.: Энергия, 2014. 201 с.
29. Copley P. Marketing Communications Management: Concepts and Theories, Cases and Practices. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2014. 441 p.
30. Hirsch J.E. An Index to Quantify an Individual's Scientific Research Output that Takes into Account the Effect of Multiple Co-authorship. Scientometrics, 2020, vol. 85, no. 3, pp. 741–754. doi: 10.1007/s11192-010-0193-9
31. Lezhniuk P., Netrebskiy V., Teptia V., Vydmysh V. Hamilton’s Principle as the Method of Self-Optimization Electric Systems. Nauka i Studia. Przemysl. 2019. №5 (136). P. 63–69. ISSN 1561–6894.
32. Lezhnyuk P.D., Petrushenko O.J., Petrushenko J.V. Approximation of implicitly expressed optimality criteria by pozynom and analysis of their sensitivity. Materials digest of the XXXIX international Research and Practice Conference “Physico-mathematical and technical sciences as postindustrial foundation of the informational society evolution”. London, 2018. P. 23–26.
33. Potter E.H. Branding Canada. Projecting Canada’s Soft Power through Public Diplomacy. Montreal: McGill-Queen’s University Press, 2019. 464 p.