Министерство образования Республики Беларусь

Белорусский национальный технический университет

Энергетический факультет

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ – 2024

Материалы студенческой научно - технической конференции

Электронное научное издание

Минск 2024

УДК 620.9(06)
ББК 31 я 43
А 43

С о с т а в и т е л и:
Прокопеня Иван Николаевич
Петровская Татьяна Александровна

Р е ц е н з е н т
Заведующий технологическим отделом инженерно-технологического центра РУП «БЕЛТЭИ»,
к.т.н., доцент Бобич А.А.

В сборник включены материалы студенческой научно-технической конференции по секциям: «Электроснабжение»; «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника»; «Электроника и электротехника»; «Тепловые электрические станции».

Белорусский национальный технический университет.
Энергетический факультет.
пр - т Независимости, 65/2, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: (017) 293-92-16 Факс: 292-71 -73
E-mail: ef@bntu.by
https://bntu.by/faculties/ef

© Прокопеня И.Н. редак., компьютерный дизайн.
© БНТУ ЭФ, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

1. СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ 4
2. СЕКЦИЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА 113
3. СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОНИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА 246
4. СЕКЦИЯ ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ 360

СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

ЭНЕРГИЯ ПРИЛИВОВ. ПРИЛИВНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ.

С.А. Афанасьев
Научный руководитель – С.В. Константинова, к.т.н., доцент

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

А.М. Ярохович, Я.А. Семенчук
Научный руководитель – В.Б. Козловская, к.т.н, доцент

ЗАЗЕМЛЕНИЕ ЭКРАНОВ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ

П.А. Крупень
Научный руководитель – В.Н. Калечиц, к.т.н.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЗА СЧЕТ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОХЛАЖДЕНИЯ

Э.Д. Мацулевич, А.М. Тарасова
Научный руководитель – В.П. Счастный, к.т.н., доцент

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДУЛЬНЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ И АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ В ЛИТОМ КОРПУСЕ ДО 100 А В СЕТЯХ 0,4/0,23 КВ

А.Д.Решетов,Н.Д. Бань
Научный руководитель – Т.М. Жуковская, преподаватель

СВЕТОДИОДЫ: ПРЕИМУЩЕСТВА, НЕДОСТАТКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

П.А. Чибисова, Е.М. Ермоленко
Научный руководитель – Е.А. Дерюгина, к.т.н., доцент

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ НА ПРИМЕРЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

А.Д. Бобко, Е.О Лугавцов.
Научный руководитель – Н.А. Лозовская, ассистент

МЕТОДИКА ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ ВУЗА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ДИСЦИПЛИНАМ НА ОСНОВЕ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ СВЯЗЕЙ

В.А. Малецкая
Научный руководитель – Е.А. Дерюгина, к.т.н., доцент

ТРАНСФОРМАТОРЫ С ФУНКЦИЕЙ ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

И.И. Кирилюк, М.Е. Савашинский
Научный руководитель – В.П. Счастный, к.т. н., доцент

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ УДАЛЕННЫХ СЕЛЬСКИХ РАЙОНОВ

Е.О. Лугавцов, А.Д. Бобко
Научный преподаватель – В.А. Малецкая, преподаватель-стажер

МОДУЛЬНЫЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ, МОДУЛЬНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ НАГРУЗКИ

В.А. Буров
Научный руководитель – В.Б. Козловская, к.т.н., доцент

АККУМУЛЯТОРНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Д.В. Кухновец, М.С. Марцинкевич
Научный руководитель – А.В. Кажецкая, преподаватель-стажер

СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

А.Д. Бобко
Научный руководитель – В.А. Малецкая, преподаватель-стажёр

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ПЕРЕХОДА К «ЗЕЛЕНОЙ» ЭНЕРГЕТИКЕ

Д.М. Густарник, М.С. Каминский
Научный руководитель – В.А. Малецкая, преподаватель-стажёр

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ В ИНДУКЦИОННЫХ НАГРЕВАТЕЛЯХ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

И.А. Черник, Д.А. Давыдович
Научный руководитель – В.П. Счастный, к.т.н., доцент

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ

А.М. Артишевский
Научный руководитель – С.В. Константинова, к.т.н., доцент

ОСНОВНЫЕ СРЕДСТВА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Н.А. Лозовская
Научный руководитель – Е.А. Дерюгина, к.т.н., доцент

АМОРФНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

С.А. Афанасьев
Научный руководитель – С.В. Константинова, к.т.н., доцент

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ИНТЕГРАЦИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ЭНЕРГОСИСТЕМУ

Ю.И. Богданов, Д.В. Бурдук
Научный руководитель – Н.Е. Шевчик, к.т.н., доцент

ИСТОРИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ПЕРВОЙ МИНСКОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Я.В. Тибеж
Научный руководитель – Е.А. Дерюгина, к.т.н., доцент

УДК 621.311

ЭНЕРГИЯ ПРИЛИВОВ. ПРИЛИВНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ. TIDAL ENERGY. TIDAL POWER PLANTS.

С.А. Афанасьев
Научный руководитель – С.В. Константинова, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
S. Afanasiev
Supervisor – S. Konstantinova, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В статье рассматривается устройство и принцип работы приливных электростанций (ПЭС) как одного из перспективных источников возобновляемой энергии. Описаны типы турбин, применяемых на ПЭС, такие как турбины Пелтона, Каплана, Френсиса и Горлова, а также различные конструкции приливных станций (дамбы, плотины, лагуны, генераторы приливного потока). Приведены достоинства и недостатки приливных электростанций, отмечены экологические преимущества и технические сложности при их реализации.*

Abstract: *The article deals with the design and principle of operation of tidal power stations (TPS) as one of the promising sources of renewable energy. The types of turbines used in PES, such as Pelton, Kaplan, Francis and Gorlov turbines, as well as various designs of tidal stations (dikes, dams, lagoons, tidal stream generators) are described. Advantages and disadvantages of tidal power plants are given, environmental advantages and technical difficulties in their realization are noted.*

Ключевые слова: *приливные электрические станции, турбины, ЛЭП.*
Keywords: *tidal power stations, turbines, transmission lines*

Введение

Рассмотрим устройство и принцип работы Приливных электростанций, а также разберем, что такое энергия приливов, достоинства и недостатки Приливных Электрических Станций (ЭС) от других видов ЭС.

Со стороны ученых не первый год звучат предупреждение о экологических проблемах, связанных с истощением природных ресурсов, более того использование многих природных ископаемых ведет к образованию вредных продуктов сгорания, которые негативно влияют на окружающую среду.

Основная часть

Энергия приливов – это форма энергии, получаемая из преобразования энергии от естественного подъема и спада уровня воды в электричество. Приливы и отливы, вызванные одновременным воздействием со стороны гравитационных сил, оказываемых Луной, Солнцем и вращением Земли.

Хотя приливная энергия еще не получила широкого распространения, она имеет потенциал для будущего производства электроэнергии. Приливы более предсказуемы, чем ветер и солнце. Среди источников возобновляемой энергии приливная энергия традиционно страдает от относительно высокой стоимости и

ограниченной доступности мест с достаточно высокими диапазонами приливов или скоростями потока, что ограничивает ее общую доступность.

Однако, многие недавние технологические разработки и усовершенствования, как в конструкции (например, динамическая приливная сила, приливные лагуны), так и в турбинной технологии (например, новые осевые турбины, турбины с поперечным потоком), указывают на то, что общая доступность приливной мощности может быть значительно выше, чем предполагалось ранее. Экономические и экологические издержки могут быть снижены до конкурентного уровня. [1]

Приливные ЭС могут устанавливаться только вдоль на береговых линиях. Каждые сутки на береговых линиях возникают два прилива и два отлива. Для производства электроэнергии разница должна быть между уровнями воды не менее пяти метров. Приливная энергия может быть преобразована в электрическую несколькими способами: Приливными ЭС, дамбы или приливные плотины и турбины. Для строительства Приливной ЭС, нужно обратить внимание, что самые высокие колебания уровня воды находятся у берегов моря, и могут располагаться далеко от экономических центров, а это значит от крупных потребителей электроэнергии. Также маломощные Приливные ЭС плохо окупаются, поэтому выгодными считаются приливные ЭС от 5 ГВт и выше.

Приливная ЭС (ПЭС) – это вид гидроэлектростанции, использующий энергию приливов для выработки электричества. Первая ПЭС была построена в Ливерпуле в 1913 году. В неё устанавливают гидротурбины, преобразующие кинетическую поступательную энергию воды в вращательную, в период прилива вода проходит через гидротурбину запуская процесс, после начала отлива сквозь гидротурбину протекает дополнительно набранная масса воды уже в обратном направлении. Благодаря увеличению объема воды происходит большая выработка электроэнергии. Приливные ЭС разделяются: Приливные лагуны, Приливные плотины, Дамбы, Генераторы приливного потока, Динамичские ЭС. По мощности ПЭС делятся: высокомощные (мощность выше100МВт), маломощные (менее 100 МВТ).

Дамба использует потенциальную энергию, которая вызвана изменением высоты между приливом и отливом. Энергия вращает лопасти турбины или сжимает воздух, что приводит к производству электричества (рис. 1).

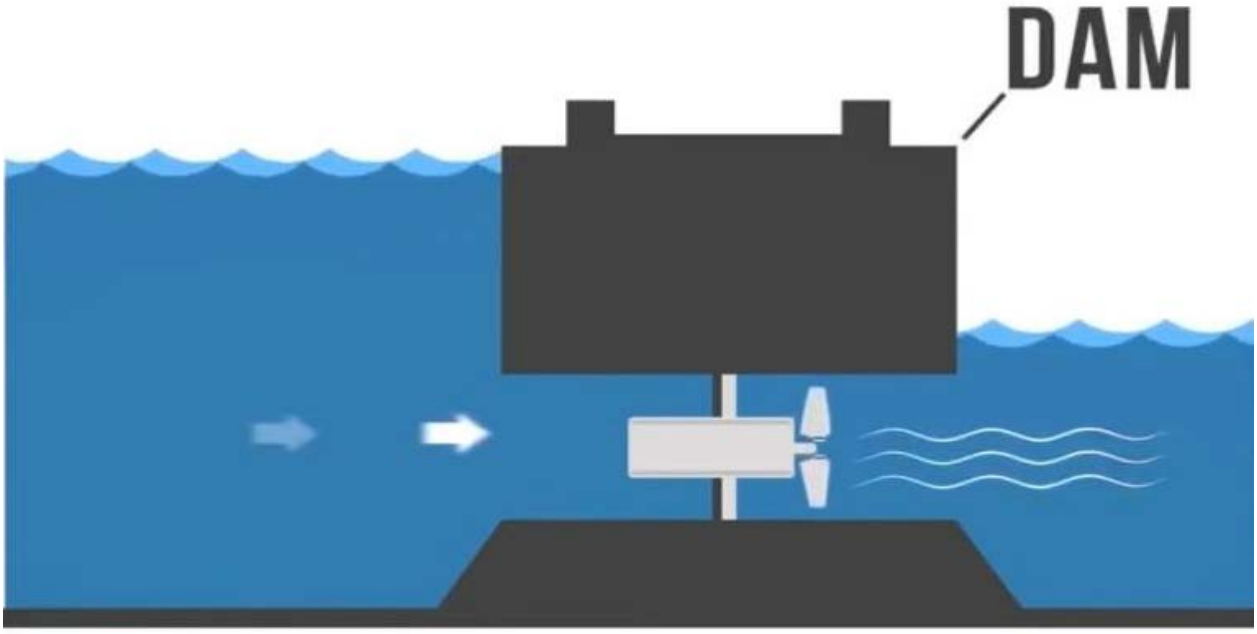


Рисунок 1 – Дамба с вращающейся турбиной.

Рассмотрим приливные плотины, в указанном виде ПЭС (рис. 2). Во время работы используется большой объем воды и удерживает до момента наступление отлива. Движение воды происходит в обоих направлениях через гидротурбины, оно способствует образование кинетической энергии, которая преобразуется в ток после прохождения через генераторы.

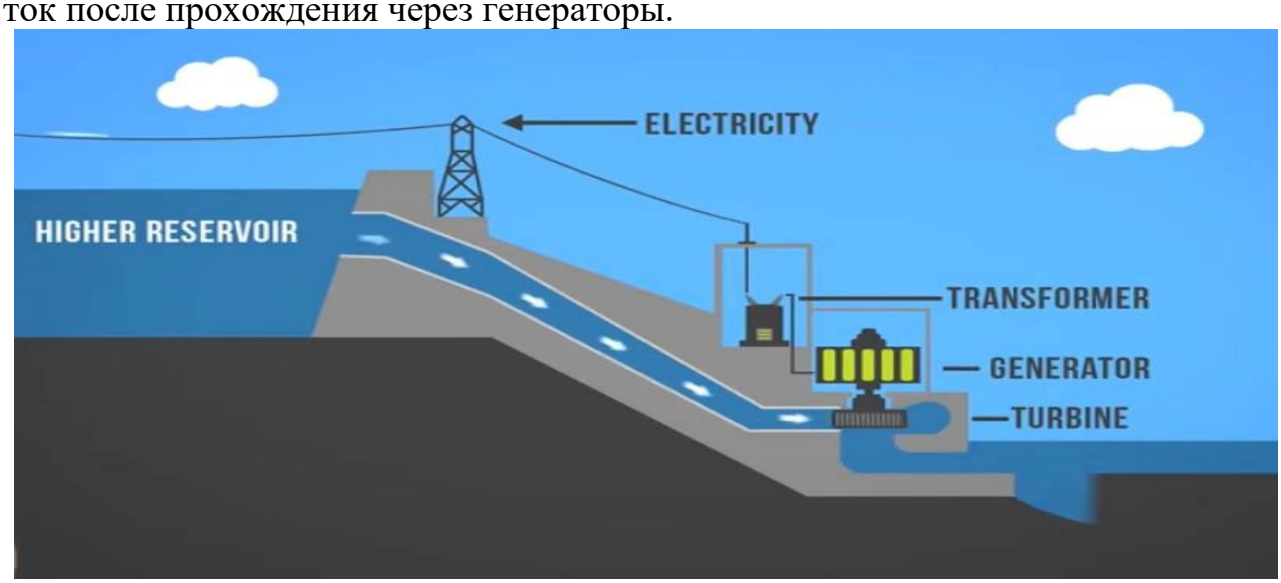


Рисунок 2 – Вид ПЭС с проливной плотиной

Существует несколько методов для преобразования электроэнергии в проливных плотинах:

– выработка отливом;
– выработка приливом;
– накачка;
– двух бассейновые схемы.

Генератор приливного потока – это машина, которая преобразует приливную энергию, способом извлечение энергии от движущихся масс приливов и отливов. Некоторые типы похожи на ветряные турбины, поэтому их

часто стали называть подводные ветряные турбины или приливными ветряными турбинами (рис. 3). При этом водные ресурсы используются максимально эффективно и рационально.

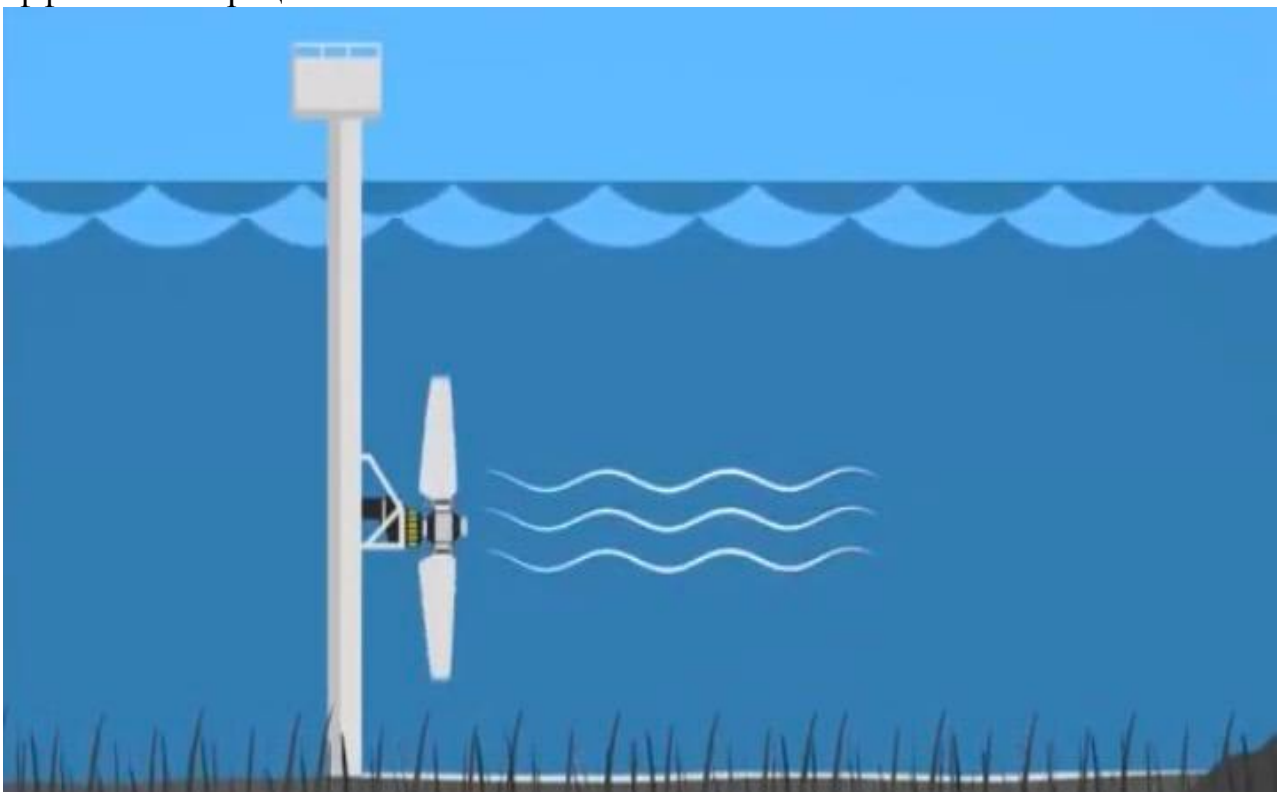


Рисунок 3 – Приливная ветряная турбина.

Есть несколько типов приливных генераторов: осевые турбины, турбины с поперечным потоком, колеблющиеся устройства, эффект Вентури, турбины приливных воздушных змеев.

Океанские течения генерируют большее значение энергии относительно воздуха. Так как плотность воды намного больше плотности воздуха и воздействие на турбины происходит намного сильнее.

Динамическая приливная станция схоже с плотинными по принципу работы, только протяженность такой станции может достигать 40-60 километров и располагаться перпендикулярно берегу, то есть иметь Т-образную форму, что позволит создавать перепады уровня воды на противоположных сторонах барьера. В работе применяется кинетическая и потенциальная энергия, строительство происходит обычно прямо в море. Внутри постройки монтируется огромное количество низко-опорных гидротурбин, работающие на воде идущий в одном направлении.

Приливные лагуны – это такой вид ПЭС для функционирования которой служат искусственные водоемы, работают из-за разницы водного давления в резервуарах и открытых лагунных водах, как и в предыдущих случаях вода поступает на гидротурбины и образует кинетическую энергию и после в ток.

Рассмотрим турбины, используемые на ПЭС:

Турбина Пелтона (ковшовая турбина (рис. 4)), используется при очень больших напорах, рабочее колесо находится в потоке воды, вода подается через сопла по касательной по окружности, проходящей через середину ковша,

формируется струя, которая ударяет о лопатку турбины, после чего колесо проворачивается и совершает работу. Преобразует кинетическую энергию водяной струи в энергию вращения, вращающийся вал приводит в действие генератор, которой и вырабатывает электричество. Требуемые показатели вырабатываемой мощности могут меняться со временем, управляющий механизм контролирует положении иглы, если потребность электроэнергии уменьшается, то игла перемещается так, чтоб уменьшить или перекрыть входное сечение сопла, если потребность электроэнергии увеличивается, игла отодвигается, и подача воды увеличивается, благодаря этому турбина двигается с постоянно-заданной скоростью, которая соответствует частоте электроснабжение. Большое значение играет количество лопаток на колесе. Их должно быть не более 40, при недостаточном количестве лопаток происходят потери, что уменьшает КПД. Подходит для извлечения энергии при большой высоте напора воды и низком её расходе. Скорость потока воды может достигать 500-600 км/ч., также стоит отметить, что скорость вращения турбины может достегать 3000 об. мин. Мощность наиболее крупных турбин равна 200-25-МВт.

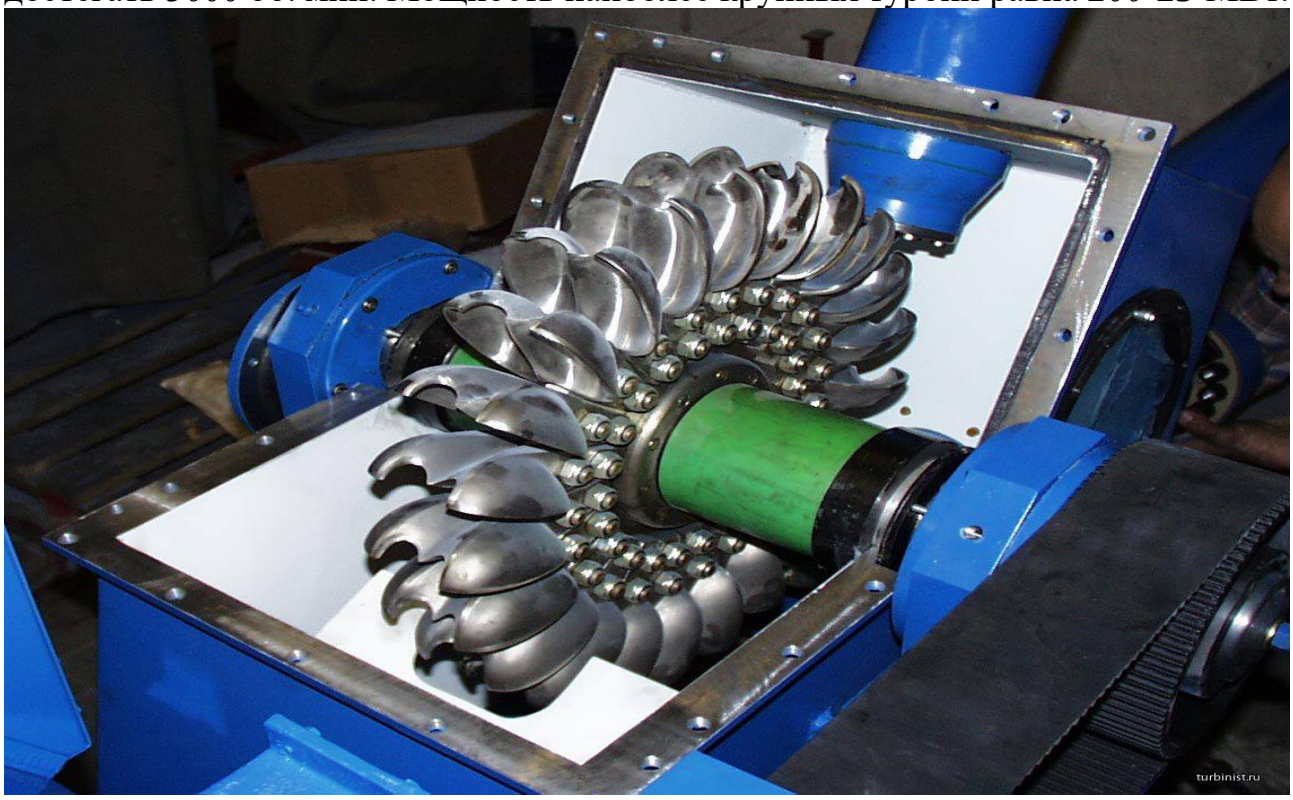


Рисунок 4 – Турбина Пелтона

Турбина Каплана с изменяемым и фиксированным шагом лопаток (рис. 5). Подходят для извлечения энергии при наличии воды с низкой высоты напора (2-20 м.) и высоким расходом (70-800 $м^3/с$). Поток воды входит через спиральную камеру, за счет уменьшения поперечного сечения камеры, поток вводится с центральную часть одновременно по всему параметру, вода через лопатки направляющего аппарата поступает на рабочее колесо и отводится через отсасывающую трубу. Важной частью турбины является колесо, сечение лопастей колеса имеют изогнутую форму, когда вода обтекает их, создается подъемная сила за счет реактивного воздействия потока. Тангенциальная

составляющая силы заставляет ротор вращаться. Вращение передается на генератор для производства электроэнергии. Также эти турбины являются осевыми гидравлическими машинами, где скорость потока параллельна оси турбины. Для контроля расхода воды используется управляющий механизм, которой контролирует положение лопаток, также это позволяет и регулировать вырабатываемую мощность. Сложной задачей при проектировании такой турбины является преодоление проблемы кавитации, которая вызывает разрушение материала и излишний шум и вибрацию во время работы турбины. Она неизбежна так как в турбине возникает низкое давление и воздействие можно уменьшить, используя специальный материал для лопастей.

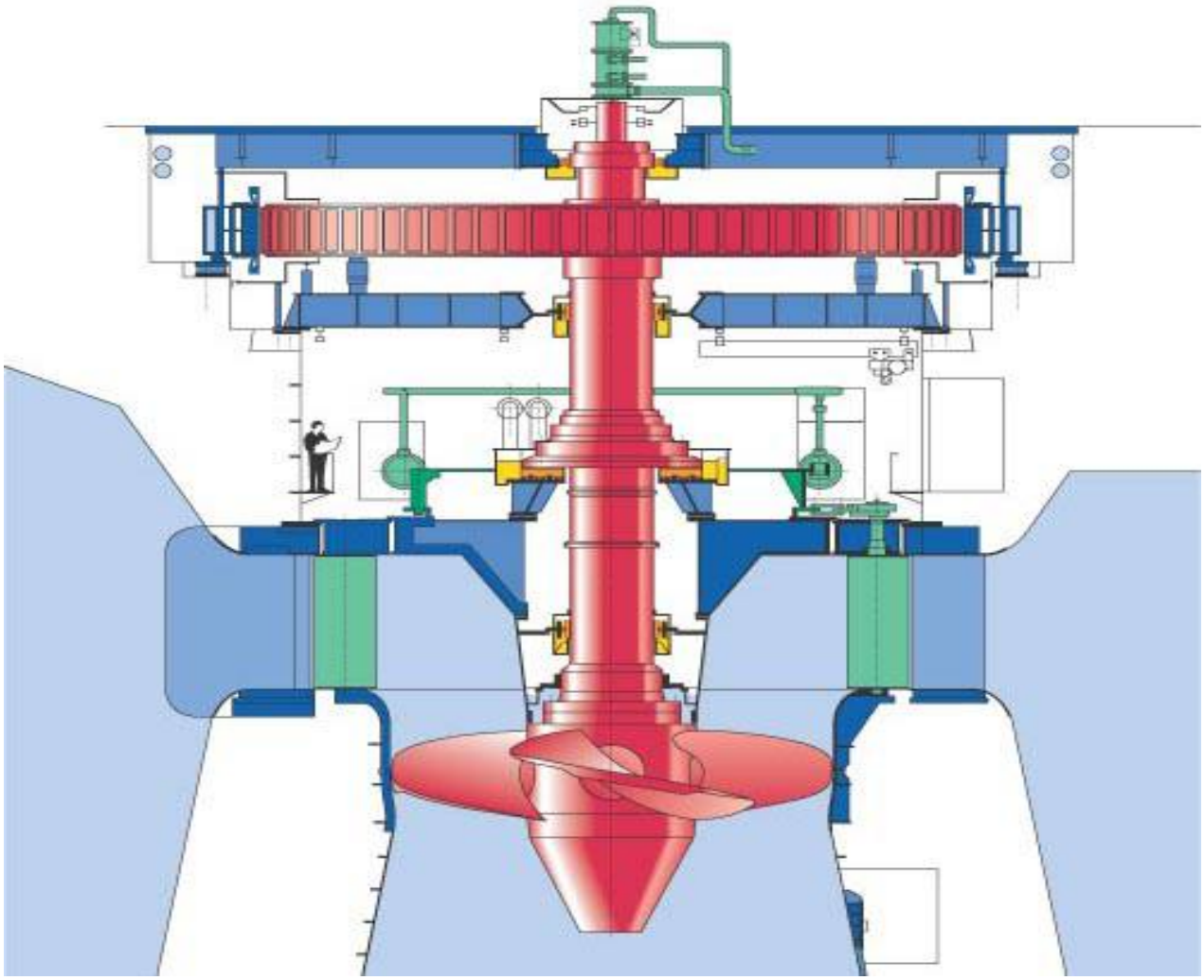


Рисунок 5 – Турбина Каплана

Турбина Френсиса или радиально-осевая турбина (рис. 6). Вода поступает через входной патрубок, скорость потока снижается, так как вода воздействует на рабочее колесо, уменьшение площади сечения спиральной камеры обеспечивает равномерную скорость потока входящего в область рабочего колеса. На входе в колесо установлены статорные колонны и направляющие лопатки, основная их задача преобразование части энергии давления в кинетическую энергию, уменьшают завихрения входного потока. Мощность может меняться со временем, контролирует это механизм направляющих лопаток, которой служит для регулирование потока воды в соответствии с

требуемой мощностью. Главная особенностью турбины является её колесо. Оно оснащено рядом лопастей сложной формы. Вода поступает в рабочее колесо радиально, а выходит в осевом направлении, проходя через турбину поток скользит по лопастям рабочего колеса. Лопасти турбины имеют специальную форму. Поток воды с одной стороны создает низкое давление, а с другой высокое, в результате возникает подъемная сила. Еще одна особенность лопасти обуславливается тем, что ближе к концу она принимает форму в виде ковша, из-за чего вода ударяется и придает импульс на выходе из рабочего колеса. Импульсная и подъемная сила заставляют колесо вращаться, из-за этого радиально-осевая турбина не является чисто реактивной турбиной, так как часть энергии получает от импульсного воздействия. Таким образом, кинетическая энергия и давления уменьшаются. Колесо соединено через вал с генератором. Данный вид турбины ещё называют смешенным типом турбин.

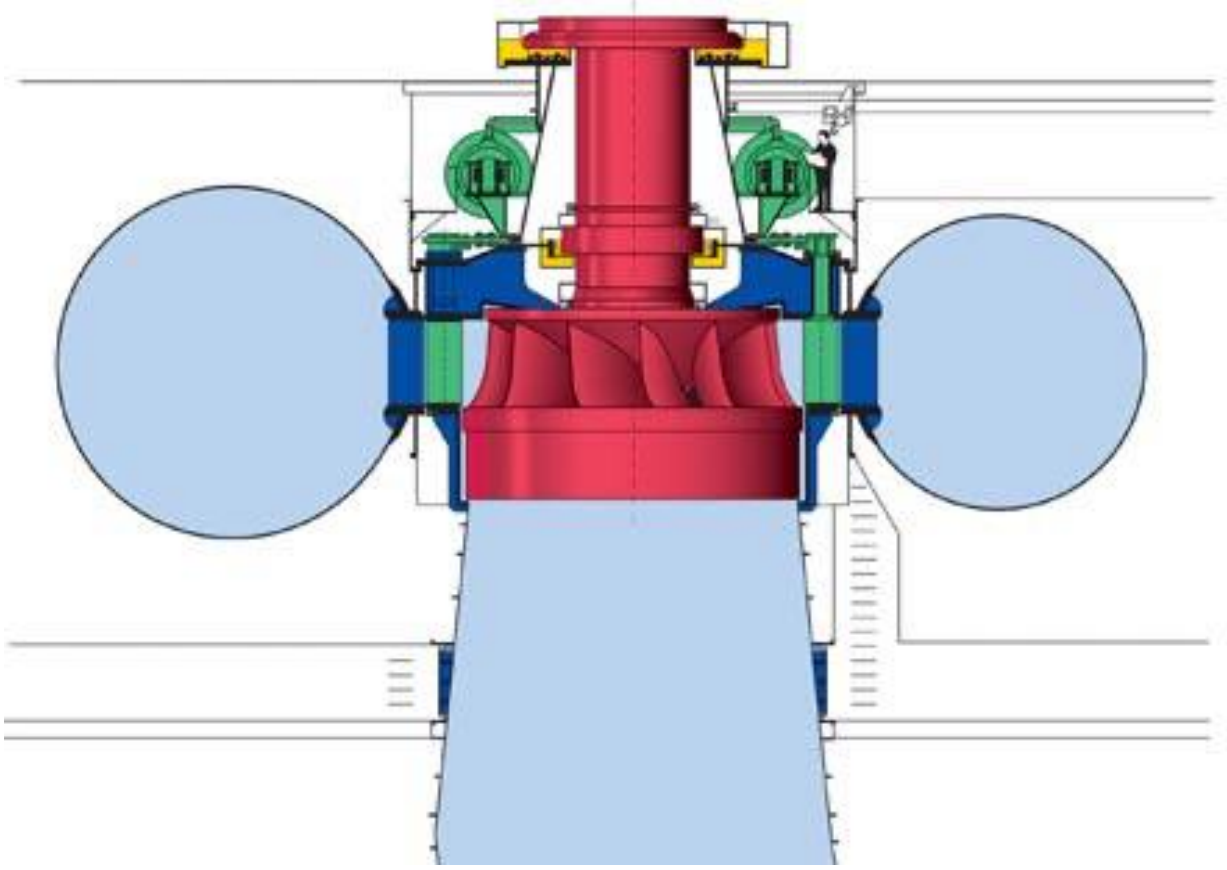


Рисунок 6 - Турбина Френсиса

Турбина Горлова (рис. 7). Это наиболее совершенная модель ротора Дарье, с помощью этой турбины можно получить до 35% кинетической энергии из воды. Работает турбина на малых скоростях потока воды 1,5 м/с., а минимальный объем составляет 1 м^3. Ось турбины расположена, перпендикулярно потоку воды, а лопасти по спирали вдоль оси. Вода поступает на лопасти и вращает ротор в одном направлении, за счет такой формы лопасти скорость вращения в два раза выше, чем скорость потока воды.[2]



Рисунок 7 – Турбина Горлова

Подводные трансформаторы (рис. 8). Это устройства производимые в большей мере АББ, заполненные жидким диэлектриком, с компенсирующим давлением, могут находится на глубине до 3000 метров. Разработаны для преобразования и распределения энергии, для вращающего оборудования, расположенного далеко от источника питания. Основными параметрами для подводного трансформатора являются: напряжение до 150 кВ переменного тока, ток до 900 А, мощность до 24 МВА. В 2022 году HitachiEnergy испытали самый мощный подводный трансформатор.



Рисунок 8 – Подводный трансформатор, мощностью до 24 МВА

Кабели, используемые на приливных электростанциях, работают с разными типами напряжения в зависимости от назначения кабеля и требуемой мощности. Основные типы напряжений, которые применяются для различных кабелей на приливных электростанциях, можно разделить на следующие категории:

- Высоковольтные силовые кабели (110кВ и выше). Эти кабели используются для передачи электроэнергии от генераторов приливной электростанции к береговой подстанции или подключению к национальной электросети. Высоковольтные кабели обеспечивают минимальные потери при передаче энергии на большие расстояния и могут иметь напряжение 110 кВ, 220 кВ и даже до 400 кВ, в зависимости от масштаба станции и расстояния до точки подключения. Например, для передачи на большие расстояния под водой применяют напряжение порядка 220-400 кВ для минимизации потерь.
- Средневольтные кабели (от 10 кВ до 35 кВ). Средневольтные кабели применяются для локальной передачи энергии между генераторами или между отдельными установками внутри приливной станции и основным трансформатором. Они используются на промежуточных этапах, например, от турбин к главной распределительной подстанции, где напряжение повышается для передачи на большие расстояния.
- Низковольтные кабели(до 1 кВ). Низковольтные кабели предназначены для питания вспомогательного оборудования, систем управления, автоматики и освещения. Они также используются для подачи электроэнергии на датчики, контроллеры и устройства контроля безопасности.
- Кабели управления и связи(обычно 24 В или 48 В постоянного тока.). Эти кабели используются для передачи управляющих сигналов, связи и данных между различными элементами системы. Низкое напряжение в этом случае обусловлено необходимостью обеспечения безопасности и предотвращения помех в сигнале.

Конструкционные особенности. Кабели, используемые на ПЭС, должны быть защищены от агрессивной морской среды. Поэтому в конструкции кабелей применяются материалы с высокой стойкостью к соленой воде и ультрафиолетовому излучению. Как правило, используются полиэтиленовая или резиновая изоляция. Для защиты от механических повреждений применяется бронирование кабелей с помощью стальных или синтетических нитей. Конструкция подводных кабелей включает несколько слоев, которые обеспечивают герметичность и защиту от коррозии. Поверх основной изоляции часто добавляются металлические оболочки и битумные покрытия.

Из-за приливов и отливов, а также подводных течений, кабели подвергаются значительным механическим воздействиям. Поэтому их конструкции предусматривают многослойную изоляцию и бронирование для повышения прочности и гибкости.

При выборе типа напряжения для кабеля на приливной станции учитываются такие факторы, как мощность генератора, расстояние до

потребителей или подстанции, условия эксплуатации, а также особенности морской среды, которая требует устойчивости к воздействию воды, солей и механических нагрузок.

Преимущества ПЭС по сравнению с другими ЭС:

– экологическая чистота и отсутствие вредных выбросов в биосферу;
– время восстановление подводной флоры и фауны не более трех лет;
– работа станции не влияет на судоходства и первичный маршрут рыбы;
– защита береговой зоны от штурмов;
– длительный срок эксплуатации;
– на плотинах ПЭС можно строить автомобильные и железные дороги;

Недостатки ПЭС:

– большие финансовые затраты и длительная окупаемость;
– невозможность совмещение туристической зоны с постройкой плотины;
– цикличность работы, которая характеризуется нерегулярным действием, заметно в период пассивной фазы перед приливом и после отлива;
– изменяющаяся мощность в течении суток.

Заключение

Приливные электростанции представляют собой перспективный источник возобновляемой энергии с минимальным воздействием на окружающую среду. Несмотря на высокие первоначальные затраты и сложность реализации, развитие технологий и улучшение турбин повышают эффективность ПЭС. Их потенциал в производстве электроэнергии в прибрежных районах может значительно расшириться в будущем, обеспечивая устойчивый и экологически чистый способ выработки энергии.

Литература

1. Oceanenergy Council (2011) [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/rid_2bea05e6aa50437bb8fd98b0e261e7a3.pdf/. – Дата доступа 17.10.2024.

2. Турбина Горлова [Электронный ресурс] – Энергия приливов. – Режим доступа: http://vetrogenerator.com.ua/vetrogenerator/vertikal/140-vetroturbinagorlova-eto-bolee-sovershennaya-model-rotora-dare.html/.Дата доступа:17.10.2024.

УДК621.3

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
FEATURES OF THE APPLICATION OF LED LIGHTING IN THE CHEMICAL INDUSTRY

А.М. Ярохович, Я.А. Семенчук
Научный руководитель – В.Б. Козловская, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Yarakhovich, Y. Semenchuk
Supervisor – V. Kozlovskaya , Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной научной статье исследуются особенности освещения химической промышленности при помощи светодиодных светильников. В работе рассматриваются принципы работы светильников в агрессивной среде, их основные характеристики.При проведении исследования светодиодного освещения был сделан вывод о том, что их применение в значительной степени снижает потребление электроэнергии, но при этом сохраняет допустимый уровень освещенности. Следовательно, в современных системах освещения целесообразно применять светодиоды.*

Abstract: *This scientific article examines the features of lighting the chemical industry using LED lamps. The paper discusses the principles of operation of lamps in an aggressive environment, their main characteristics. When conducting a study of LED lighting, it was concluded that their use significantly reduces the consumption of electricity, but at the same time maintains an acceptable level of illumination. Therefore, it is advisable to use LEDs in modern lighting systems.*

Ключевые слова: *освещение, светильник, лампа, светодиод, промышленность, пожаробезопасность, взрывобезопасность.*

Keywords: *lighting, lamp, light-emitting diode, industry, fire safety, explosion safety.*

Введение

Промышленные предприятия потребляют большое количество энергии, поскольку им необходимо освещать большие площади и оставлять свет включенным на длительное время. Поэтому светильники должны обладать высокой энергоэффективностью. Выбор светотехнического оборудования для предприятий базовой химии должен производиться с учетом особенностей производственного процесса и характеристик эксплуатационной среды

Предприятия химической промышленности относятся к группе предприятий, к которым предъявляются особые требования к пожарной безопасности. Это связано с тем, что такие предприятия выпускают продукцию повышенной опасности либо условия техпроцесса таковы, что любое нарушение требований техники безопасности может привести к аварийным ситуациям. Химическая промышленность отличилась наличием обоих этих факторов [1].

Основная часть

В химической промышленности в большом количестве применяются различные легковоспламеняемые материалы, нефтепродукты, газы. Эти вещества при определённых условиях могут вызывать пожары. Химическое производство кислот и щелочей относится к наиболее опасным и токсичным видам производства. Щелочи оказывают разъедающее действие на стекло и другие материалы силикатной группы. Поэтому светильники должны быть устойчивы к воздействию агрессивных химических сред, иметь высокую защиту от пыли и влаги, отвечать требованиям пожаро- и взрывобезопасности.

Выбор светотехнического оборудования для предприятий базовой химии должен производиться с учетом особенностей производственного процесса и характеристик эксплуатационной среды [2].

Светодиодный светильник содержит корпус, изготовленный из сплава алюминия. Для повышения защиты корпуса наносят оксидную пленку, либо окрашивают его порошковой краской. На корпусе светильника лежит важная задача – теплоотвод. Так как эффективность светодиодов и срок их службы сильно зависят от температуры p-n-перехода, что наглядно демонстрирует рис. 1.

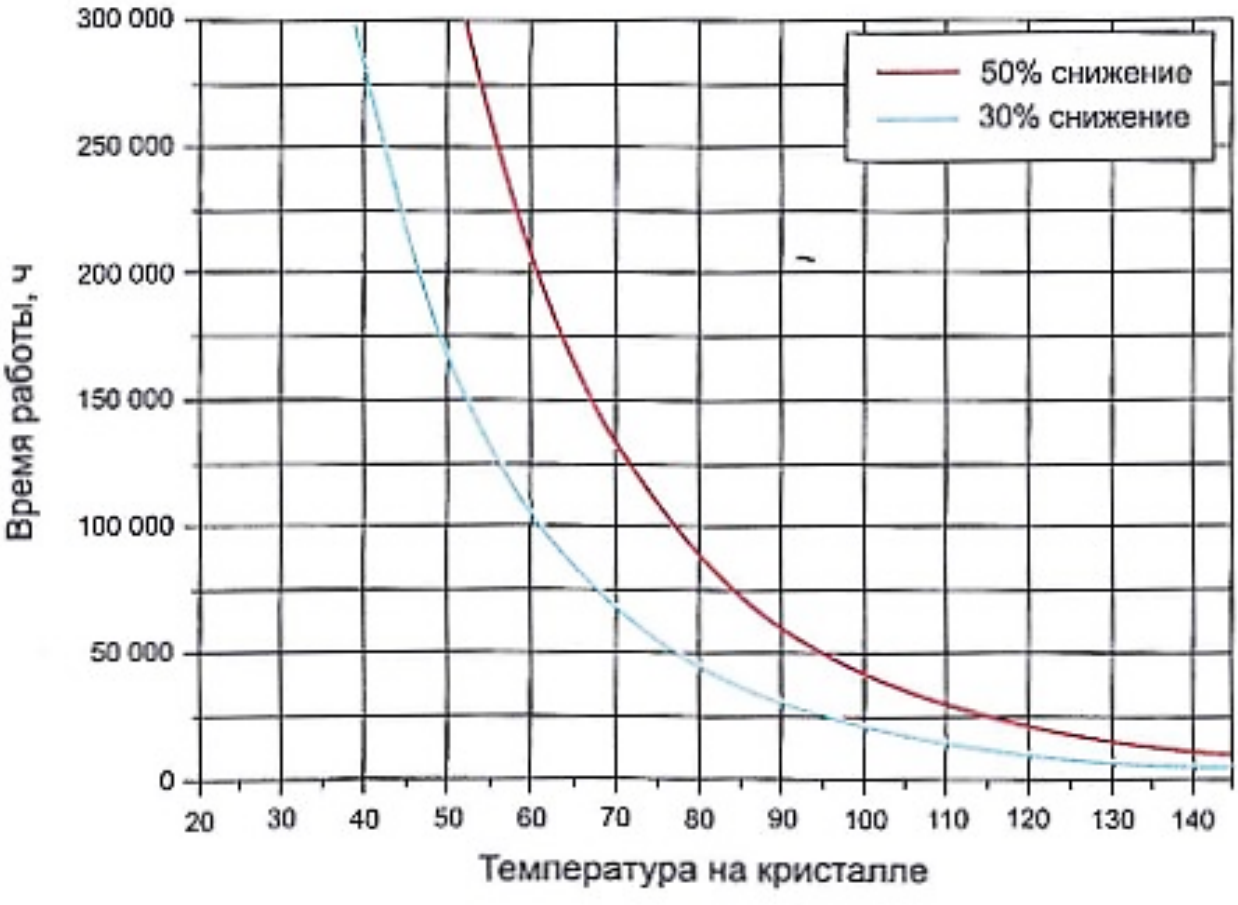


Рисунок 1 – График зависимости времени работы светодиода от температуры кристалла

Светодиоды гораздо более устойчивы к коррозионным материалам с полностью герметичными светильниками, которые предотвращают проникновение, и коррозионностойкими корпусами, разработанными для работы в суровых условиях химического предприятия. Это снижает риск выхода

светильника из строя, что не только облегчает обслуживание, но и риск неожиданной плохой видимости при выходе из строя важного источника света.

Материалы, из которых изготавливают светильники, не должны подвергаться коррозии в различных агрессивных средах. Химически стойкие материалы для светильников должны сочетать в себе высокую коррозионную стойкость. Примером может служить сталь марки 12Х18Н9, содержащая в себе хром и никель. Основными преимуществами которой являются: высокая прочность, температурная устойчивость, коррозионная стойкость. Данная сталь может использоваться в агрессивных условиях. Коэффициент теплопроводности стали значительно ниже, чем у алюминия, но в данном случае все компенсируется высокой коррозионной стойкостью: в атмосфере паров соляной кислоты глубина коррозии составляет 0,075 мм/год. При толщине корпуса светильника 1 мм срок его службы в этой агрессивной среде составит не менее 10 лет.

В ГОСТ 5632-72 «Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки» приведены различные марки сталей, которые устойчивы к коррозии.

В качестве примера рассмотрим взрывозащищенный светодиодный светильник ГЕЛЕКС производства инжиниринговой компании ООО «ГЕЛЕКС Технологии».

Светильники ГЕЛЕКС могут быть использованы для освещения промышленных предприятий с агрессивными средами, включая взрывоопансные. В светильниках установлена взрывонепроницаемая оболочка Ex d. Их основным достоинством является механическая прочность и простота использования.



Рисунок 2 – Взрывозащищенные светодиодные светильники ГЕЛЕКС

Светодиодный светильник ГЕЛЕКС состоит из:

– Корпуса, выполненного из коррозионностойкого сплава алюминия, который окрашивают эпоксидной порошковой краской;
– Термостойкого боросиликатного прозрачного стекла.

При вероятности механического повреждения на светильник может дополнительно устанавливаться защитная решетка. Подключение

осуществляется через верхнюю часть корпуса. Максимальное сечение кабеля должно составлять 4 мм^2. В зависимости от размера устанавливаются различные по мощности светодиодные модули. Блок питания, который устанавливается в светильнике, рассчитан на напряжение230 В и частоту 50/60 Гц. Конструкция светильника позволяет реализовать схему питания вход/выход. Светильники имеют 1 или 2 ввода для кабеля [3].

Наименование	Тип ИС	Мощность, Вт	Световой поток светильника, лм	Крепление
ГЕЛЕКС 100/101	LED	14	1730	Поверхность/труба
ГЕЛЕКС 200/201	LED	24	2980	Поверхность/труба
ГЕЛЕКС 300/301	LED	32	3950	Поверхность/труба
ГЕЛЕКС 400/401	LED	43	5330	Поверхность/труба

Рисунок 3 – Вариации исполнения светильников ГЕЛЕКС

Светильники РСП 18Вех, с установленными лампами ДРЛ, используются для освещения во взрывоопасных средах в соответствии с маркировкой взрывозащиты, на предприятиях нефтяной, газовой, нефтехимической, химической, лакокрасочной и других отраслей промышленности. Конструкция светильников соответствует требованиям ГОСТ 31610.0-2014, ГОСТ IEC 60079-1-2011, ГОСТ 31610.7-2012.



Рисунок 4 – Светильник РСП 18Вех

Корпус светильника изготавливается из сплава алюминия, крепление частей осуществляется резьбовым соединением. Защитный колпак из боросиликатного ударопрочного стекла герметично установлен во фланец. Вводная коробка соединена с корпусом герметизированным резьбовым соединением. Для подключения к электросети предусмотрены различные варианты подключения (индивидуальный, транзитный) и крепления светильника (на универсальный кронштейн, поворотную скобу). Для уплотнения кабеля при подключении предусмотрены боковые кабельные вводы. В зависимости от требований, на светильниках устанавливается решетка и отражатель [4].

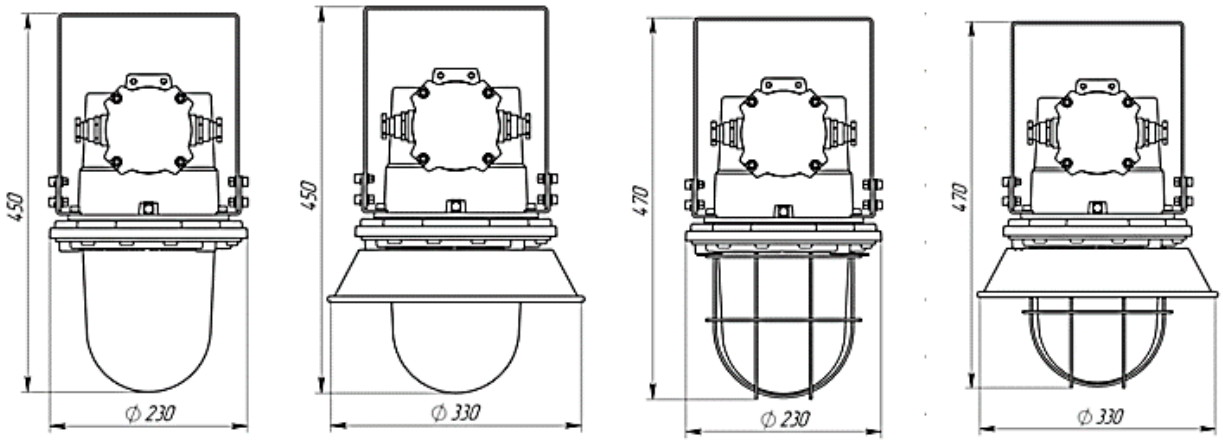


Рисунок 5 – Вариации исполнения светильников РСП 18Вех

Заключение

При проектировании освещения химической промышленности должны учитываться различные факторы, такие как агрессивность среды и требованиям пожаро- и взрывобезопасности**.** В химической промышленности безопасность является приоритетом. Светодиоды не содержат токсичных веществ и не используют для освещения электрическую дугу, что уменьшает риск возгорания. Традиционные лампы, особенно газоразрядные, могут представлять опасность из-за содержания ртути. При использовании светодиодного освещения снижаются затраты на электроэнергию и повышение эффективности производственных процессов. Несмотря на более высокую начальную стоимость светодиодов, их преимущества делают их предпочтительным выбором для современного освещения в химической отрасли.

Литература

1. Потребители электрической энергии: пособие для студентов специальностей 1-43 01 01 «Электрические станции», 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети» и 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» / И. В. Колосова [и др.] ; Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Электроснабжение». – Минск : БНТУ, 2021. – 112 с. [Электронный ресурс]/. Режим доступа: https://rep.bntu.by/handle/data/109746 – Дата доступа: 02.10.2024.

2. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования. Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Электроснабжение": сост. В.

Н. Калечиц. – Минск : БНТУ, 2018. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rep.bntu.by/handle/data/43244 – Дата доступа: 03.10.2024.

3. Взрывозащищенные светодиодные светильники ГЕЛЕКС [Электронный ресурс]/. Режим доступа: https://helex.pro/product-details/svetodiodnye-svetilniki-geleks/ – Дата доступа: 05.10.2024.

4. Светильник РСП 18ВЕХ-125-ХХХ УХЛ1 [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://svet-vitebsk.by/product/catalog/vzryvozashhishhennye-svetilniki/serija-18/svetilnik-gsp-18bex-70-hhh-uhl1/– Дата доступа: 08.10.2024.

УДК621.315.36

ЗАЗЕМЛЕНИЕ ЭКРАНОВ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ
GROUNDING OF POWER CABLE SHIELDS

П.А. Крупень
Научный руководитель – В.Н. Калечиц, к.т.н.
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
P. Krupen
Supervisor – V. Kalechyts, Candidate of Technical Sciences
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Статья описывает типы схем заземления экранов, их особенности, исполнение и принципы действия. Приводит пример выбора определенной схемы заземления.*
Abstract: *The article describes the types of shield grounding schemes, their features, design and operating principles. It provides an example of choosing a specific grounding scheme.*
Ключевые слова: *одностороннее заземление, двухстороннее заземление, транспозиция.*
Keywords: *one-way grounding, two-way grounding, transposition.*

Введение

Экранирование кабеля – слой специальной оболочки для защиты токоведущих частей. Экран силового кабеля может быть выполнен единым слоем, защищающим все жилы кабеля или обматываться вокруг каждой жилы по отдельности. Это позволяет заземлить кабель, избежать возникновения разности потенциалов при соединении двух кабелей муфтами, увеличить прочность и защитить кабель как от помех из внешней среды, так и не дать созданному кабелем магнитному полю оказывать вредоносное воздействие на близлежащие приборы или другие линии (рис. 1) [1].

На сегодняшний день существует три основных типа заземления экранов силовых кабелей: одностороннее заземление, двухстороннее заземление и транспозиция.

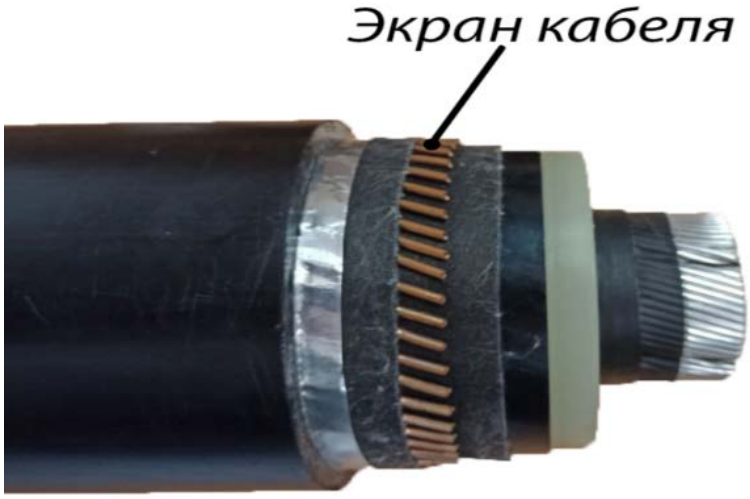


Рисунок 1 – Пример экранирования кабеля напряжением 330 кВ

Основная часть

Одностороннее заземление проектируется с соединением только одного конца экрана кабельной линии к устройству заземления. Такая схема дает возможность исключить движение тока по экрану, из-за чего почти исключаются потери мощности на нагрев. Также при большой протяженности линии может превышаться максимальное значение наводимого в экране напряжения при коротком замыкании. Единственные возможные потери будут происходить по причине прохождения через экран вихревых токов, но они не сильно влияют на температуры сети и не снижают таким образом срок службы кабеля (рис. 2).

Достоинства одностороннего заземления экранов кабелей:

– рабочий режим не допускает наличие токов в экранах;
– отсутствие прохождения токов через экран кабеля не снижает его пропускную способность.
– Недостатки одностороннего заземления экранов кабелей:
– напряжение короткого замыкания при прохождении тока через контуррезко повышается.

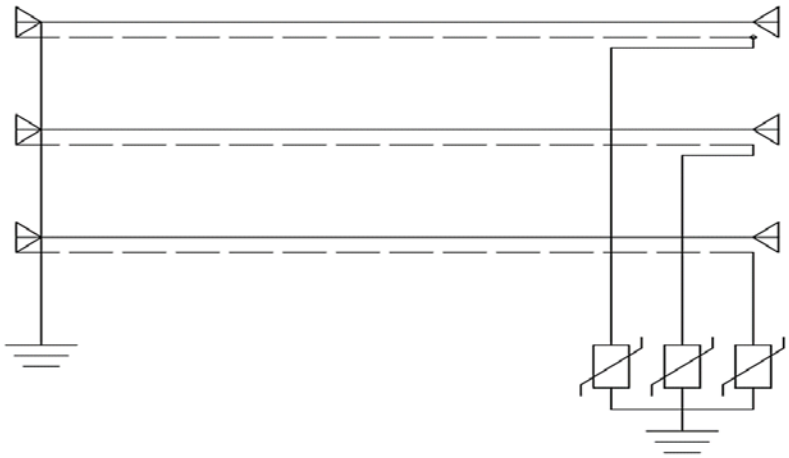


Рисунок 2 – Схема одностороннего заземления экранов кабелей

При двухстороннем заземлении экранов кабелей линия заземляется с двух сторон. Принцип работы заключается в создании заземляющего контура между концами экранов и, таким образом, сильно упрощая схему, убирая из нее сложные коммутационные аппараты и снижая трудности монтажа. Однако экран кабеля будет иметь потенциал земли и ток будет вынужден постоянно протекать в получившемся контуре. Такой процесс вызывает значительные потери мощности и повышение температур в нормальных режимах, что уменьшает срок эксплуатации всей линии (рис. 3).

Достоинства двухстороннего заземления экранов кабелей:

– снижение воздействия на окружающую среду и на близлежащие системы коммуникаций;
– уменьшение перенапряжения на оболочке и изоляции;
– снижение индуктивного сопротивления;
– обеспечение протекания возвратного тока.

Недостатки двухстороннего заземления экранов кабелей:

– уменьшение пропускной способности кабеля;

– нагрев из-за существенных потерь.

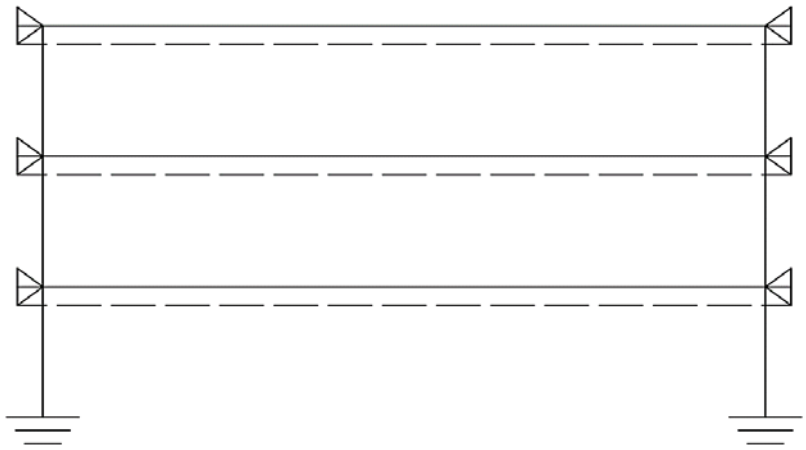


Рисунок 3 – Схема двухстороннего заземления экранов кабелей

Транспозиция в кабельных линиях – это периодическая смена экранов фаз силовых кабелей. Данная процедура влияет на токи в экранах, так как меняется среднее расстояние между осями фаз. Важно понимать, что снижение токов достигается именно транспозицией экранов фаз, а не самих фаз кабеля (рисунок 4).

Экран кабеля соединяется с другой фазой в специально предназначенной камере. Одна полная транспозиция достигается за две такие точки. Продольная ЭДС одного экрана наводится каждой из фаз по очереди и при их суммировании дает значение равное нулю.

Достоинства транспозиции экранов кабелей:

– простой способ уменьшить потери токов в экране если кабельная линия рассчитана на работу с высокими напряжениями (от 110 кВ);
– грозовые перенапряжения на возникают из-за установки ограничителя перенапряжений.

Недостатки транспозиции экранов кабелей:

– стоимость повышается в следствие установки большого количества коммутационных аппаратов.

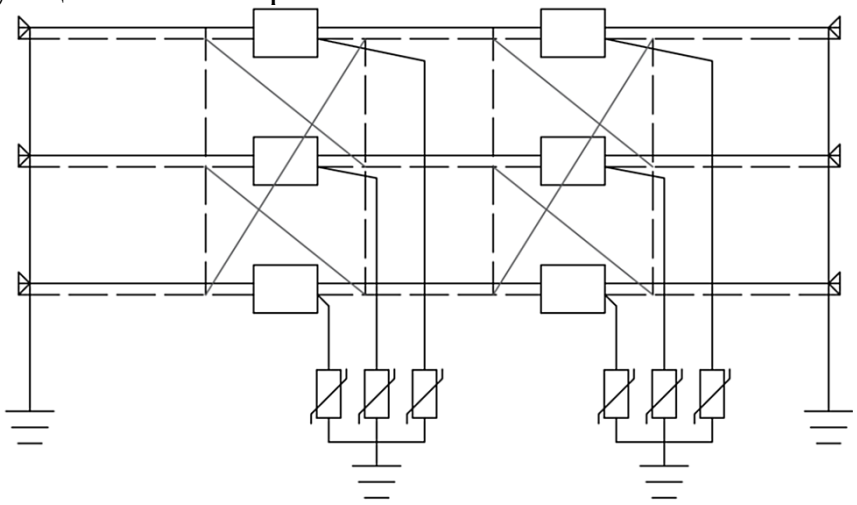


Рисунок 4 – Схема транспозиции экранов кабелей

Каждый тип заземления имеет свои особенности при расчете и выборе для конкретной линии в разных конфигурациях. Опираясь на рассмотренные ранее

варианты заземления экранов силовых кабелей, произведем выбор подходящего заземления для кабельной линии напряжением 110 кВ из трех кабелейАПвП2г 1×500/50-110 [2]. Пригодность каждой схемы определим с помощью программы «ЭКРАН» [3], в основе работы которой применена методика расчета из книги «Заземление экранов однофазных силовых кабелей 6-500 кВ» [4]. Программа «ЭКРАН» позволяет выбрать оптимальный способ соединения и заземления экранов однофазных кабелей, определить активно-индуктивные и емкостные параметры кабелей. Исходные данные кабеля и параметры сети указаны в рисунке 5.

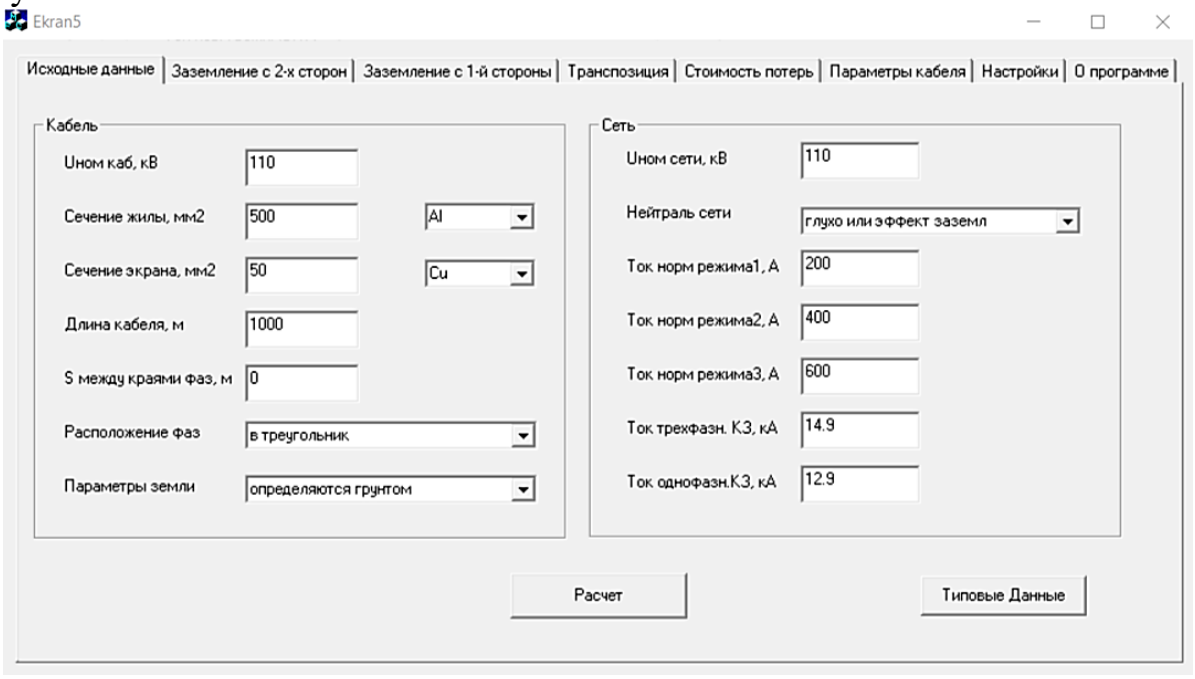


Рисунок 5 – Исходные данные

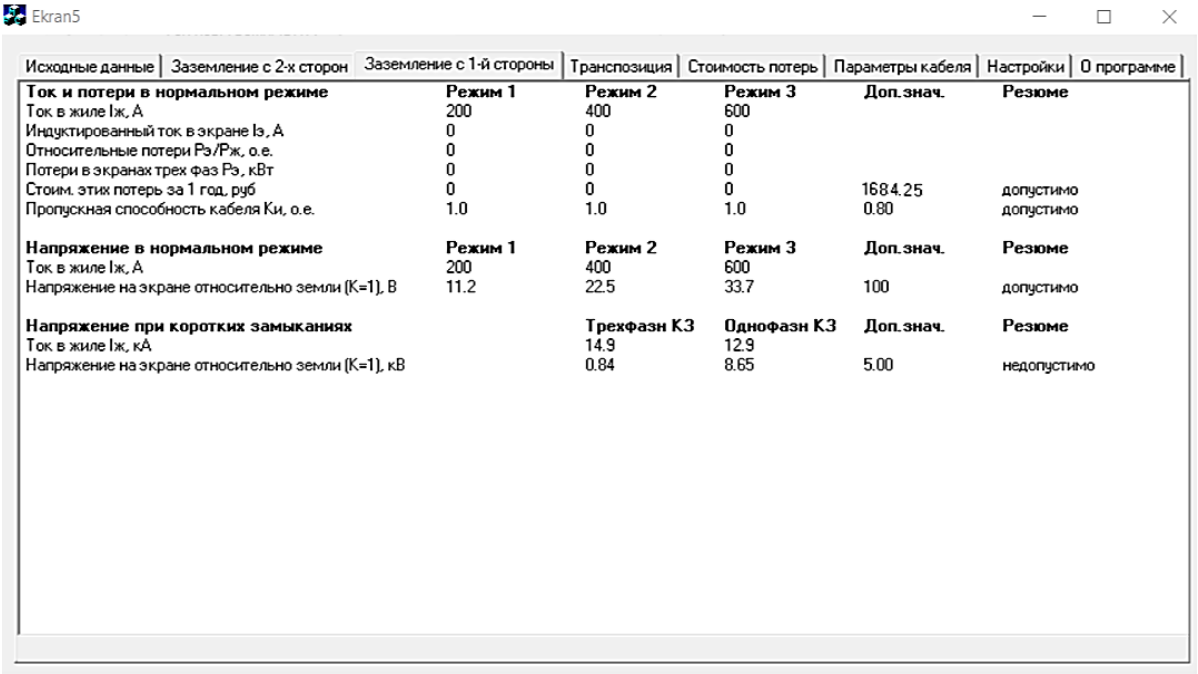


Рисунок 6 – Одностороннее заземление экранов силовых кабелей

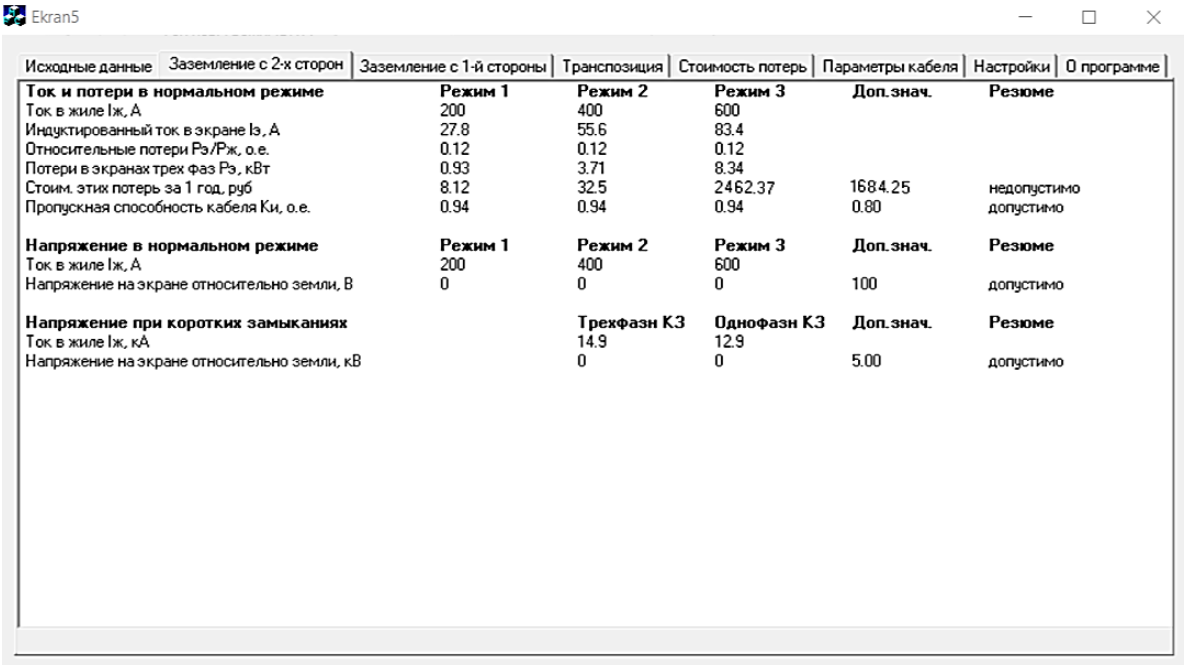


Рисунок 7 – Двухстороннее заземление экранов силовых кабелей

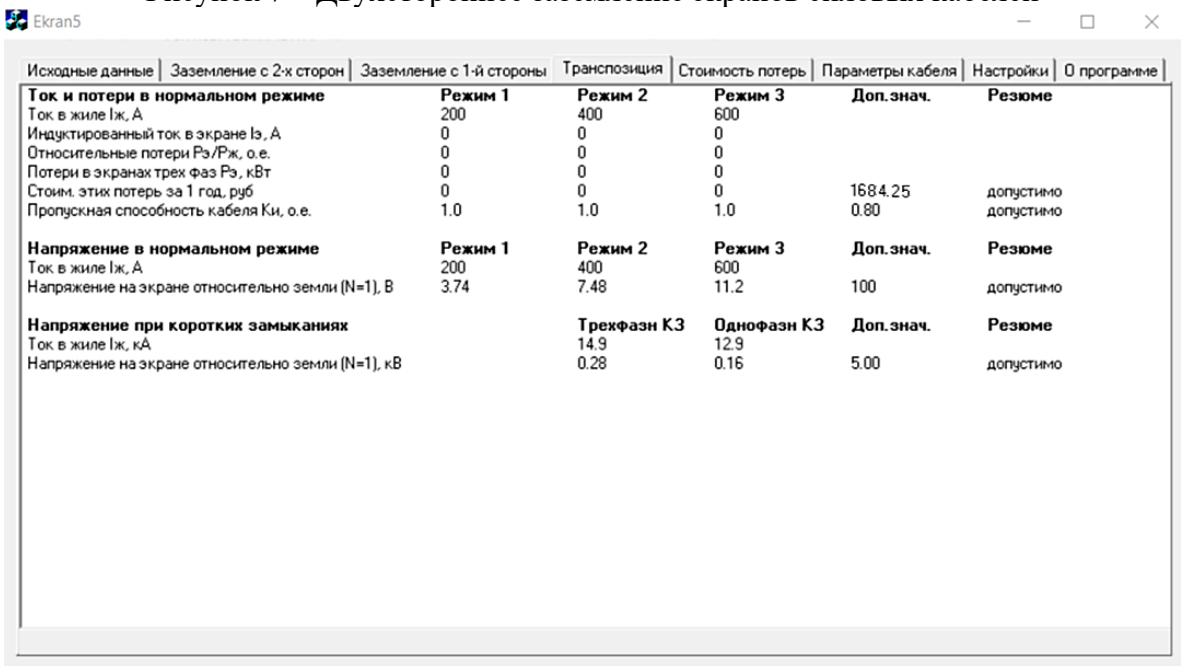


Рисунок 8 – Транспозиция экранов силовых кабелей

Из расчётов видно, что одностороннее заземление (рис. 6) не удовлетворяет требования по наводимому на экран напряжению однофазного короткого замыкания (8,65>5,00 кВ).

Двухстороннее заземление (рис. 7) не удовлетворяет экономическим требованиям, из-за превышения потерь за один год (2462,37>1684,25 руб.).

Транспозиция экранов (рис. 8) в данном случае является оптимальным вариантом, так как удовлетворяет всем техническим требованиям.

Заключение

Схема транспозиции является наиболее универсальной для удовлетворения условий заземления, однако, в силу больших затрат на установку коммутационных аппаратов и строительство специальных камер, имеет высокую стоимость.

Одностороннее заземление на большой протяженности линии может превышать максимальное значение наводимого на экран напряжения при коротком замыкании. Этот параметр может быть снижен прокладкой металлических коммуникаций (например, медной шины) вдоль участка линии, но приводит к удорожанию схемы и целесообразность должна быть обусловлена экономически.

Двухстороннее заземление целесообразно на небольшой протяженности линии из-за относительно высоких потерь. Схема имеет наиболее экономически выгодную конфигурацию.

Литература

1. Экранирование кабеля [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.diada-electro.ru/articles/ehkranirovanie-kabelya/ – Дата доступа: 25.10.2024

2. Марка рассматриваемого кабеля [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://etm-volga.ru/production/kabel-spe-110-kv/apvp2g-1-500-110-kv/ – Дата доступа: 25.10.2024

3. Программа для расчетов «ЭКРАН» [Электронный ресурс] – Режим доступа:https://mvdm.ru/?page_id=1586 – Дата доступа: 25.10.2024

4. Дмитриев М.В. Заземление экранов однофазных силовых кабелей 6-500 кВ– СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 154 с. – Режим доступа: https://mvdm.ru/wp-content/uploads/2015/04/Dmitriev_kniga4.pdf– Дата доступа: 25.10.2024

УДК 621.3

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЗА СЧЕТ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОХЛАЖДЕНИЯ

PERSPECTIVES FOR IMPROVING THE EFFICIENCY OF ELECTROMOTORS THROUGH NEW COOLING TECHNOLOGIES

Э.Д. Мацулевич, А.М. Тарасова
Научный руководитель – В.П. Счастный, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
E. Matsulevich, A. Tarasova
Supervisir – V. Schastny, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация**: В статье рассматриваются традиционные методы охлаждения. Также приводятся современные технологии охлаждения электродвигателей.*
***Abstract:** The article deals with traditional cooling methods. Modern cooling technologies for electric motors are also given.*
***Ключевые слова**: электродвигатель, технологии охлаждения, испарительное охлаждение, тепловые трубы, нанотехнологии, аддитивное производство, электротранспорт.*
***Keywords**: electric motor, cooling technologies, evaporative cooling, heat pipes, nanotechnology, additive manufacturing, electric transportation.*

Введение

Электродвигатели занимают важное место в современной энергетике и промышленности. Одной из ключевых проблем, влияющих на их производительность, является теплообразование, вызванное потерями энергии в виде тепла. Недостаточная система охлаждения снижает эффективность работы электродвигателей, уменьшает их срок службы и увеличивает частоту технического обслуживания. В связи с этим разработка и внедрение новых методов охлаждения становятся приоритетным направлением для повышения эффективности электродвигателей.

Основная часть

Обычные электродвигатели чаще всего используют воздушное охлаждение. Этот метод предполагает циркуляцию воздуха через двигатель, что позволяет удалять излишки тепла, возникающие в процессе работы. Однако эффективность этого способа ограничена низкой теплоемкостью воздуха, что создает трудности при охлаждении мощных электродвигателей, где выделение тепла значительно превышает возможности воздушного охлаждения.

Жидкостное охлаждение представляет собой более эффективный способ отвода тепла. В отличие от воздуха, жидкость обладает высокой теплоемкостью, что позволяет более эффективно удалять тепло от горячих компонентов электродвигателя. В современных жидкостных системах охлаждения используются как вода, так и специализированные жидкости, такие как масла и диэлектрические жидкости.

Эти жидкости, например, на основе фторуглеродов, не проводят электрический ток и могут напрямую контактировать с электрическими компонентами двигателя, что позволяет улучшить теплоотвод без риска электрических повреждений. Преимущества этих жидкостей особенно проявляются в двигателях для электротранспорта, где компактные размеры и высокая производительность играют ключевую роль.

Современные научные достижения способствуют появлению инновационных методов охлаждения, которые позволяют значительно повысить эффективность электродвигателей.

Одним из таких методов является испарительное охлаждение, которое использует фазовый переход жидкости из жидкого состояния в газообразное. Это обеспечивает более эффективное удаление тепла с поверхности двигателя. Технологии испарительного охлаждения находят применение в двигателях высокой мощности и при высоких температурных нагрузках.

В системе испарительного охлаждения жидкость, поступающая из неподвижной трубки с одного конца ротора, направляется на противоположный конец с плавными контурами. Этот конец формирует тонкую пленку жидкости, движущуюся вдоль ротора под действием сил поверхностного натяжения.

Такое выполнение системы повышает интенсивность охлаждения, что особенно важно ля авиационных электрических машин в связи с высотными и скоростными ограничениями воздушного охлаждения для них.

На рисунке 1 изображена схема описываемой системы.

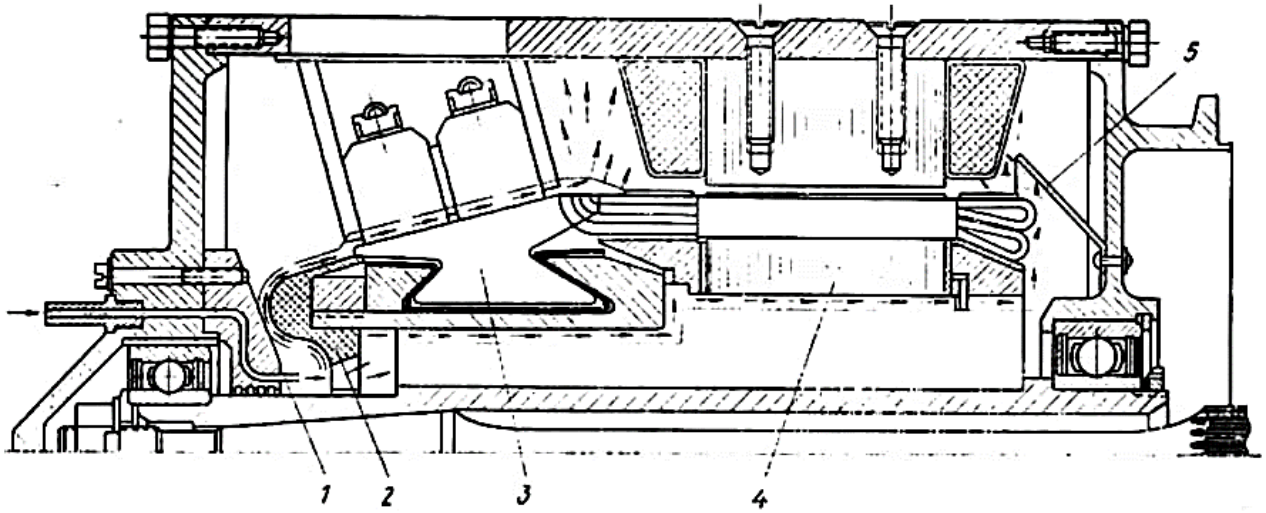


Рисунок 1 – Схема системы испарительного охлаждения

Охлаждающая жидкость вводится внутрь машины через трубку 1. С помощью распределителя 2 часть жидкости направляется на рабочую поверхность коллектора 3, а другая часть проходит внутрь пакета железа якоря 4. Под действием центробежных сил и сил поверхностного натяжения введенная внутрь машины жидкость распределяется тонким равномерным слоем - пленкой по активным частям якоря и по рабочей поверхности коллектора (направление перемещения пленки показано стрелками). Во избежание срыва жидкостной пленки с начального участка коллектора его рабочая поверхность выполнена конусной. При использовании в качестве охлаждающей жидкости воды угол

наклона рабочей поверхности коллектора к оси вращения должен быть порядка 15°. Охлаждение лобовых частей полюсных катушек осуществляется за счет части неиспарившейся на якоре жидкости, которая сбрасывается и распыляется центробежными силами в зоне петушков коллектора 3 и отражательного диска 5.[1]

Другим перспективным направлением является использование тепловых труб. Эти устройства позволяют эффективно передавать тепло от горячих компонентов двигателя к холодным частям. Как показано на рисунке 2, тепловые трубы представляют собой герметичные конструкции, внутри которых находится жидкость, которая испаряется при нагреве и конденсируется в более холодных участках. Это способствует быстрому и эффективному отводу тепла.

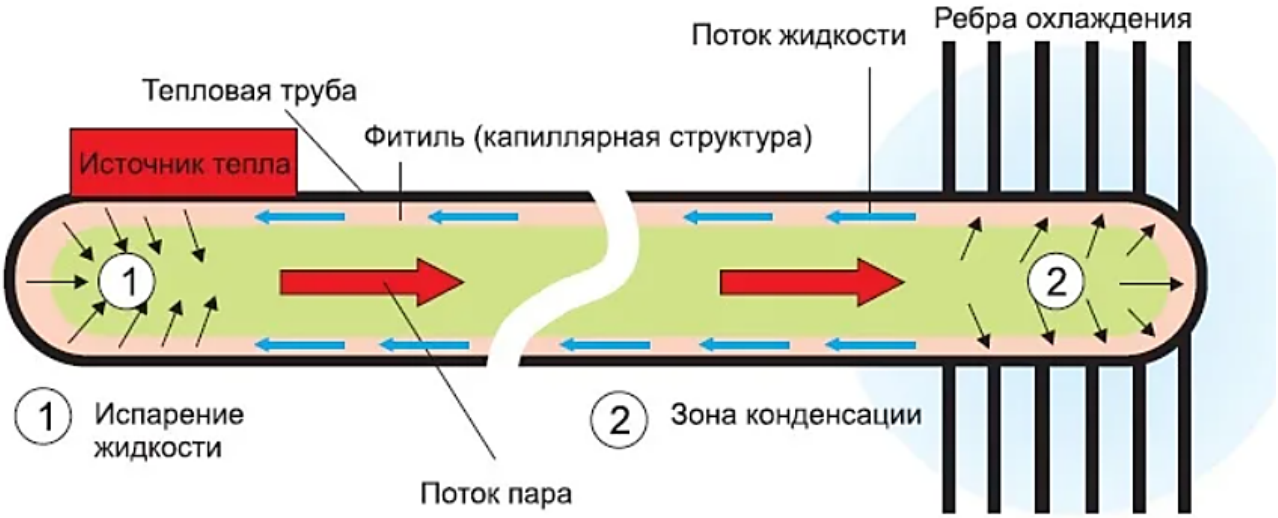


Рисунок 2 – Устройство тепловой трубы

При работе электродвигателя транспортного средства интенсивное тепловыделение происходит как в статоре двигателя, так и его роторе. Нагрев двигателя отрицательно сказывается на величине крутящего момента и на общей эффективности работы магнитов.

Система охлаждения электродвигателей с тепловыми трубами позволяет обеспечить эффективную теплопередачу. Она более надежна в эксплуатации, поскольку отсутствуют движущие компоненты, обеспечены прочная конструкция и небольшой вес. [2]

На рисунке 3 показано применение тепловых труб для охлаждения статора двигателя, где 1 – обмотка; 2 – оболочка статора; 3 – сердечник статора; 4 – охлаждающий воздух; 5 – ребра, рассеивающие тепло; 6 – плоская тепловая труба; 7 – направление теплового потока. Плоские тепловые трубы вставлены между слоями электрической обмотки статора двигателя для отвода более 300 Вт теплоты при поддержании температуры источника тепловыделения ниже его предела равного 180ºС.

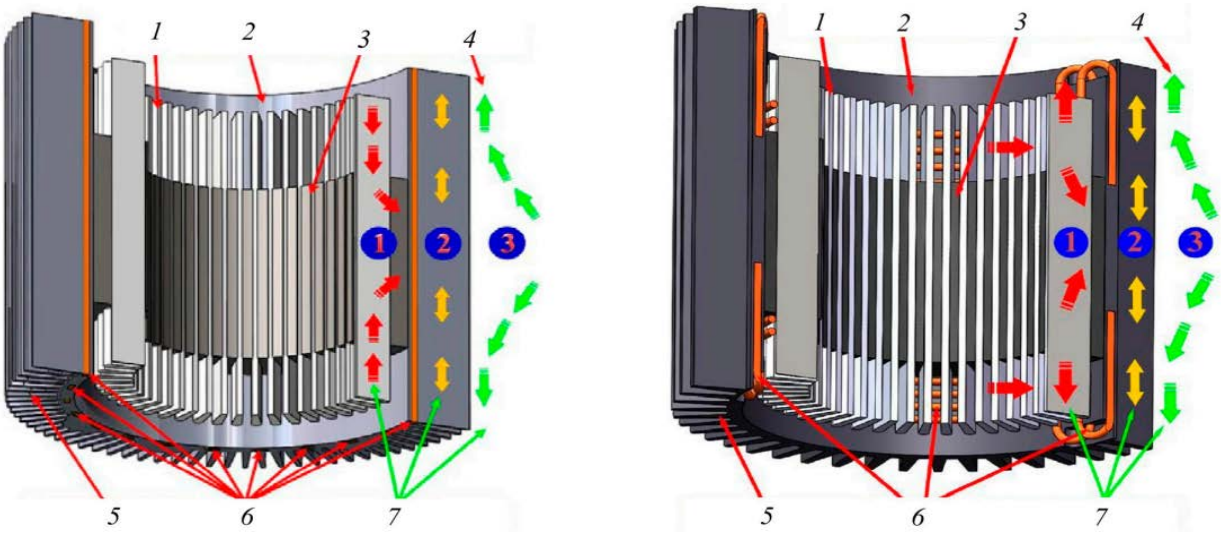


Рисунок 3 – Охлаждение статора двигателя тепловыми трубами

Тепловые трубы автономны, бесшумны, их работа не требует затрат энергии, что очень важно для беспроводного электротранспорта. С помощью тепловых труб можно осуществлять более гибкую компоновку систем охлаждения, это облегчает задачу размещения радиатора. Упрощается также выполнение герметизации охлаждаемых объектов.

Нанотехнологии играют ключевую роль в разработке новых методов охлаждения.

Например, использование наноматериалов, таких как графен и углеродные нанотрубки, позволяет значительно улучшить теплопроводность электродвигателей. Графеновые покрытия обладают высокой теплопроводностью, что способствует более эффективному рассеиванию тепла с поверхности двигателей.

Кроме того, наноматериалы могут использоваться для создания умных покрытий, которые адаптируются к изменениям температуры и автоматически регулируют отвод тепла. Это особенно актуально для высокопроизводительных двигателей, работающих в условиях интенсивных температурных нагрузок. Такие покрытия повышают эффективность охлаждения, предотвращают перегрев и способствуют увеличению срока службы двигателей.

Современные аддитивные технологии, включая 3D-печать, предоставляют новые возможности для создания интегрированных систем охлаждения. 3D-печать позволяет встроить охлаждающие каналы прямо в конструкцию двигателя, что способствует снижению веса и уменьшению объема системы охлаждения. Например, на рисунке 4 показан электродвигатель, разработанный в производственном технологическом центре Ковентри, Великобритания.[3]

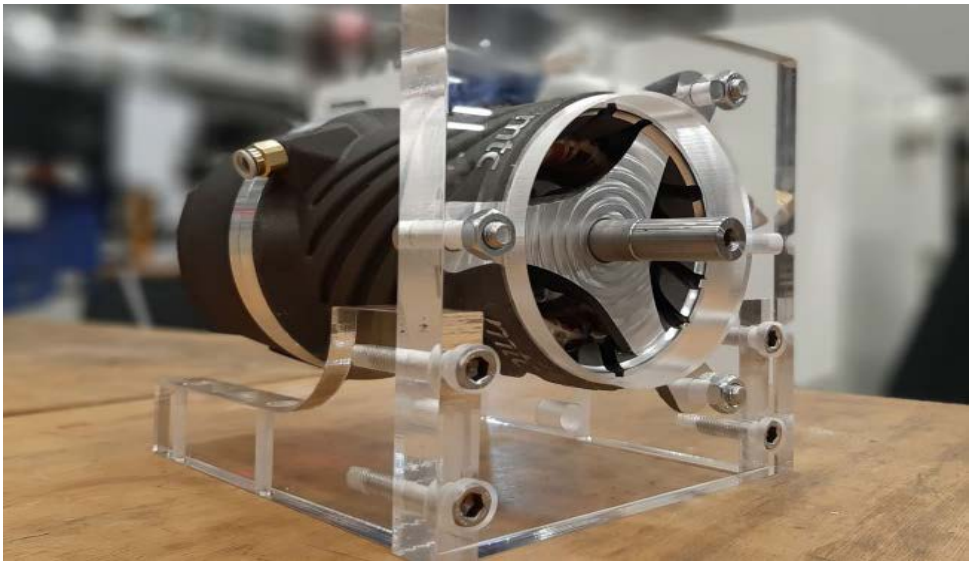


Рисунок 4 – Электродвигатель, изготовленный из компонентов, напечатанных на 3D-принтере.

Увеличение популярности электромобилей ускоряет разработку более мощных и высокотехнологичных электрических двигателей. Производители электромобилей сталкиваются с необходимостью преодолеть проблемы, связанные с охлаждением, разрабатывая решения, которые обеспечивают высокую тепловую эффективность, равномерное распределение температуры, а также учитывают компактные размеры, вес и затраты.

Использование аддитивных технологий в производстве для электрических машин будет играть важную роль в обеспечении инновационного подхода к проблемам охлаждения электромобилей.

Обмотки электрических машин могут охлаждаться напрямую с использованием керамических теплообменников, созданных с помощью 3D-печати. Эти теплообменники размещаются в свободном пространстве между двухслойными сосредоточенными обмотками, что позволяет увеличить плотность мощности электрических машин без воздействия на их электромагнитную конструкцию. Например: обмотки, напечатанные на 3D-принтере показаны на рисунке 5.



Рисунок 5 – 3D-печатные обмотки

Основной вклад аддитивных технологий в сборку обмоток включают следующее:

- площадь поперечного сечения катушки обмотки может быть рассчитана с более высоким коэффициентом заполнения паза, а также с лучшими тепловыми характеристиками;
- торцевые обмотки могут быть изготовлены по индивидуальному заказу до 50% их длины. Это значительно помогает уменьшить вес и объем машины;
- некоторые технологии позволяют печатать обмотку и изоляцию одновременно;
- более высокая рабочая температура может быть достигнута за счет использования порошкообразных термостойких материалов, таких как керамика, вместо обычного покрытия (эмаль, смола, полимер и т. д.).

Обработка таких материалов, как керамика, обычными методами затруднена из-за высокой температуры плавления.

Производство электродвигателей имеет ряд проблем, включая сложную сборку, нужду в материалах, которые трудно обрабатывать и которые могут быть дорогими, а также необходимость улучшения процесса сборки. Применение технологии аддитивного производства позволяет снизить издержки, сократить отходы, повысить производительность и упростить производственные процессы.

Электротранспорт является одной из ключевых областей применения новых технологий охлаждения. Электродвигатели для электромобилей работают в условиях высоких нагрузок и требуют надежного охлаждения для поддержания производительности. Компактные и эффективные системы жидкостного и испарительного охлаждения позволяют увеличивать мощность двигателей, при этом снижая их энергопотребление и увеличивая ресурс работы. Компании, такие как Tesla, активно внедряют передовые технологии охлаждения в свои двигатели для электромобилей, что способствует повышению их КПД и надежности. Использование жидкостного охлаждения и нанотехнологий позволяет улучшить температурный режим работы двигателей, обеспечивая длительные поездки и высокие скорости без риска перегрева.

Заключение

Таким образом, современные технологии охлаждения открывают значительные перспективы для повышения эффективности электродвигателей. Жидкостные и испарительные системы охлаждения, тепловые трубы, наноматериалы и аддитивные технологии предоставляют возможности для разработки более мощных, компактных и надежных двигателей. Эти инновации имеют большое значение как для промышленного применения, так и для электротранспорта, способствуя устойчивому развитию и улучшению энергетической эффективности. Внедрение новых методов охлаждения позволит электродвигателям работать с повышенной производительностью и надежностью, что играет важную роль в снижении энергопотребления и повышении экологичности технологий будущего.

Литература

1. Система испарительного охлаждения электрических машин : пат SU 450287 A1 / В.А. Винокуров, Г.И. Данилов, А.В. Колганов, А.Б. Романов. – Опубл. 15.11.1974.

2. Системы терморегулирования теплонагруженного оборудования электротранспорта / Л.Л. Васильев, А.С. Журавлев, С.Н. Поддубко, А.В. Белевич // Тепловые процессы в технике. –2021. – Т. 13, №7. – С. 296–307

3. Образовательный сайт Школа для электрика [Электронный ресурс]: Аддитивные технологии производства деталей электрических машин. – Режим доступа: https://electricalschool.info/spravochnik/poleznoe/2768-additivnoe-proizvodstvo-elektricheskih-mashin.html. – Дата доступа: 15.10.2024.

УДК 621.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДУЛЬНЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ И АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ В ЛИТОМ КОРПУСЕ ДО 100 А В СЕТЯХ 0,4/0,23 КВ
USE OF MODULAR CIRCUIT BREAKERS AND CIRCUIT BREAKERS IN MOLDED CASE UP TO 100 A IN 0.4/0.23 KV NETWORKS

А.Д. Решетов, Н.Д. Бань
Научный руководитель – Т.М. Жуковская, преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Reshetau, M. Dfn
Supervisor –T. Zhukouskaya, Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье рассмотрены вопросы принципа работы автоматических выключателей. Методы расчёта и критерии их выбора. Описаны сфера использования и применение модульных автоматических выключателей и выключателей в литом корпусе. Произведён анализ преимуществ и недостатков модульных автоматических выключателей и выключателей в литом корпусе и сделан вывод по рациональному, экономическому и эффективному использованию данных автоматических аппаратов.*

Annotation: *This article discusses the principles of operation of circuit breakers, selection criteria, and calculation methods. It describes the scope of use and application of modular circuit breakers and molded case circuit breakers. An analysis of the advantages and disadvantages of modular circuit breakers and molded case circuit breakers is provided, along with a conclusion on the personal economical and efficient use of these automatic devices.*

Ключевые слова*: модульные автоматические выключатели, автоматические выключатели в литом корпусе, ток теплового расцепителя, ток электромагнитного расцепителя.*

Key words*: modular circuit breakers, molded case circuit breakers, thermal tripping current, electromagnetic tripping current.*

Введение

Выключатели модульные стали неотъемлемой частью современных электрических систем. Их использование охватывает широкий спектр применений, от бытовых до промышленных. В данной статье мы рассмотрим основные характеристики модульных выключателей, их преимущества и недостатки, а также проведем сравнение с автоматическими выключателями в литом корпусе с Iн ≤100.

Автоматический выключатель – это коммутационный аппарат, способный включать, проводить и отключать номинальные токи в цепи при нормальных условиях, а также включать, проводить в течение установленного нормативного времени и отключать токи при указанных ненормальных условиях в цепи, таких как короткого замыкания.

Что такое модульные выключатели? Модульные выключатели – это устройства, размещенные в стандартных монтажных коробках и используемые для управления электрическими цепями. Они могут быть однофазными и трехфазными, а также отличаться по номинальному току и напряжению.

Основная часть

Принцип работы модульных выключателей.

Напряжение источника питания подается сверху (рис. 5), ток протекает по следующий цепи: винтовой зажим 4, гибкая связь 6, металлическая пластина теплового расцепителя 5, катушка электромагнитного расцепителя 7, неподвижный силовой контакт, подвижный силовой контакт, нижний винтовой зажим 4. При протекании тока, превышающего номинальное значение автоматического выключателя не менее чем в 1,13 раза, левый конец биметаллическая пластины теплового расцепителя, изгибаясь вверх, приводит в движение механизм расцепления, при этом подвижный силовой контакт отходит от неподвижного силового контакта и цепь разрывается. Пластмассовый рычаг ручного привода 1 опускается вниз. При протекании по виткам катушки 7 электромагнитного расцепителя тока силой, превышающей значение уставки, электромагнитное поле, создаваемое этой катушкой, достигает величины, которой достаточно для втягивания стального сердечника 3, который перемещается вниз и приводит действие через двухплечий рычаг расцепления автомата, подвижный силовой контакт отходит от неподвижного силового контакта и цепь разрывается. Возникающие при этом электрическая дуга под действием магнитного поля катушки 7 втягивается в дугогасящую камеру 8, которая имеет набор параллельных металлических пластин для охлаждения и гашения электрической дуги.

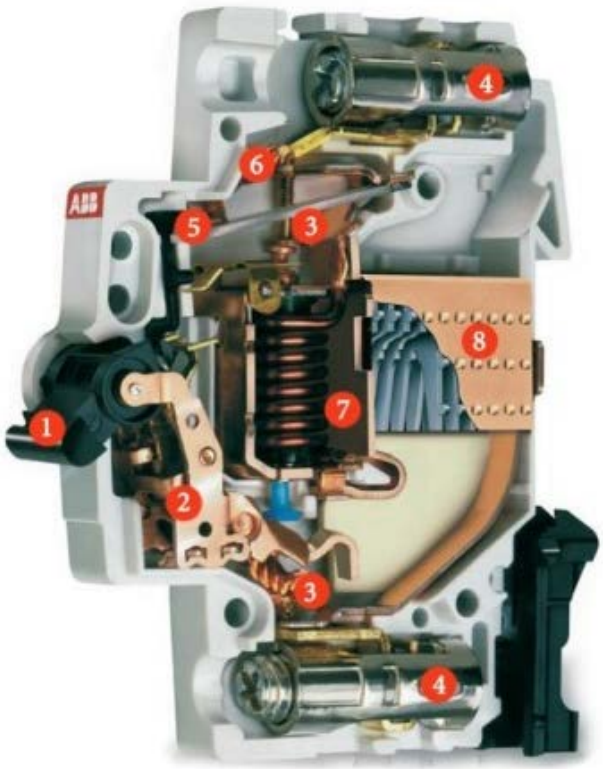


Рисунок 1 –Устройство модульного автоматического выключателя

Выбор автоматических выключателей.

Выбор автоматического выключателя производится с учетом следующих условий:

– номинальное напряжение Uн $\geq$ Uсети;
– номинальный ток Iнома $\geq I$р, Iномт. р $\geq$ Iр / КnКt, где Кn – коэффициент, зависящий от количества установленных автоматических выключателей в ряду, Kt – коэффициент, зависящий от температуры окружающей среды, Iр – длительный рабочий или расчетный ток в защищаемой электрической цепи, А.
– по уставке срабатывания электромагнитного расцепителя Iср. э. р при токе КЗ I. ср. э. р $\geq$ КIпик, где КIпик – коэффициент, учитывающий погрешность расчета пикового тока и разброс защитных характеристик электромагнитного расцепителя автоматического выключателя.

Для большинства автоматических выключателей КIпик = 1,25, коэффициент обеспечивает невозможность ложного отключения линии при пуске электродвигателя при разбросе времятоковых характеристик.

При определении номинального тока электромагнитного расцепителя, защищающего ответвление к одиночному электродвигателю, в выражениях в качестве Iр принимается номинальный ток двигателя, а в формуле вместо Iпик подставляется пусковой ток Iпуск.

Ток срабатывания автоматического выключателя, как правило, устанавливается изготовителем в зависимости от Iномт. р:

$$I\text{номэ. р} = \text{Кто} \cdot I\text{ном т. р} \quad (1)$$

где Кто – кратность тока отсечки, принимаемая по технической документации.

Для модульных автоматических выключателей Kто электромагнитного расцепителя по отношению к току теплового расцепителя обозначают буквой:

– B от 3 Iном т. р до 5 Iном т. р
– C от 5 Iном т. р до 10 Iном т. р
– D от 10 Iном т. р до 20 Iном т. р

Следовательно, для модульных автоматических выключателей кратность тока электромагнитного расцепителя определяется по условиям:

– условие несрабатывания автоматического выключателя при пиковых нагрузках:

$$K\text{то} \geq 1{,}25\ I\text{пик}/\ I\text{ном т. р} \quad (2)$$

где Kто выбирается по нижним пределам, т.е B-3, C-5, D-10.

– гарантированное срабатывание автоматического времятоковая характеристика выключателя при Iкз:

$$K\text{то} < I\text{кз}/\ I\text{ном т. р} \quad (3)$$

где Kто выбирается по верхним пределам, т.е B-5, C-10, D-20

Времятоковая характеристика (B, C или D (рис.2)), отражающая зависимость времени срабатывания выключателя t от кратности тока нагрузки Iпо отношению к номинальному току теплового расцепителя $t = f(I/I\text{ном т. р})$

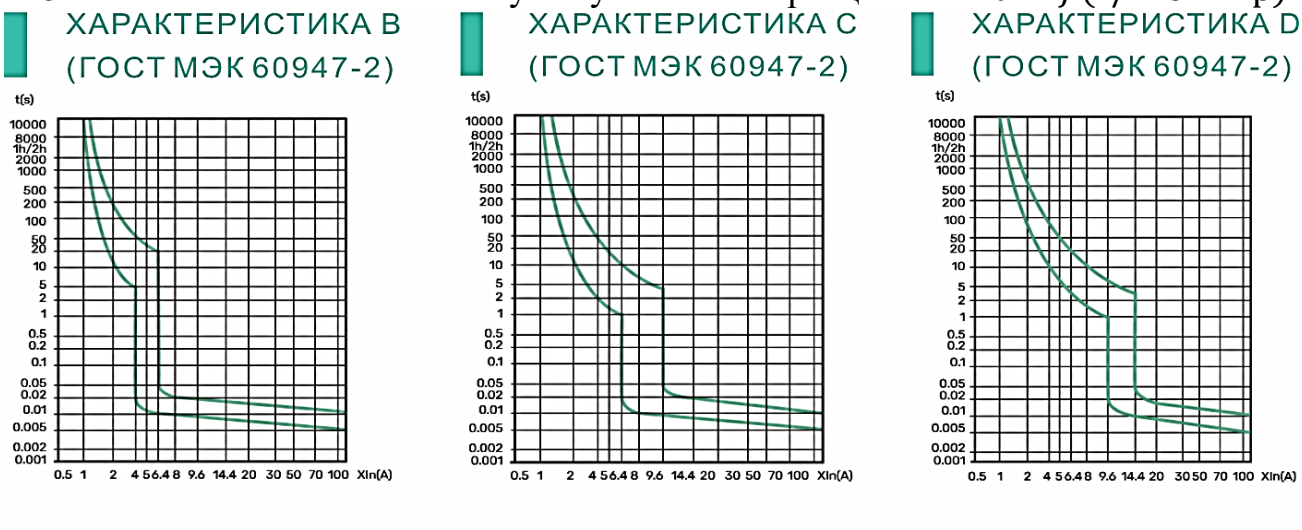


Рисунок 2 – Времятоковая характеристика

Проверка выбираемых автоматов в общем случае состоит в обеспечении соответствия технических характеристик автомата значениям тока КЗ в защищаемой цепи.

При выборе автоматического выключателя следует также учитывать:

- электрические и технические характеристики электроустановки, для которой выбирается автоматический выключатель;
- условий его эксплуатации, таких как температура окружающей среды, размещения в здании подстанции или корпусе распределительного щита, климатические условия и др.;
- эксплуатационных требований: селективного отключения, требований к дистанционному управлению, а также индикации, наличию соответствующих вспомогательных контактов, дополнительных расцепителей;
- МЭК, в частности требований в отношении обеспечения защиты людей;
- по чувствительности к току однофазного КЗ;
- отключающей способностям при коротких замыканиях,
- по условию селективности срабатывания;
- число полюсов: одна-, двух-, трех-, четырехполюсные;
- характеристик нагрузки, тип B применяется для защиты линий освещения или линии имеющих большой протяженность, тип C применяется для защиты розеточных групп или линий потребителями с умеренными пусковыми токами, тип D применяется для защиты трансформаторов или линий с потребителями с большими пусковыми токами.

Сфера применения автоматических выключателей.

Автоматические выключатели до 100 А находят широкое применение в различных областях, обеспечивая защиту электрических цепей и оборудования. Рассмотрим основные сферы их применения:

- Жилые и коммерческие здания. Автоматические выключатели используются в распределительных щитах для защиты домашних и офисных электрических сетей. Они предотвращают перегрузки и короткие замыкания, обеспечивая безопасность пользователей и оборудования.
- Промышленность. В производственных помещениях автоматические выключатели защищают электродвигатели, трансформаторы и другое оборудование. Они позволяют избежать повреждений в случае аварийных ситуаций, что снижает риск простоев и финансовых потерь.
- Строительство. Во время строительства автоматические выключатели обеспечивают временное электроснабжение и защиту строительных инструментов и оборудования. Это особенно важно на крупных строительных площадках, где используется множество электрических устройств.
- Системы освещения. В системах освещения автоматические выключатели обеспечивают защиту цепей освещения, предотвращая перегрев и возможные пожары. Они могут использоваться как в жилых, так и в коммерческих помещениях.
- Электрические установки для бытовой техники. Автоматические выключатели часто устанавливаются в домашних электросетях для защиты таких устройств, как стиральные машины, холодильники и другие мощные бытовые приборы. Это способствует долговечности техники и безопасности эксплуатации.
- Системы безопасности. В системах сигнализации и видеонаблюдения автоматические выключатели защищают оборудование от перепадов напряжения и коротких замыканий, обеспечивая надежность работы систем безопасности.
- Автоматика и управление. В приложениях автоматизации, таких как системы управления производственными процессами, автоматические выключатели играют важную роль в защите управляющих цепей и оборудования от повреждений.

Автоматические выключатели до 100 А являются незаменимым элементом в современных электрических системах. Они обеспечивают безопасность, надежность и долговечность работы различных устройств и установок, что делает их важной частью как в быту, так и в промышленности.

Преимущества модульных выключателей.

Модульные аппараты более компактные (рисунок 3), имеют ширину модуля 18мм, что обеспечивает удобство монтажа и экономию места в электрических щитах.

Модульное оборудование соответствует МЭК 60898–1 и МЭК 60898–2. К модульным автоматическим выключателям предъявляются более жёсткие требования по безопасности, что позволяет их безопасно использовать неквалифицированным персоналом. Также модульные автоматические

выключатели соответствуют стандарту МЭК 60947–2, что говорит о возможности их использовании в промышленных объектах.

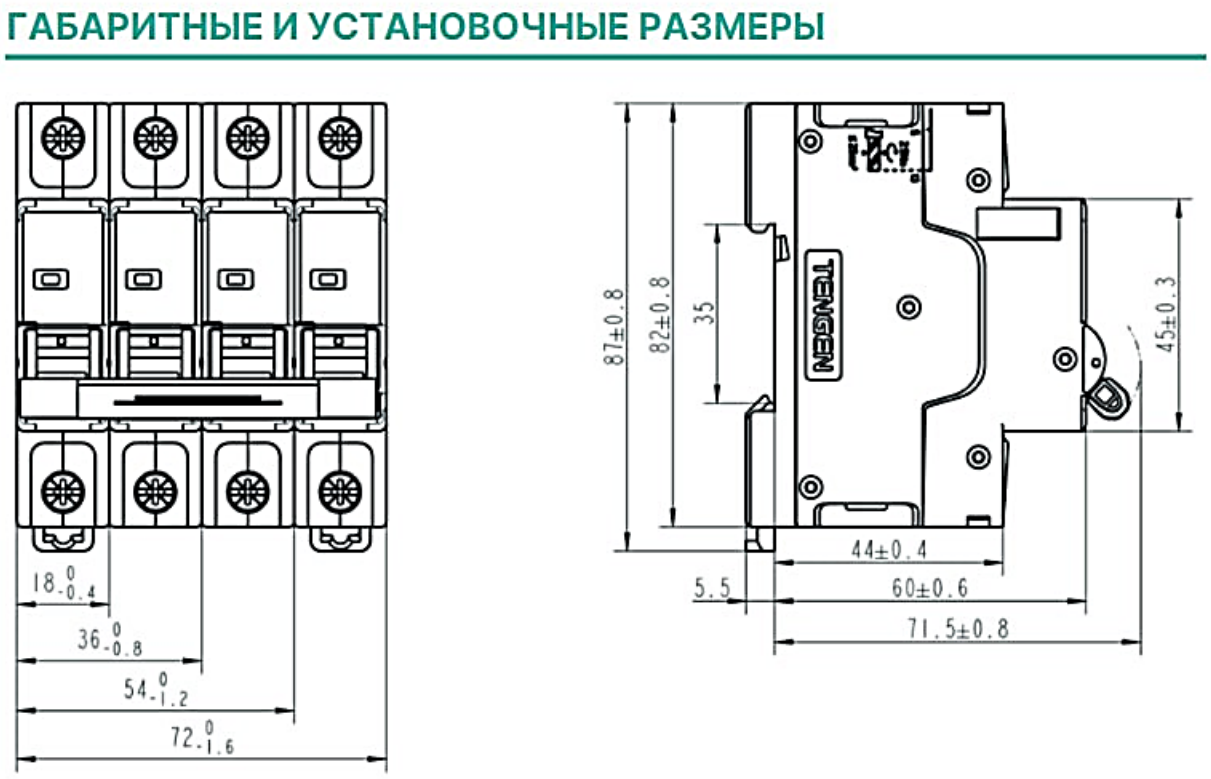


Рисунок 3 – Модульный автоматический выключатель серии TGB1N-125H, бренд TENGEN

Основные характеристики:

– по отключающей способности классифицируются: 4,5, 6, 10, 15, 20, 25кА
– имеют время токовые характеристики B, C, D, K, Z.
– номинальные токи от 0,5 до 125А

Такой выбор позволяет использовать их в различных установках - от бытового назначения до ответственных промышленных объектов, где необходима повышенная надежность автоматики.

Среди преимуществ можно отметить: подключение питания как сверхутак и снизу, произвольное монтажное положение, монтаж на DIN-рейку, возможность выбора характеристики для точной селективности. Габаритный размер одинаков у всех производителей модульных автоматических выключателей, что дает удобство монтажа и проектирования щитов.

Имеются также различные аксессуары для модульного оборудования (независимые расцепители, вспомогательные блок-контакты, расцепители минимального напряжения, сигнализация положения, для автоматизации контроля состояния), которые легки в установке и имеют компактные размеры. Имеется возможность установки соединительных шин на все автоматические выключатели.

Модульные аппараты также имеют дифференциальную защиту типы: A, AC, B, F. Это даёт возможность защищать не только оборудование, но и человека.

Большое разнообразие модульной аппаратуры дает возможность для сборки разнообразных бытовых и промышленных решений под любые нужды, при этом экономя в цене и не теряя в качестве.

Хочется также отметить появление на рынке нового витка развития модульного оборудования (рисунок 4), которое имеет дистанционное управление (к примеру, со смартфона), может считывать и передавать различные параметры (ток, напряжение, мощность). Можно с уверенностью сказать, что данная технология получит большую популярность и широкое применение в будущем.



Рисунок 4 – Модульный автоматический выключатель умного поколения Schneider Electric Reflex iC60

Преимущества автоматических выключателей в литом корпусе.

Для сравнения был выбран автоматический выключатель TGM1N от бренда TENGEN, который имеет те же основные технические параметры, что и выбранный нами модульный автомат.

Габаритные и установочные размеры

ГАБАРИТНЫЕ И УСТАНОВОЧНЫЕ РАЗМЕРЫ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ С ПЕРЕДНИМ ПОДКЛЮЧЕНИЕМ

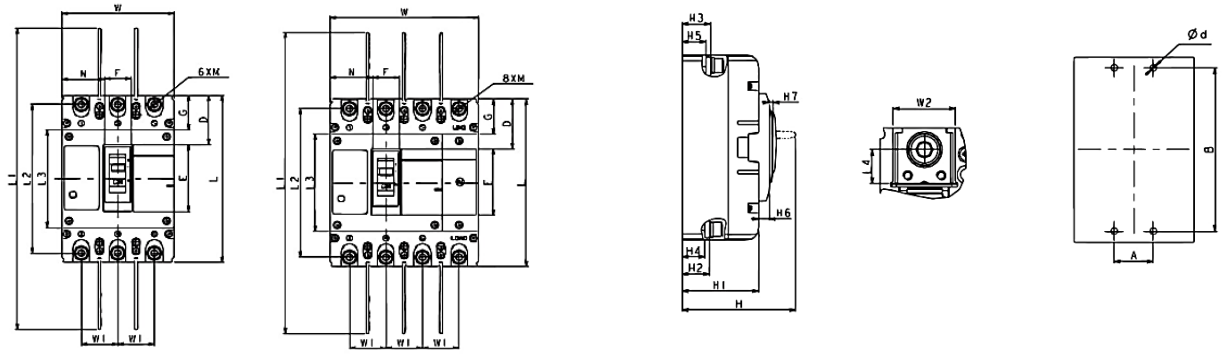


Рисунок 5 Автоматический выключатель в литом корпусе

По характеристикам выделяются основные преимущества литого корпуса:

– возможность использовать на напряжение 660/690 В;
– номинальное напряжение изоляции 8 кВ;
– возможность выбора уставки от тока замыкания Ii;
– отключающая способность от 25 до 70 кА;
– механическая износостойкость до 40000 циклов.

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Типоразмер		63				125			
Число полюсов		3P, 4P				3P, 4P			
Номинальная частота (f), Hz		50/60				50/60			
Номинальное рабочее напряжение (Ue), V		230/240/380/400/415 660/690				230/240/380/400/415 660/690			
Номинальное напряжение изоляции (Ui), V		800				800			
Номинальное импульсное выдерживаемое напряжение (Uimp), kV		8				8			
Номинальный ток (In), A		10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63				10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125			
Уставка тока защиты от короткого замыкания мгновенного срабатывания Ii		6In, 8In, 10In, 12In							
Отключающая способность		L	M	H	R	L	M	H	R
Номинальная предельная наибольшая отключающая способность (Icu), kA	380/400/415 V	25	35	50	70	25	35	50	70
	660/690 V	5	5	8	10	5	5	8	10
Номинальная рабочая наибольшая отключающая способность (Ics), kA	380/400/415 V	18	25	35	50	18	25	35	50
	660/690 V	5	5	8	10	5	5	8	10
Категория применения		A				A			
Механическая износостойкость, не менее циклов	Без тех. обслуживания	20000				20000			
	С тех. обслуживанием	40000				40000			
Электрическая износостойкость, не менее циклов		10000				10000			
Расцепитель		Электромагнитный				Электромагнитный			
		Термомагнитный				Термомагнитный			

Рисунок 6 – Основные технические характеристики

Также преимуществами перед модульными выключателями являются:

– болтовое присоединение проводника на наконечник (это же и недостаток);
– подключение проводника сечением до 70мм^2 в габарите 63/125 при помощи выносных шин. (Такое высокое сечение на номинальных токах до 63 А необходимо в случаях, когда нагрузка и питание находятся далеко друг от друга и из-за падения напряжения необходимо увеличивать сечение проводника);
– большой выбор аксессуаров как внутренней, так и внешней установки;
– возможность работы в высоких температурных диапазонах от -35 до +60 с учетом поправочных коэффициентов.

Среди недостатков:

– габаритные размеры;
– подключение под болт;
– установка на монтажную панель, на DIN-рейку – только с адаптером.
– большое количество дополнительной оснастки (межфазные перегородки, клеммные крышки, задние/передние вывода, основаниявтычного исполнения, выкатные корзины, моторные привода, выносные рукоятки и тд.) внешней установки, так и аксессуары внутренней установки (вспомогательные контакты, аварийные, независимые расцепители);
– отсутствие выбора времятоковой характеристики, модульные выключатели в плане селективности более гибкие;
– сложность монтажа, требуется наличие сложного набора инструментов для установки.

Сравнение стоимости автоматических выключателей.

Для сравнения экономических затрат на приобретение оборудования выбраны следующие модели: TGM1N-250L/3300 (100A, 415VAC, 35kA, Ii=10·In, тип TM) и TGB1N-125H (100A, хар-ка C, 10kA, 4.5M).



Рисунок 7 – Стоимость аппаратов

Как видно, стоимость схожих по техническим характеристикам моделям различается в 2 раза, при этом экономичнее будет покупка именно модульного автоматического выключателя.

Заключение

Основные преимущества использования модульных автоматических выключателей перед выключателями в литом корпусе до 100 А:

- Компактность и гибкость Модульные автоматические выключатели имеют меньшие размеры и могут быть установлены в стандартные распределительные щиты. Это позволяет более эффективно использовать пространство и легко модифицировать системы защиты по мере необходимости.
- Удобство монтажа и замены Модульные выключатели легко устанавливаются и заменяются без необходимости демонтажа всей системы. Это упрощает обслуживание и ремонт, что особенно важно в условиях, где время – критический фактор.
- Модульность и расширяемость Модульные автоматические выключатели позволяют легко добавлять новые цепи или изменять конфигурацию существующих. Это дает возможность адаптироваться к изменяющимся потребностям электрической сети.
- Более высокая степень защиты Модульные устройства часто имеют более высокие значения IP-степени защиты, что делает их более устойчивыми к воздействию внешней среды, пыли и влаги, чем выключатели в литом корпусе.
- Лучшие характеристики защиты Модульные автоматические выключатели могут обладать различными типами защиты (перегрузка, короткое замыкание, дифференциальная защита), что позволяет обеспечить комплексную защиту цепей и устройств.
- Легкость в диагностике Модульные выключатели часто имеют индикаторы состояния, что позволяет быстро выявить наличие проблемы (например, сработку) без необходимости дополнительных инструментов.
- Экономия энергии и ресурсов. Часто модульные устройства более энергоэффективны и позволяют снизить потери энергии, что в долгосрочной перспективе может привести к снижению эксплуатационных расходов.
- Экологичность и безопасность Современные модульные автоматические выключатели разрабатываются с учетом экологических стандартов и имеют безопасные материалы, что делает их более устойчивыми к воздействию окружающей среды.

В свою очередь, целесообразно использовать аппараты в литом корпусе на низкие номинальные токи, где возможны высокие токи КЗ, н-р вблизи трансформатора, также, где есть требование на подключение кабельного наконечника, свободное пространство в шкафу.

В заключение: модульные автоматические выключатели представляют собой более современное и гибкое решение по сравнению с выключателями в

литом корпусе. Их преимущества делают их идеальным выбором для различных применений, обеспечивая надежность и безопасность электрических систем.

Литература

1. Шнейдер Электрик [Электронный ресурс] / Руководство по устройству электроустановок «Шнейдер Электрик». – Режим доступа: https://www.se.com/kz/ru/download/document/MKP-CAT-ELGUIDE-19/ – Дата доступа: 15.10.2024.

2. Нова систем [Электронный ресурс] / Автоматические выключатели бренда TENGEN». – Режим доступа: https://novasystem.by/catalog/avtomaticheskie_vyklyuchateli/filter/brand-is-tengen/apply/ – Дата доступа: 15.10.2024.

3. Выбор электрооборудования систем электроснабжения промышленных предприятий. Авторы: В.Н. Радкевич, В.Б. Козловская, И.В. Колосова. Минск, 2017

4. ГОСТ IEC 60898-1–2020 Межгосударственный стандарт. Аппаратура малогабаритная электрическая. Автоматические выключатели для защиты от сверхтоков бытового и аналогичного назначения. Часть 1Автоматические выключатели для переменного тока.

5. ГОСТ IEC 60947-2-2021 Межгосударственный стандарт. Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 2 Автоматические выключатели.

УДК 628.9.041

СВЕТОДИОДЫ: ПРЕИМУЩЕСТВА, НЕДОСТАТКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
LEDS: ADVANTAGES, DISADVANTAGES AND DEVELOPMENT PROSPECTS

П.А. Чибисова, Е.М. Ермоленко
Научный руководитель – Е.А. Дерюгина, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
P. Chibisova, E. Ermolenko
Supervisor – A. Dziaruhina, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье рассматриваются виды, недостатки, преимущества использования светодиодов и информация о перспективе развития светодиодного освещения.*
Abstract: *This article discusses the types, disadvantages, advantages of using LEDsand information about the future development of LED lighting.*
Ключевые слова: *светодиоды, освещение, осветительные приборы.*
Keywords: *LEDs, lightning, lightning fixtures.*

Введение

Современная наука и техника не стоит на месте. За последние 10 лет многое поменялось. В освещении было предложено использование более энергоэффективных и экономичных светодиодных ламп. С каждым годом их популярность только растёт [2].

В данной статье будут рассмотрены виды, применение светодиодов в различных областях, их преимущества и недостатки, а также перспективы развития этой технологии и её влияние на освещение в будущем.

Основная часть

Сегодня, современная наука подразделяет полупроводниковые источники света на 2 основных вида: светодиоды (LED) и органические светодиоды (OLED) [2].

Источник света, произведенный из полупроводникового материала с двумя выводами, обладающий p-n переходом называется светодиод или светоизлучающий диод (LED). Излучение света происходит за счет активации дырочного p-n перехода. При этом происходит эффект электролюминисценции при котором электроны рекомбинируют с дырками в области p-n перехода устройства. Цвет генерируемого света определяется шириной запрещенной зоны полупроводника [2].

Электролюминесцентный материал используется в излучающем слое органического диода (OLED). Органическими материалами в диоде могут быть полимеры, или же некоторые молекулы в кристаллической фазе. Большое количество электрических приборов используют органические светодиоды. OLED обеспечивает богатую цветовую палитру за счет того, что пиксели излучают свет напрямую и подсвечиваются независимо[2].

В последнее время светодиодное освещение стало популярно. Преимущества их по сравнению с другими источниками освещения:

- светодиодное освещение является более безопасным и экологичным источником света, а также предоставляет большую цветовую палитру с большей освещенностью;
- светодиоды могут быть произведены под определенные задачи, с различными формами и размерами;
- светодиоды потребляют меньшее количество электроэнергии и имеют более длительный срок службы, что уменьшает расходы на обслуживание;
- светодиоды хорошо подходят для разнообразных световых решений. Это открывает новые горизонты для архитекторов и дизайнеров, позволяя им реализовывать самые смелые идеи.

Для светодиодов характерно одно отличительное свойство: они большую часть тепла, при образовании энергии в свет, рассеивают в даль от излучающей поверхности [1]. Благодаря этому, нагрев предметов гораздо меньше. В тоже самое время светодиоды не излучают тепло, а отдают его от p-n-перехода к расположенному на корпусе теплоотводу. Если использовать мощное светодиодное освещение, то температура перехода будет выше, поэтому надежность и световые характеристики будут снижены, что приводит к снижению основных световых характеристик, а именно: яркости свечения и смещению рабочей длины волны светодиода, а при не качественном теплоотводе – к деградации структуры кристалла.

Для решения этой проблемы используют системы охлаждения. В качестве систем охлаждения мощных светодиодов используются керамические радиаторы, обдув с помощью вентиляторов, обдув ребер радиаторов импульсными турбулентными потоками воздуха.

Светодиодный светильник является сложным техническим устройством, в котором светодиодный модуль нельзя отделить от конструкции светильника. Для качественной работы должно быть рассчитано и взаимно согласовано множество элементов: требования по освещенности и оптика, режимы работы светодиодов и условия их охлаждения, светодиоды и источники питания для них, охлаждающие радиаторы и корпус светильника.

При этом компактность светодиода остается под вопросом. Например, необходимое количество светодиодов в корпусе светильников, применяемых для освещения улиц, около 50, а использование точечных источников света создает зоны яркой светимости. Эти зоны, характеризующиеся резким перепадом яркости, приводят к значительному дискомфорту и ослеплению наблюдателя. Эффект ослепления является важнейшим критерием оценки качества осветительного оборудования. На безопасность и комфорт восприятия окружающего мира оказывает влияние этот эффект [1].

Еще одним недостатком светодиодов является процентная глубина пульсаций освещенности в некоторой точки помещения при питании переменного тока. Неконтролируемая пульсация освещенности приводит к

зрительному утомлению. Пульсирующий свет вызывает постоянные сокращения ресничной мышцы, мышца утомляется, что приводит к развитию близорукости.

Полное отсутствие в спектре ультрафиолетового (УФ) излучения одно изпреимуществ светодиодного оборудования. Дозировка и определенные нормы существуют для регулирования УФ-излучения и контролируются от превышения. Компании Philips и OSRAM выпустили специальную линейку люминесцентных ламп, в которых уровень УФ-излучения приближен к уровню УФ-излучения, который наблюдается при дневном освещении.

Светодиоды позиционируются как приборы, не требующие тщательной утилизации. Однако исследований, ориентированных на установление последствий, связанных с попаданием использованных светодиодов в окружающую среду, не проводилось. Селенид кадмия и сульфид цинка находятся в составе светодиодов на квантовых точках (QDLEDs). Как известно, выше перечисленные материалы являются токсичными, поэтому утверждение об экологичности светодиодов вызывает некоторые сомнения [1].

Заключение

В данное время светодиоды считаются идеально подходящим источником света для подсветки в интерьере и декоративного освещения. Однако проблемы, изложенные в статье, не обеспечивает требуемого качества, поэтому светодиодная техника пока не может считаться идеальным источником света.

Литература

1. Время электроники [Электронный ресурс] / Светодиоды – идеальный источник света? – Режим доступа: https://russianelectronics.ru/svetodiody-idealnyj-istochnik-sveta/. – Дата доступа: 20.10.2024.

2. Школа электрика [Электронный ресурс] / Популярные виды светодиодов и различия между ними. – Режим доступа: https://electricalschool.info/main/lighting/2711-svetodiodnye-istochniki-sveta.html – Дата доступа: 20.10.2024.

УДК 621.311

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ НА ПРИМЕРЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ
ENERGY EFFICIENCY USING A WIND TURBINE

А.Д. Бобко, Е.О Лугавцов.
Научный руководитель – Н.А. Лозовская, ассистент
Белорусский национальный технический университет? г. Минск
A. Babko, E. Lugavtsov
Supervisor –N. Lozovskaya, Assistant
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Проект, описанный в тексте, касается энергетической эффективности и выбора ветроэнергетических установок. Он включает в себя выбор местности установки ВЭУ, выбор самой ВЭУ и расчёт энергопотребления и выработки электроэнергии. Внедрение проекта обеспечит более эффективное использование электроэнергии, повысит надежность и экономичность электроснабжения, улучшит управление и контроль потребления электроэнергии, а также сократит трудозатраты на использования оборудования.*

Abstract: *The project described in the text concerns energy efficiency and selection of wind turbines. It includes selection of the wind turbine installation site, selection of the wind turbine itself, and calculation of energy consumption and electricity generation. Implementation of the project will ensure more efficient use of electricity, increase the reliability and cost-effectiveness of electricity supply, improve management and control of electricity consumption, and reduce labor costs for using the equipment.*

Ключевые слова: *ВЭУ, энергетическая эффективность, генератор, технические характеристики, электроэнергия.*

Keywords*: WPP, energy efficiency, generator, technical characteristics, electric power.*

Введение

Раздел «Энергетическая эффективность» разработан в соответствии с ТКП 45-1.02-295-2014 [1].В данном разделе указываются технические решения проектируемых объектов, связанные со свойствами здания (зданий, комплекса зданий, топливно-энергетических объектов) и его инженерных систем, позволяющие при существующем потреблении энергии увеличить производительность (площадь, объём или вместимость)для запроектированного объекта или при текущей производительности (площади, объёме или вместимости) данного объекта необходимо снизить потребление энергии.

Основная часть

Энергетическая эффективность – это соотношение между полезным результатом, полученным от использования энергии, и затраченными на это энергоресурсами. Повышение энергетической эффективности предприятия заключается в оптимизации использования энергии для достижения максимального результата при минимальных затратах.

Энергоэффективность встречается в современном мире повсеместно. Мы можем видеть класс энергетической эффективности товаров различных сфер применения на умном доме, лапочках, морозильных установках, электроприборах и т.д. (рис. 1).

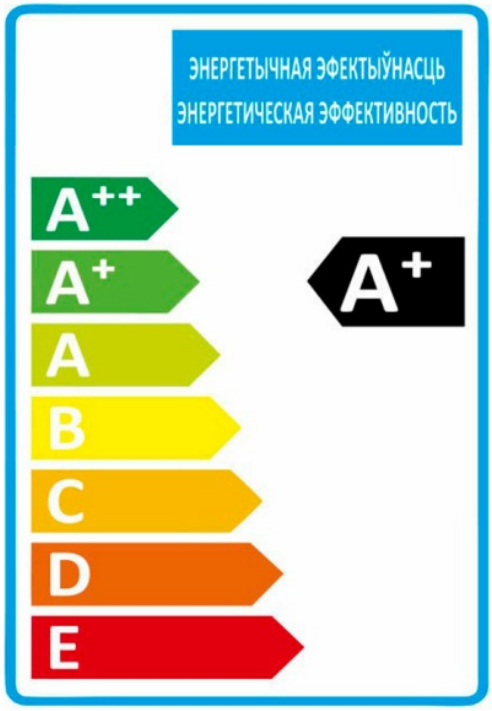


Рисунок 1 – Класс энергетической эффективности

Рассмотрим энергоэффективность на примере ветроэнергетической установки.

В Республике Беларусь наиболее эффективным местом для размещения ветроустановок является территория Могилёвского района.

Регион расположения данного объекта по климатическим условиям согласно СНБ 2.04.02-2000 «Строительная климатология», относится к нормально-влажному климатическому району [2].

Климат Могилева умеренно-континентальный.

По данным областного центра гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды неблагоприятные метеорологические условия, характеризующиеся наличием штилей, для данной местности крайне редки. Господствующее направление ветров в теплый период года – западное и северо-западное, в холодный период года – южное, юго-западное и западное.

Рельеф региона в основном равнинный.

Инвестиционный климат в области и ее инвестиционную привлекательность можно охарактеризовать как благоприятные [3].

В целях эффективного использования существующей инфраструктуры в части передачи электрической энергии потребителям и с целью снижения технических потерь энергии в электрических сетях, а также принимая во внимание фактическое энергопотребление предприятия, рассмотрим возможность применения единичной мощности одной установки до 1 МВт.

Анализируя технические характеристики различных ветрогенераторов, придем к выводу, что генераторы единичной мощностью до 8 МВт имеют высокие стартовую (свыше 5 м/с) и номинальную (свыше 10,5 м/с) скорости ветра.

Исходя из:

- сравнения технических характеристик: номинальной мощности одной установки, номинальной скорости ветра, стартовой скорости ветра;
- технической возможности присоединения к существующей электрической сети с эффективным использованием сетевой инфраструктуры;
- возможностей предоставления земельных участков, не вовлеченных в сельскохозяйственный оборот;
- условий согласования строительства высотных сооружений высотой, к примеру, свыше 100 м в приаэродромных зонах Генеральным штабом Министерства обороны и Комитетом по авиации Министерства транспорта Республики Беларусь, а также учитывая значительный опыт производства ветрогенераторов, рассматривается создание ветроэлектростанции из n количества ветроэнергетических установок. Например:
  a) модель XX мощностью 1500 кВт;
  b) установка YY мощностью 1000 кВт.

Ветроэнергетическая установка состоит из четырех основных элементов:

- генератор с лопастями – расположен сверху ветроустановки и производит энергию, когда дует ветер;
- башня – удерживает турбину на соответствующей высоте;
- контроллер – контролирует скорость и направление ветра, автоматически регулирует положение турбины так, чтобы наилучшим образом использовать атмосферные условия, преобразует энергию от генератора в ток, необходимый для зарядки аккумуляторов или питания инвертора.
- инвертор – преобразует постоянный ток в переменный ток, подходящий для питания бытовой техники;

Энергия, производимая в данный момент, вся передается в энергосистему. Чем быстрее дует ветер, тем больше энергии вырабатывается. Контроллер ветроэлектростанции отключает ветроустановку, когда ветер становится слишком сильным и представляет опасность для оборудования ВЭУ.

Перед установкой ветрогенератора важно выяснить, будет ли его использование экономически оправданным в данной местности. Для оценки эффективности работы ветрогенераторов в предполагаемом месте установки ветроэлектростанций необходимо учитывать следующие показатели:

- среднегодовая скорость ветра на уровне ступицы ветроколеса,
- среднегодовая номинальная загрузка мощностей.

Ветроэнергоустановки предполагается использовать в качестве источника электроэнергии.

Эксплуатация проектируемой ВЭУ будет осуществляться без постоянного присутствия эксплуатирующего персонала, поэтому обеспечение объекта действующими системами водоснабжения и канализации не требуется.

Проектные решения по разработанному проекту всегда обуславливаются заданием на проектирование, архитектурно-планировочным заданием, техническими условиями на проектирование, выполненным в ходе разработки с учётом всех возможных оптимальных вариантов в части энергоэффективности.

Для светового ограждения ветроэлектростанций и обеспечения безопасности воздушного движения, при разработке проекта, предусматривается применение заградительных огней, которые являются практичными, надёжными и полностью адаптированными к любым погодным условиям светосигнальными приборами. Эти огни обычно имеют статус "необслуживаемые", что дает возможность свести процесс технического обслуживания системы светового ограждения на огнях к визуальному осмотру и протирке плафонов огней (при необходимости), не отвлекая собственный персонал и не привлекая сторонние организации для выполнения трудоемких мероприятий на высоте.

От ВЭУ до точки подключения предусматривается строительство кабельных линий.

В настоящее время проектами предусматривается применение микропроцессорных терминалов защит и автоматики взамен защит и автоматики на электромеханической элементной базе. При этом потребляемая мощность панелей защит и автоматики с микропроцессорными терминалами в 4-5 раз меньше панелей защит на электромеханической элементной базе.

Оптимальные решения по автоматизации обеспечиваются за счёт расширения существующей системы АСКУЭ с помощью установки счётчика электрической энергии, которая позволяет осуществить различные учёты.

Экономический расчёт один из важнейших критериев энергетической эффективности. Ниже приведены формулы для расчёта основных показателей, таких как количества электроэнергии, отпущенной ВЭС, Необходимое количество электроэнергии, отпущенной с шин, с учётом потерь в электрических сетях и экономия топлива от строительства ВЭС.

Определение количества электроэнергии, отпущенной ВЭС:

$$Э_{отп}^{ВЭС} = Э^{ВЭС} \cdot (1 - \alpha_{сн}^{ээ}), \quad (1)$$

где $\alpha_{сн}^{ээ}$ – коэффициент потребления электроэнергии на собственные нужды ВЭС (на электрическое оборудование), принимается равным в диапазоне (0,2 %-1 %);

$Э^{ВЭС}$ – экономия от внедрения мероприятия.

Необходимое количество электроэнергии, отпущенной с шин, с учётом потерь в электрических сетях:

$$Э_{отп}^{ЭС} = Э_{отп}^{ВЭС} \cdot (1 + \Delta Э_{пот}), \quad (2)$$

где $\Delta Э_{пот}$ – коэффициент потерь в электрических сетях на транспортировку электроэнергии.

Экономия топлива от строительства ВЭС:

$$\Delta B^{ВЭС} = Э_{отп}^{ЭС} \cdot b_{ээ}^{ср} \cdot 10^{-6}, \quad (3)$$

где $b_{ээ}^{ср}$ – удельный расход топлива на отдачу электроэнергии, который считается фактическим расходом топлива на замыкающей станции в энергосистеме.

Заключение

В заключении выполненной работы, стоит заметить важность энергетической эффективности во всей структуре энергосистемы. В данном случае, энергетическая эффективность рассмотрена на примере ВЭУ: выбор площадки для установки ВЭУ, выбор самой установки ВЭУ, экономический расчет показателей энергосистемы на примере ВЭУ и др. Энергетическая эффективность имеет место для дальнейшего развития и её усовершенствования, так как касается каждого из нас и энергосистемы в целом.

Литература

1. ТКП 45-1.02-295-2014 «Энергетическая эффективность».
2. СНБ 2.04.02-2000 «Строительная климатология».
3. Исследование эффективности использования энергии ветра на территории брестской области Республики Беларусь [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://rep.bstu.by/ – Дата доступа: 20.10.2024

УДК 37.02

МЕТОДИКА ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ ВУЗА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ДИСЦИПЛИНАМ НА ОСНОВЕ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ СВЯЗЕЙ

METHODS OF TEACHINGUNIVERSITYSTUDENTSELECTRIC POWER DISCIPLINESBASED ON INTERDISCIPLINARYCONNECTIONS

В.А. Малецкая
Научный руководитель – Е.А. Дерюгина, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
V. Maletskaya
Supervisor – A. Dziaruhina, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Данная работа рассматривает взаимосвязь и отношения между электроэнергетическими дисциплинами, дидактический и методологический аспекты дисциплины «Теоретические основы электротехники».*
Abstract: *This work examines the relations hip and relations hips between the electric power disciplines, didactic and methodological aspects of the discipline "Theoretical foundations of electrical engineering".*
Ключевые слова: *дидактика, методология, электроэнергетические дисциплины, междисциплинарные связи.*
Keywords: *didactics, methodology, electric power disciplines, interdisciplinary relations.*

Введение

Современная система обучения в вузе требует глубокого анализа взаимосвязей между дисциплинами и построения учебного процесса так, чтобы он обеспечивал не только усвоение знаний, но и формирование практических умений. Преподавателям необходимо применять комплексный подход к обучению специалистов, одним из наиболее эффективных методов которого является использование междисциплинарных связей. Данная работа направлена на раскрытие дидактического и методического аспекта междисциплинарных связей дисциплины «Теоретические основы электротехники» в соответствии с учебным планом БНТУ специальности 7-07-0712-01 «Электроэнергетика и электротехника».

Дидактический аспект использования междисциплинарных связей предусматривает взаимодействие деятельности преподавателя и студентов, совершенствование содержания, методов и форм обучения. Методический аспект осуществляется с учетом специфики содержания и методов изучения конкретного учебного материала [4].

Основная часть

Учебная дисциплина «Теоретические основы электротехники» входит в состав модуля «Электротехника и электроника» государственного компонента учебного плана специальности 7-07-0712-01 «Электроэнергетика и электротехника» [6].

На данный модуль учебным планом отводится 25,67% (1356 часов) от общего количества часов государственного компонента. В результате изучения данного модуля у студентов будут сформированы профессионально-значимые качества, которые пригодятся в дальнейшей профессиональной деятельности инженера-энергетика.

Учебная дисциплина «Теоретические основы электротехники» занимает важное место в подготовке инженеров-энергетиков. На ее изучение отводится 450часов, 54 часа из них на практические работы, 72 часа на лабораторные работы. Учебная дисциплина «Теоретические основы электротехники» изучается на 2-3 курсе в 3-5 семестре. В 3 семестре отведено 110 часов, из них 18 часов практические работы, 18 часов лабораторные работы. В 4 семестре – 130 часов, из них 18 часов практические работы, 18 часов лабораторные работы. В 5 семестре – 210 часов, из них 18 часов практические работы, 36 часов лабораторные работы.

В целях контроля знаний студентов планом предусмотрено проведение обязательных контрольных работ, РГР и экзамена.

Дидактический анализ учебной дисциплины – предварительная дидактическая отработка в умственном плане специфических особенностей учебного материала по следующим его направлениям: социологическому; содержательному; логическому; воспитательному и развивающему; методическому [4].

Выполним дидактический анализ дисциплины в социологическом, содержательном и воспитательно-развивающем направлении.

Социологическое направление дидактического анализа дисциплины предполагает определение ее функционального назначения, места и временных рамок в структуре профессиональной подготовки специалиста [2]. Изучение дисциплины «Теоретические основы электротехники» играет ключевую роль в подготовке специалистов, так как предоставляет необходимую теоретическую базу для освоения более сложных электроэнергетических дисциплин. Основываясь на знаниях из математики и физики, данная дисциплина помогает студентам понять основные принципы работы электрических цепей, что является основой для дальнейшего профессионального роста.

Содержательное направление дидактического анализа дисциплины направлено на согласование учебных действий на каждом занятии, что обеспечивает соответствие квалификационной характеристике профессиональных компетенций [1]. Цели изучения включают формирование знаний о линейных и нелинейных электрических цепях постоянного и переменного тока, а также понимание электрического и магнитного полей.

Выявление внутридисциплинарных (ВДС) и междисциплинарных связей (МДС) имеет важное значение для формирования целостного восприятия учебного материала. Это способствует развитию профессионального интереса и эрудиции студентов [4].

Междисциплинарные связи дисциплины «Теоретические основы электротехники», которые помогают создать интегрированное понимание данной дисциплины: физика, математика, инженерная графика, прикладная

механика, электротехнические материалы, электрические машины, электрические аппараты, электротехнологические установки.

Воспитательный и развивающий аспекты дидактического анализа связаны с рассмотрения воспитательного и развивающего потенциала дисциплины. При изучении дисциплины «Теоретические основы электротехники» необходимо создать условия для воспитания ответственности, собранности и максимальной концентрации внимания. Изучение дисциплины дает возможность развивать у обучающихся умение осуществлять самоконтроль, самооценку и самокоррекцию своей деятельности при изучении.

Методический аспект дидактического анализа предполагает анализ существующих организационных форм, методов и средств обучения для оптимального их использования в практических условиях. Этот этап основывается на предыдущих результатах анализа и учитывает особенности структуры дисциплины и готовность студентов к её освоению.

Для эффективного усвоения и применения полученных знаний, умений и навыков необходимо определить форму организации педагогического процесса. Выделяют следующие формы организации учебной деятельности студентов [3]:

- фронтальная: совместная деятельность всех обучающихся для решения учебных задач;
- групповая: разделение студентов на группы для выполнения одинаковых или различных задач;
- индивидуальная: задания, подобранные в соответствии с уровнем подготовки каждого студента для самостоятельного решения.

Метод обучения представляет собой систематически функционирующую структуру взаимодействия преподавателя и обучающихся, направленную на осуществление запланированных изменений в личности студента.

В современных подходах к методам обучения выделяют две основные стороны: внешняя и внутренняя [4]. Внешняя сторона отражает действия преподавателя, тогда как внутренняя – правила, которыми он руководствуется. Таким образом, метод обучения должен объединять внутренние и внешние аспекты, а также связывать теорию и практику, деятельность преподавателя и обучающегося.

Методы обучения разнообразны и могут быть классифицированы по нескольким критериям:[3].

- по источникам передачи и характеру восприятия информации:
  a) словесные методы (рассказ, беседа, лекция);
  b) наглядные методы (показ, демонстрация);
  c) практические методы (лабораторные работы, практические занятия).
- по характеру взаимодействия преподавателя иобучающихся:
  a) объяснительно-иллюстративный метод;
  b) репродуктивный метод;
  c) метод проблемного изложения;
  d) частично-поисковый метод (эвристический);

e) исследовательский метод.

– по основным компонентам деятельности преподавателя:
  a) методы организации и осуществления учебной деятельности: словесные, наглядные, практические, репродуктивные и проблемные, индуктивные и дедуктивные, самостоятельная работа и работа под руководством преподавателя;
  b) методы стимулирования и мотивации учения: познавательные игры, анализ жизненных ситуаций, создание ситуаций успеха, разъяснение значимости учения;
  c) методы контроля и самоконтроля: устный и письменный контроль, лабораторные работы, фронт лекционного занятия по дисциплине «Теоретические основы электротехники» [3]:

Организационная часть:
– тип познавательной деятельности: объяснительно - иллюстративный метод;
– источник передачи информации: словесный метод (рассказ);
– форма организации: фронтальная.

Актуализация опорных знаний:
– тип познавательной деятельности:объяснительно- иллюстративный метод;
– источник передачи информации: словесный метод (беседа);
– форма организации: фронтальная.

3.Изложение нового учебного материала:
  a) тип познавательной деятельности: объяснительно - иллюстративный метод;
  b) источник передачи информации: словесный (рассказ) и наглядный (метод демонстрации);
  c) форма организации: фронтальная.

4.Закрепление нового учебного материала:
  d) тип познавательной деятельности: репродуктивный метод;
  a) источнику передачи информации: тест;
  b) форма организации: фронтальная.

5. Выдача домашнего задания:
  a) тип познавательной деятельности: репродуктивный и объяснительно - иллюстративный методы;
  b) источник передачи информации: словесный метод (беседа);
  c) форма организации: фронтальная.

Для лекционных занятий по дисциплине «Теоретические основы электротехники» рекомендуется использовать систему традиционных методов для передачи информации, объяснительно – иллюстративный метод взаимодействия с обучающимися, а также методы организации учебной деятельности и контроля.

Лабораторно-практические занятия играют важную роль в образовательном процессе, позволяя студентам осваивать практические навыки и применять

теоретические знания на практике. Они направлены на развитие экспериментальных и исследовательских умений, а также знакомство с современными техническими и программными средствами [2].

Лабораторно-практические занятия можно разделить на:

– Поисковые: студенты самостоятельно решают новые для них задачи, опираясь на теоретические знания. Это способствует развитию креативного мышления и способности к самостоятельному анализу;
– Репродуктивные: студенты работают по заранее подготовленным инструкциям, которые содержат все необходимые данные для выполнения работы. Эта форма помогает лучше усвоить материал и освоить методы работы с оборудованием;
– частично-поисковые: студенты получают задания, требующие самостоятельного поиска информации и применения знаний. Это развивает исследовательские навыки и умение работать с литературой.

Формы организации лабораторно – практических занятий:

– фронтальные: все студенты выполняют одно и то же задание, что способствует коллективному обсуждению и обмену опытом;
– групповые: студенты работают в небольших группах, что развивает командные навыки и умение работать в коллективе;
– индивидуальные: каждый студент выполняет задание самостоятельно, что позволяет глубже погрузиться в материал и развивать личные исследовательские навыки.

Проведение лабораторных и практических занятий по дисциплине «Теоретические основы электротехники» предполагает самостоятельное выполнение студентами работ в учебной аудитории под руководством преподавателя. На начальных этапах преподаватель проводит вводный инструктаж, в ходе которого студенты осмысливают сущность предстоящей работы, а также последовательность её выполнения. В течении всего занятия преподаватель наблюдает за ходом выполнения работы, консультирует студентов по возникающим вопросам, оценивает результаты их деятельности и выставляет итоговую оценку после выполнения студентом всех предусмотренных заданий. Студенты выполняют полученные задания, в случае необходимости обращаясь за помощью к преподавателю. В конце занятия студенты отвечают на контрольные вопросы и демонстрируют преподавателю выполненные задания [1].

Заключение

Междисциплинарные связи в обучении электроэнергетическим дисциплинам являются важным дидактическим условием для повышения качества знаний студентов в области электроэнергетики. Они способствуют интеграции знаний из различных дисциплин и их применению в профессиональной деятельности.

В данной работе раскрываются дидактический и методический аспекты междисциплинарных связей. В процессе обучения электроэнергетическим

дисциплинам выявляются функции: диагностическая, личностно-развивающая и профессионально-прогностическая.

Преподавание электроэнергетических дисциплин требует особого подхода, обусловленного многопрофильным характером этой области. Важно учитывать как педагогическую, так и профессиональную направленность, что позволяет более эффективно интегрировать технические и педагогические знания.

Литература

4. Дирвук, Е.П. Методическое обеспечение учебного занятия в учреждениях профессионально-технического и среднего специального образования: методическое пособие по курсовому проектированию для студентов специальности 1-08 01 01 «Профессиональное обучение» / Е. П. Дирвук, А. А. Плевко. – Минск: БНТУ, 2013. – 130 с.

5. Дирвук, Е. П. Логическое структурирование учебного материала как фактор оптимизации структуры и содержания современного урока в учреждениях профессионального образования / Е. П. Дирвук // Современные технологии в образовании : материалы международной научно-практической конференции, 23–24 ноября 2017 г. / Белорусский национальный технический университет ; гл. ред. Б. М. Хрусталев [и др.]. – Минск: БНТУ, 2017. – Ч. 2. – 163-167 с.

6. Левичев, О.Ф. Принцип законности в современной дидактике: методичексие рекомендации / О.Ф. Левичев. – Москва: Академия, 2008. – 200 с.

7. Сластенин, В.А. Педагогика / В.А.Сластенин, И.Ф.Исаев, Е.Н.Шиянов. – Москва: Академия, 2006. – 585 с.

8. Скакун, В.А. Организация и методика профессионального обучения: Учебное пособие / В.А. Скакун. – Минск: Форум: Инфа, 2007. – 336 с.

9. Учебная план БНТУ специальности 7-07-0712-01 «Электроэнергетика и электротехника» 2023 г.

УДК 621.316

ТРАНСФОРМАТОРЫ С ФУНКЦИЕЙ ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ
TRANSFORMERS WITH ENERGY STORAGE FUNCTION

И.И. Кирилюк, М.Е. Савашинский
Научный руководитель – В.П. Счастный, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
I. Kiriluk, M. Savashinskiy
Supervisor – V. Schastniy, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Трансформаторы с функцией накопления энергии, их виды, устройство и принцип работы.*
Abstract: *Transformers with energy storage function, their types, design and principle of operation.*
Ключевые слова: *трансформатор, суперконденсатор, литий-ионная батарея, ротационный накопитель.*
Keywords: *transformer, supercapacitor, lithium-ion battery, rotary storage.*

Введение

Трансформаторы – ключевые устройства в электрических системах, предназначенные для изменения напряжения переменного тока. Однако с развитием возобновляемой энергетики и необходимостью повышения надежности электроснабжения возникают трансформаторы, обладающие функцией хранения энергии.

Трансформаторы с функцией хранения энергии представляют собой инновационные устройства, которые объединяют функции традиционных трансформаторов и систем хранения энергии. Основной принцип их работы заключается в преобразовании и накоплении электрической энергии для последующего использования.

Основная часть

Трансформаторы с функцией накопления энергии комбинируют функции традиционных трансформаторов с технологиями хранения энергии, такими как суперконденсаторы, ротационные накопители или литий-ионные батареи.

Суперконденсаторы позволяют быстро накапливать и отпускать энергию, что помогает сглаживать пиковые нагрузки. Суперконденсаторы (рисунок 1), также известные как электрические двойные слои, функционируют на основе принципа электростатического накопления заряда. Они используют два электрода, погруженные в электролит, образуя электрический двойной слой, который позволяет хранить значительные объемы энергии. Применение суперконденсаторов в трансформаторах для хранения энергии основывается на их высокой плотности мощности, долговечности и быстром времени зарядки/разрядки.

Работа суперконденсаторов (рисунок 2) в трансформаторах включает следующие этапы:

– Зарядка. При наличии избытка энергии, трансформатор передает заряд к

суперконденсатору, где происходит накопление энергии на электрических обкладках.

– Хранение. Энергия сохраняется в виде электростатического поля между обкладками, обеспечивая быстрое высвобождение энергии при необходимости.
– Разрядка. Когда потребление энергии возрастает, суперконденсатор может быстро отключиться от накопленной энергии, обеспечивая трансформатор необходимым зарядом.

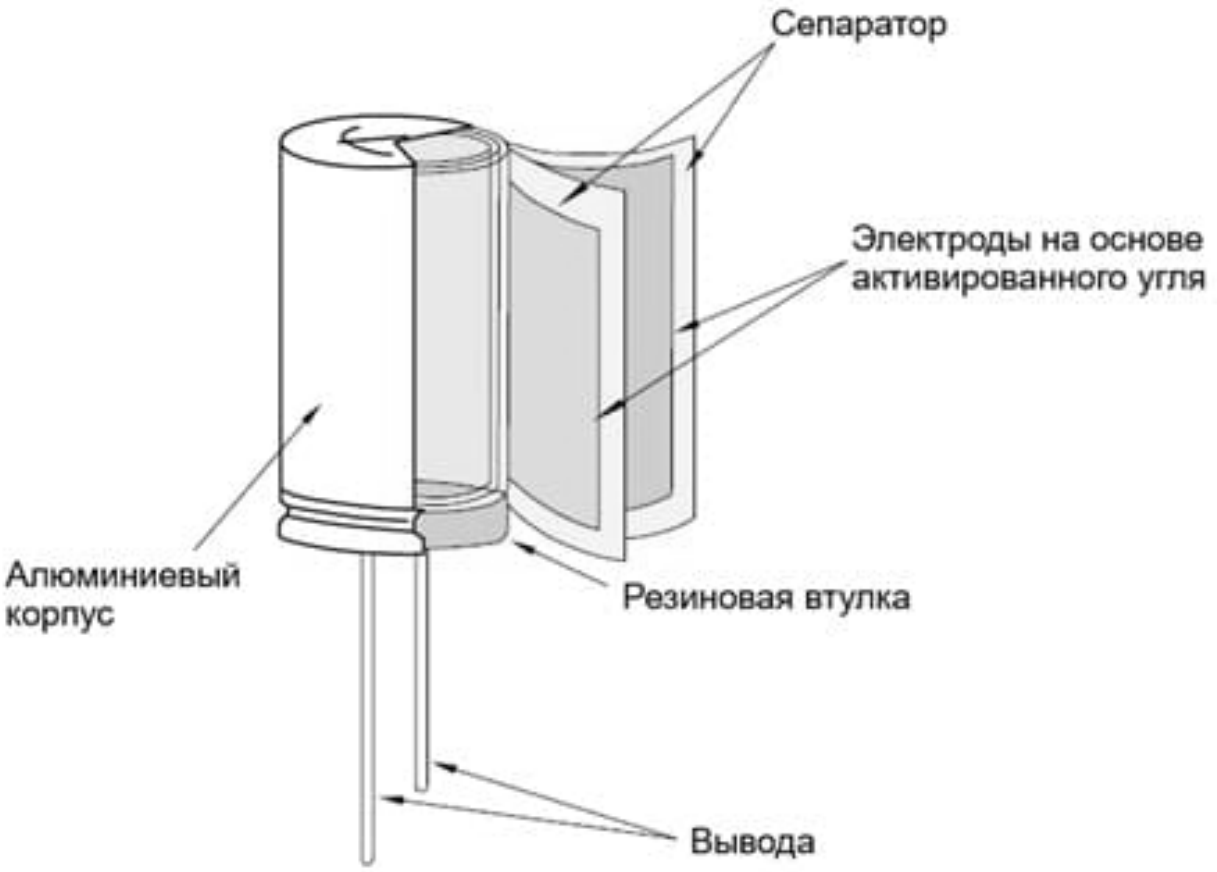


Рисунок 1 – Строение суперконденсатора

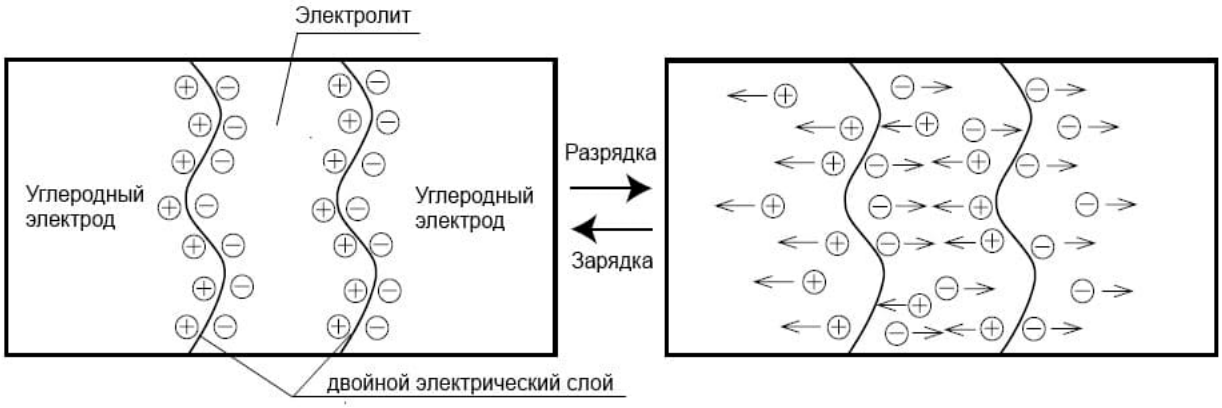


Рисунок 2 – Принцип зарядки и разрядки суперконденсатора

В трансформаторе суперконденсатор функционирует параллельно с другими методами хранения энергии, позволяя сглаживать пики нагрузки и

предоставляя мгновенный доступ к энергии. При подключении трансформатора к источнику переменного тока, суперконденсатор может заряжаться, аккумулируя избыточную энергию, которая затем может быть использована в моменты повышенного потребления.

Такие компании как: Siemens, ABB, Eaton, Maxwell Technologies, Schneider Electric активно исследуют и внедряют технологии, которые позволяют использовать суперконденсаторы для повышения эффективности работы трансформаторов и систем хранения энергии.

Ротационные накопители используются в некоторых специализированных трансформаторах и системах накопления энергии. Они представляют собой устройства, которые могут аккумулировать механическую энергию, обеспечивая ее последующее преобразование в электрическую.

Трансформатор с ротационным накопителем состоит из статора и ротора. Статор, фиксированный, содержит первичную обмотку, а ротор, вращающийся, включает в себя вторичную обмотку. При подключении переменного тока к первичной обмотке создается изменяющееся магнитное поле. Согласно закону электромагнитной индукции Фарадея, это поле индуцирует электродвижущую силу (ЭДС) во вторичной обмотке. Ротор с вторичной обмоткой вращается относительно статора. Это перемещение приводит к изменению геометрии магнитного потока, что способствует увеличению эффективности преобразования энергии.

Поскольку ротор вращается, индуцированная ЭДС может варьироваться в зависимости от скорости вращения и угла расположения обмотки относительно магнитного поля. Это позволяет регулировать выходные параметры, такие как напряжение и частота. Используются электронные регулировщики, которые поддерживают стабильное взаимодействие между статором и ротором. Эти системы отслеживают и оптимизируют рабочие параметры, обеспечивая максимальную эффективность.

В этом контексте ротационный накопитель используется для хранения механической энергии, которая может быть преобразована обратно в электрическую. Чистота и продолжительность вращения ротора имеют критическое значение для надлежащего функционирования устройства. Система контроля уровня нагрузки и температуры обеспечивает надежность работы трансформатора, предотвращая перегрев и обеспечивая защиту от перегрузок.

Ротационные накопители часто применяются в системах, где необходимо временное хранение энергии, например, в энергетических сетях с переменной нагрузкой или в возобновляемой энергетике.

Вот несколько компаний, которые производят трансформаторы с технологией ротационных накопителей: SAFT, ABB, Siemens, Schneider Electric.

Литий-ионные батареи предоставляют высокую плотность энергии и могут использоваться для хранения избыточной энергии, производимой во время пиковых солнечных или ветровых условий.

Литий-ионная батарея (рисунок 3) состоит из анода (обычно из графита), катода (из литий-кобальт-оксидов или литий-железо-фосфатов) и электролита, который обеспечивает проводимость ионов.

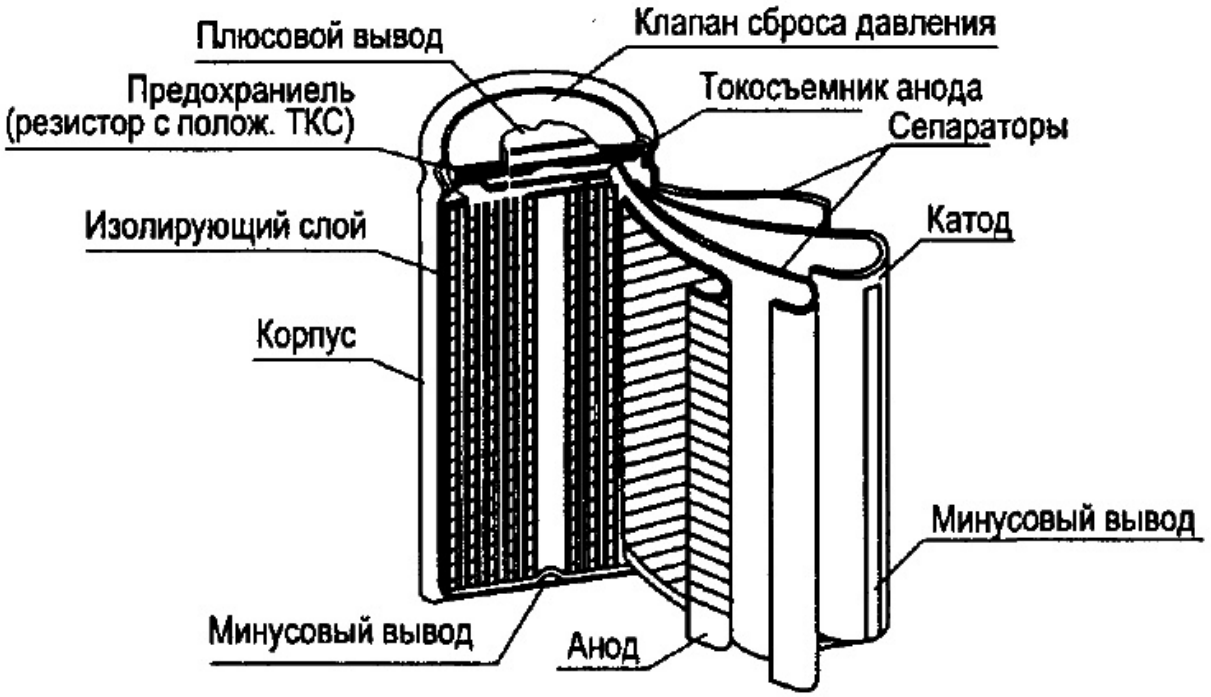


Рисунок 3 – Устройство литий-ионного аккумулятора

Литий-ионные батареи, используемые в трансформаторах с функцией хранения энергии, функционируют на основе процесса электрохимического хранения и преобразования энергии. Основные этапы работы литий-ионных батарей включают зарядку, разрядку и кинетику ионного обмена:

1. Процесс зарядки: Во время зарядки электрический ток проходит через батарею, что приводит к отбору литиевых ионов с катода и их миграции через электролит к аноду. При этом электроны, высвобождаемые из катода, движутся по внешней цепи к аноду.

2. Процесс разрядки: В процессе разрядки литиевые ионы возвращаются к катоду, проходя обратно через электролит. При этом, электроника преобразует химическую энергию обратно в электрическую, высвобождая электроны, которые возвращаются к катоду через внешнюю цепь, обеспечивая питание нагрузки.

3. Управление энергетическим потоком: Трансформаторы, сочетающиеся с литий-ионными батареями, могут модулировать поток энергии, обеспечивая как стабилизацию напряжения, так и компенсацию пиковых нагрузок в электросетях. Это позволяет более эффективно управлять распределением энергии, а также обеспечивает высокую устойчивость к колебаниям и временным потерям энергии.

Литий-ионные батареи характеризуются высоким удельным энергийным значением, низким уровнем саморазряда и длительным сроком службы, что делает их идеальными для применения в системах хранения энергии, интегрированных в трансформаторы.

Такие компании как: Siemens, Schneider Electric, General Electric, Eaton, Tesla, LG Chem, Fluence активно работают в области хранения энергии и могут предложить технологии такого рода.

Основными преимуществами трансформаторов с функцией хранения энергии являются:

- 1. Эффективность. Снижение потерь энергии за счет оптимизации процессов передачи и хранения.
- 2. Надежность. Обеспечение стабильности сети при колебаниях нагрузки.
- 3. Экологичность. Использование возобновляемых источников энергии для зарядки хранилищ.

Заключение

Трансформаторы с функцией хранения энергии представляют собой инновационное решение для повышения надежности и эффективности современных энергосистем. Они способствуют развитию устойчивой энергетики и могут значительно повлиять на наше будущее.

Литература

1. Суперконденсаторы [Электронный ресурс] / Суперконденсаторы – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/superkondensatory/.–Дата доступа 09.10.2024

2. Технологии хранения электрической энергии [Электронный ресурс] / Технологии хранения электрической – Режим доступа: https://esfccompany.com/articles/tekhnologii/tekhnologii-khraneniya-elektricheskoy-energii/.–Дата доступа 08.10.2024

УДК 621.311

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ УДАЛЕННЫХ СЕЛЬСКИХ РАЙОНОВ
ELECTRICITY SUPPLY IN REMOTE AND RURAL AREAS

Е.О. Лугавцов, А.Д. Бобко
Научный преподаватель – В.А. Малецкая, преподаватель-стажер
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
E. Lugavtsovov, A. Bobko
Supervisor – V. Maletskaya, Trainee teacher
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Данная работа рассматривает различные подходы к электроснабжению в удаленных регионах, включая использование возобновляемых источников энергии, таких как солнечные и ветровые установки, а также внедрение микросетей и систем хранения энергии.*
Abstract: *This work examines various approaches to power supply in remote regions, including the use of renewable energy sources such as solar and wind installations, as well as the introduction of micro grids and energy storage systems.*
Ключевые слова*: электроснабжение , возобновляемые источники энергии , микросети.*
Keywords: *electricity supply, renewable energy sources, micro grids.*

Введение

Электроснабжение удаленных и сельских районов представляет собой одну из наиболее актуальных задач современного общества. С ростом населения и урбанизацией, доступ к надежным источникам электроэнергии становится неотъемлемой частью обеспечения качества жизни, стимулирования экономического роста и развития социальной инфраструктуры. В то время как города и мегаполисы получают все больше возможностей для модернизации энергетических систем, многие удаленные и сельские территории продолжают сталкиваться с серьезными вызовами в области электроснабжения.

Основная часть

Проблемы электроснабжения удаленных и сельских районов. Электроснабжение в удаленных и сельских районах сталкивается с рядом проблем:

- Отсутствие инфраструктуры: Многие удаленные регионы не имеют развитой электрической инфраструктуры, что делает строительство линий электропередач экономически нецелесообразным;
- Низкая плотность населения: Низкая плотность населения в таких районах увеличивает стоимость подключения к централизованным системам электроснабжения;
- Экономические ограничения: Местные бюджеты часто ограничены, что затрудняет финансирование энергетических проектов;
- Климатические условия: В некоторых регионах климатические условия могут быть крайне неблагоприятными для традиционных источников энергии.

Альтернативные источники энергии.

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) становятся все более популярными в удаленных и сельских районах:

– Солнечная энергия: Солнечные панели могут быть установлены на крышах домов или в небольших солнечных фермах. Они обеспечивают автономное электроснабжение и могут быть использованы в сочетании с системами хранения энергии;
– Ветровая энергия: Ветроустановки могут быть эффективными в регионах с постоянными ветрами. Малогабаритные ветровые турбины могут использоваться для обеспечения электроэнергией небольших сообществ;
– Биомасса: Использование местной биомассы для производства электроэнергии также может стать устойчивым решением, особенно в аграрных регионах.

Микросети и системы хранения энергии.

Микросети представляют собой локализованные энергетические системы, которые могут работать автономно или в связке с основной сетью. Они позволяют:

– Управлять распределением энергии: Микросети могут интегрировать различные источники энергии и оптимизировать их использование;
– Обеспечить надежность: В случае отключения от основной сети, микросеть может продолжать функционировать, обеспечивая энергией местное население. Системы хранения энергии, такие как аккумуляторы, играют важную роль в балансировке производства и потребления электроэнергии, особенно при использовании ВИЭ.

Роль местного населения и государственных инициатив.

Успех проектов по электроснабжению удаленных районов зависит от вовлеченности местного населения:

– Обучение и образование: Обучение местных жителей управлению и обслуживанию энергетических систем способствует их устойчивости;
– Социальные инициативы: Программы поддержки и финансирования со стороны государства или международных организаций могут помочь в реализации энергетических проектов;
– Партнерство с частным сектором: Сотрудничество с частными компаниями может привести к внедрению новых технологий и привлечению инвестиций.

Примеры успешных проектов:

– Солнечные кооперативы: В некоторых странах создаются кооперативы, которые позволяют местным жителям совместно инвестировать в солнечные установки, делая электроэнергию более доступной;
– Ветровые фермы: Проекты по созданию малых ветровых ферм в удаленных деревнях демонстрируют успешное применение ветровой энергии для локального электроснабжения.

Заключение

Электроснабжение удаленных и сельских районов требует комплексного подхода, учитывающего местные условия и потребности населения. Использование возобновляемых источников энергии, микросетей и активное вовлечение местного населения являются ключевыми факторами успешной реализации проектов. Государственные инициативы и партнерство с частным сектором могут значительно ускорить процесс электрификации и улучшить качество жизни в этих регионах.

Литература

1. Альтернативные источники энергии [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://nsportal.ru/ap/library/nauchno-tekhnicheskoe-tvorchestvo/2018/05/22/proekt-alternativnye-istochniki-energii – Дата доступа: 24.10.2024.

2. Проблемы электроснабжения удаленных районов [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-osnovnye-napravleniya-razvitiya-elektrosnabzheniya-udalennyh-i-malonaselennyh-potrebiteley-rossii/viewer – Дата доступа: 23.10.2024.

3. Примеры электроснабжения удаленных и сельских районов [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ur.hse.ru/mirror/pubs/share/414890489.pdf – Дата доступа: 25.10.2024.

УДК 621.316.549

МОДУЛЬНЫЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ, МОДУЛЬНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ НАГРУЗКИ
MODULAR CIRCUIT BREAKERS, MODULAR LOAD SWITCHES

В.А. Буров
Научный руководитель – В.Б. Козловская, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
V. Burov
Supervisor – V. Kozlovskaya, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной работе рассмотрены назначение, принцип работы и устройство модульных выключателей нагрузки.*
Abstract : *In this paper are considered the purpose, principle of operation and device of modular load switches.*
Ключевые слова: *модульный выключатель нагрузки, выключатель нагрузки.*
Keywords: *modular load switch, load switch.*

Введение

В Республике Беларусь используется множество видов коммутационных аппаратов, такие как выключатель, автоматический выключатель, выключатель нагрузки, отделитель, разъединитель, переключатель, короткозамыкатель, предохранитель, контактор, реле, пускатель. Каждый из этих коммутационных аппаратов имеет свое назначение в определенных ситуациях и выполняет свою роль в электрических схемах. Но подробнее остановимся на модульных выключателях нагрузки.

Основная часть

Общие сведения о выключателях.

Выключатель – это коммутационный электрический аппарат, имеющий два коммутационных положения или состояния и предназначенный для включения и отключения тока (рис. 1).



Рисунок 1 – Выключатель нагрузки TDM SQ0211-0030 (слева) и автоматический выключатель BA47-29 (справа)

Процесс переключения между этими положениями и будет называться коммутационным процессом (изменение соединений в электрических цепях, в данном случае включение или отключение отдельных частей электрических цепей).

Выключатели по функциональному предназначению и конструктивному исполнению можно разделить на автоматические выключатели и выключатели нагрузки.

Автоматические выключатели (ВА) предназначены для защиты электрических цепей от перегрузок и токов короткого замыкания. По своей сути являются многоразовым аналогом обыкновенного предохранителя и выполняют те же функции. Срабатывает, как очевидно из названия, автоматически при превышении допустимого тока, но также имеет рычаг для отключения вручную.

Выключатели нагрузки (ВН)предназначены для отключения токов нагрузки, и токов холостого хода. Используется он когда требуется по каким-либо причинам отключить электрическую цепь (которая работает в нормальном режиме). Часто выключатели нагрузки используются в сочетании с автоматическим выключателем либо предохранителем. Имеет только ручной метод работы.

И вот, обозначив предназначения этих двух выключателей, возникнет вопрос: зачем ставить выключатель нагрузки, если цепь можно отключить автоматическим выключателем вручную? Дело в том, что некоторые цепи необходимо довольно часто переключать и автоматический выключатель не подойдет для таких целей, т. к. у него имеется определенное количество переключений, а выключатель нагрузки имеет более мощные контактные группы, меньше подверженные действию дуги и позволяющие долго выдерживать большие токи. Проще говоря, ВН обладает большей износостойкостью.

Внешне ВН и ВА практически не отличаются и имеют одинаковый размер при равном числе полюсов. Отличия можно заметить в схемах на корпусах (рис. 2).

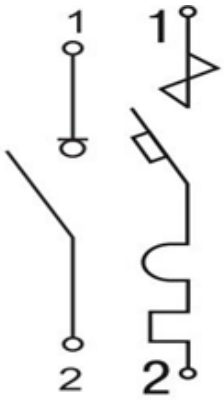


Рисунок 2 – Схемы на корпусах ВН и ВА

Функционально ВН может производить выключение или разъединение, а ВА производитдугогашение, автоматическое срабатывание. На схеме ВА указаны тепловой и электромагнитный расцепитель, поэтому более подробно далее будем рассматривать конструктивное исполнение только модульных ВА.

Особенности конструкций модульных автоматических выключателей.

Помимо однополюсных и многополюсных выключателей также существуют модульные выключатели. Модульные автоматические выключатели нашли широкое применение в различных электроустановках, от промышленных до бытовых. Главные преимущества модульных АВ: компактность, надежность, простота конструкции, невысокая стоимость.

Производители выпускают достаточно широкую линейку модульных АВ с разным числом полюсов (от 1-го до 4-х). Отличие модульных выключателей в том, что производятся они в виде одинаковых, однополюсных модулей, из которых собираются 2-х, 3-х и 4-х полюсные автоматы (т.е. многополюсные автоматы не имеют цельного корпуса, а состоят из соответствующего количества однополюсных модулей). Данная линейка модульных АВ рассчитана на различные номинальные токи, до 125 ампер включительно.

Рассмотрим конструкцию модульного АВ (рис. 3)

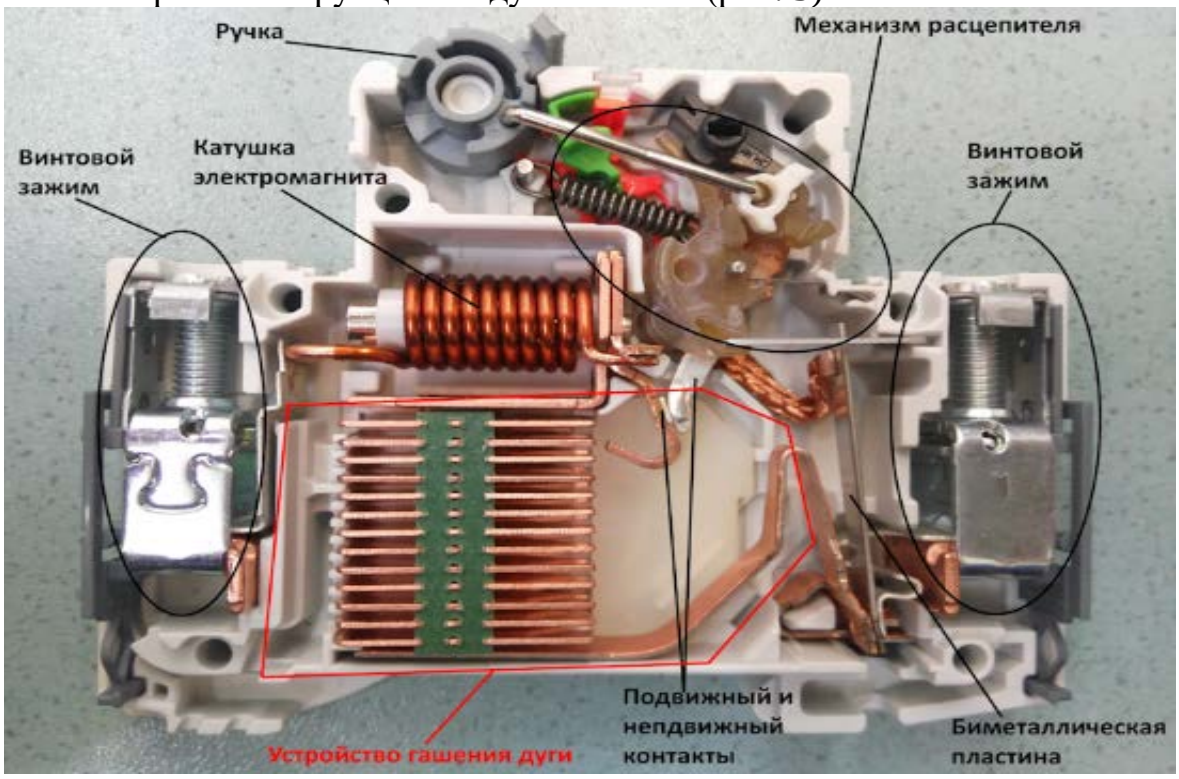


Рисунок 3 – Конструкция модульного автоматического выключателя

В модульных автоматах одновременно реализовано два вида защиты: тепловая и электромагнитная.

Тепловая защита АВ основывается на тепловом расширении. При нагревании биметаллической пластины происходит ее изгиб, так как одна сторона пластины в результате нагрева удлиняется больше, чем другая. Чем более ток, протекающий через АВ, тем больше нагрев пластины и тем больше изгиб. С одного конца биметаллическая пластина зафиксирована, а с другой свободна. При достаточном нагреве, а вследствие и изгибе, пластина способна воздействовать на механизм расцепителя.

Тепловая защита (тепловой расцепитель) выполнена на биметаллической пластине (рис.4).



Рисунок 4 – Конструкция теплового расцепителя

Также необходимо учитывать условия окружающей среды, а именно температуру воздуха. Этот параметр оказывает значительное влияние на теплообмен и может повлиять на изгиб биметаллической пластины. Поэтому производители указывают помимо прочих параметров ВА также температуру окружающей среды, при которой эти параметры будут верны.

Электромагнитная защита (электромагнитным расцепитель) реализована с помощью катушки с подпружиненным сердечником:

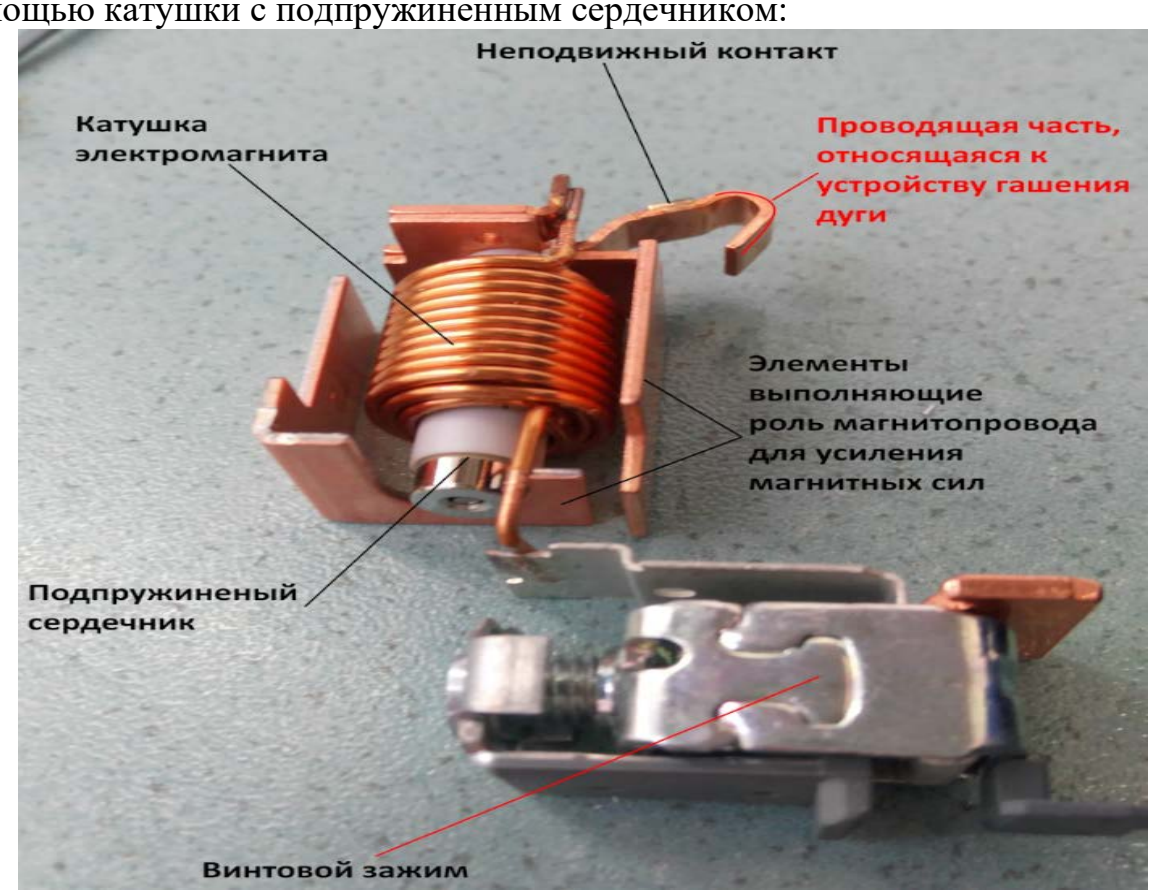


Рисунок 5 – Конструкция электромагнитного расцепителя

При возникновении значительного изменения тока, протекающего через катушку, возникает значительно магнитное поле, необходимое для того, чтобы сердечник втянулся настолько, чтобы оказать воздействие на механизм расцепления.

В итоге имеем две защиты: от длительных токов перегрузки (тепловая защита) и от токов короткого замыкания (электромагнитная защита). Если в выключателе реализованы и тепловая и электромагнитная защиты, то расцепитель принято называть комбинированным.

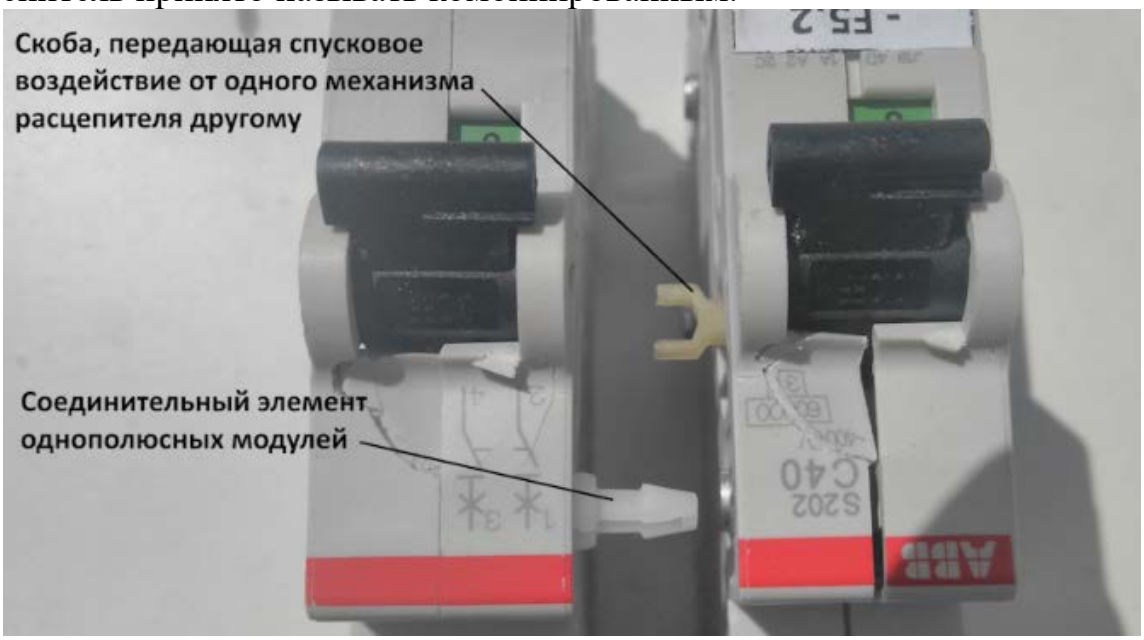


Рисунок 6– Соединительные элементы при сборке однополюсных модулей

При сборке модульных выключателей помимо фиксации их корпусов также производят фиксацию ручек автоматов при помощи штифтов или скоб. Также в корпусах имеются отверстия. Через нихделают вставку из штифта, скобы или планки. В случае срабатывания одного из автоматов эта вставка передаст спусковое воздействие на остальные автоматы, чтобы они отключились (рисунок 6).

Также можно сделать вывод, что собрать из однополюсных ВА нормально и надежно работающий многополюсный ВА, не имея необходимых деталей и без ознакомления с устройствомэтой модели автомата невозможно.

Заключение

Модульные автоматические выключатели и выключатели нагрузки широко используются в современных системах электроснабжения для оперативного управления электрическими цепями. Они представляют собой компактные коммутационные аппараты, выполненные в стандартных модульных корпусах.

Внешне модульные выключатели нагрузки очень похожи на автоматические выключатели, однако имеют ряд важных отличий. В первую очередь, они лишены расцепителей и используются исключительно для ручного оперативного управления. При этом модульные выключатели нагрузки обладают более высокой износостойкостью и надежностью благодаря усиленным контактам.

Модульные выключатели нагрузки и автоматические выключатели пользуются большим спросов ввиду своей компактности, простоте конструкции (следовательно надёжности) и невысокой стоимости.

Литература

1. Антоневич, А.И. Автоматические выключатели / А.И. Антоневич // Белорусский национальный технический университет ; редкол.: Б.М. Хрусталев, Ф.А. Романюк, А.С. Калиниченко. – Минск : БНТУ, 2012. – Т. 1 – С. 438.

2. Богушевич, И.А. Автоматические воздушные выключатели напряжением до 1000 В / И.А. Богушевич, Н.А. Акулик; науч. рук. В.Н. Мазуркевич / ред. колл.: С. М. Силюк [и др.]. – Минск : БНТУ, 2003. – С. 18.

3. DRIVE2 энергии [Электронный ресурс] / Модульные автоматические выключатели. Устройство и принцип работы – Режим доступа: https://www.drive2.ru/c/4940966122183730000/ – Дата доступа 08.10.2024

УДК 621.311

АККУМУЛЯТОРНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ
BATTERYPOWERPLANTS

Д.В. Кухновец, М.С. Марцинкевич
Научный руководитель – А.В. Кажецкая, преподаватель-стажер
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
D. Kukhnovets, M. Martsinkevich
Supervisor – A. Kazhetskaya, Trainee teacher
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В статье рассматриваются аккумуляторные системы накопления энергии (как важный элемент современного энергетического перехода. Описаны различные типы аккумуляторов, основные компоненты, принцип их работы и преимущества, такие как стабильность электросети, возможность накопления избыточной энергии и снижение нагрузки на электрические сети.*

Abstract: *The article deals with battery energy storage systems (as an important element of modern energy transition. Different types of batteries, main components, their working principle and advantages such as stability of the power grid, possibility to store excess energy and reduce the load on the power grid are described.*

Ключевыеслова: *аккумуляторные электростанции, системы накопления, энергия, хранение энергии, электрический ток.*

Keywords: *battery power plants, storage systems, energy, energy storage, electric current.*

Введение

Одним из эффективных и перспективных способов накопления электрической энергии, является применение аккумуляторных электростанций на базе батарей, позволяющих запасать энергию в химической форме, что особенно важно при необходимо обеспечить кратковременную пиковую мощность, тем самым предотвратить аварийное отключение подачи электроэнергии к потребителям.

Основная часть

Батарейные системы хранения энергии (BESS) имеют несколько сфер применения.

В период с 1799 по 1800 год Вольта работал над прототипом устройства, которое сейчас называется батареей. Сегодня они являются важной частью мировой энергетической системы в виде «систем хранения энергии на аккумуляторах» (BESS). BESS – это электростанции, в которых аккумуляторы, по отдельности или в совокупности, используются для хранения электроэнергии, вырабатываемой электростанциями.

Основными компонентами системы хранения энергии на основе аккумуляторов являются блоки, состоящие из аккумуляторов, инвертор, преобразующий постоянный ток (DC) от аккумуляторов в переменный ток (AC)

от сети (и наоборот); трансформатор, вспомогательные системы (в частности, для охлаждения и пожаротушения).

BESS являются одной из основных систем накопления энергии: иногда их также называют электрохимическими энергетическими системами. BESS использует особый метод хранения: поскольку электрический ток – это поток электрических зарядов, аккумулятор заряжается путём накопления зарядов определённых материалов (называемых электролитами) на одном из двух полюсов, с которых они затем перетекают на другой полюс в фазе разрядки.

Типы аккумуляторов. Аккумуляторы отличаются в основном используемыми химическими элементами:

Литий-ионный аккумулятор: на сегодняшний день это наиболее распространённая, эффективная и всё более экономичная технология; как правило, в них используется литий в сочетании с другими материалами, такими как железо и фосфат, которые применяются в аккумуляторах LFP (литий-железо-фосфатных) (рис. 1).

4.

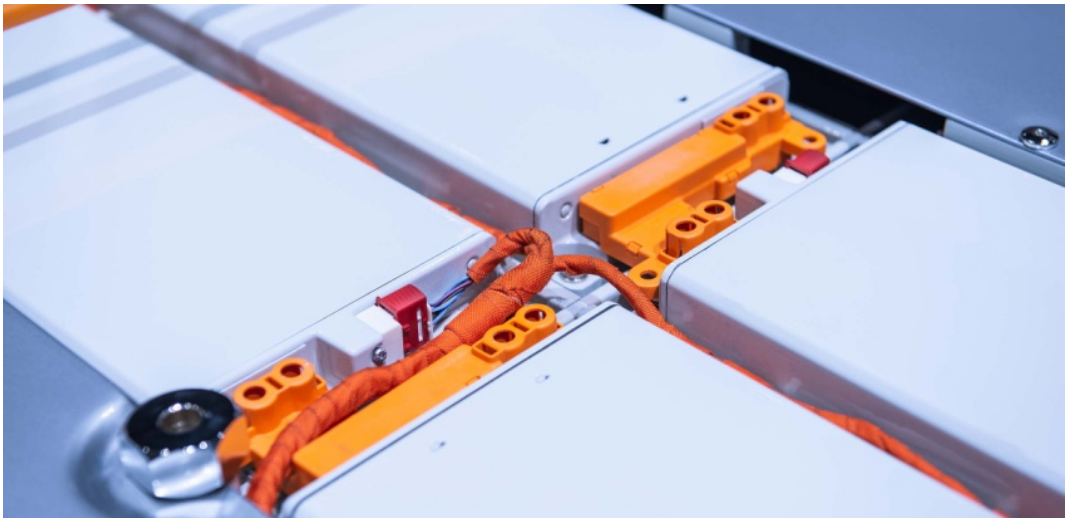


Рисунок 1 – Литий-ионные аккумуляторы

Альтернативы литию включают свинцово-кислотные и натрий-серные аккумуляторы, которые уже используются, а также другие, такие как алюминиево-серные аккумуляторы (рис. 2).



Рисунок 2 – Свинцово-кислотные и натрий-серные аккумуляторы

Ещё одна перспективная технология – проточные батареи (рис. 3), в которых меняется внутренняя динамика: в отличие от обычных батарей, электролиты хранятся отдельно, а затем поступают в центральную ячейку, где вступают в реакцию на этапе зарядки и разрядки. Наиболее распространённым примером является ванадиевая батарея, но существуют также цинк-бромидные и цинк-железные модели.

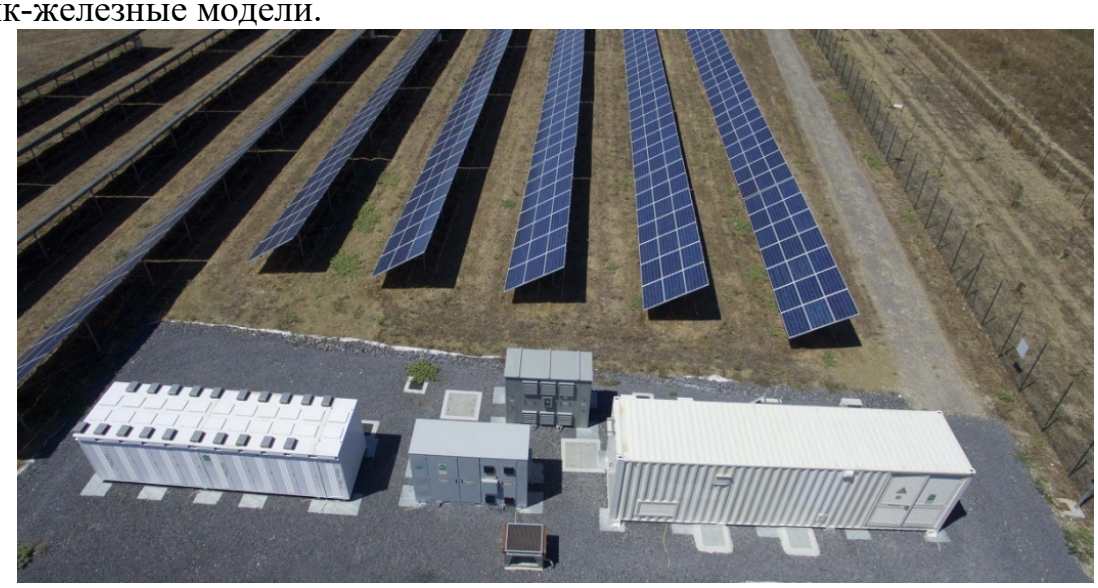


Рисунок 3 – Проточные батареи

Благодаря системам хранения электроэнергию, вырабатываемую ветряными и солнечными электростанциями, можно накапливать, а затем отдавать в нужное время, что позволяет внедрять новые возобновляемые источники в энергетическую систему.

Из всех систем хранения энергии BESS обладает преимуществом в плане доступности: благодаря быстрому развитию технологий, особенно в области материаловедения, цены на аккумуляторы продолжают снижаться, а их эффективность постоянно растёт. Благодаря своей модульной конструкции аккумуляторные системы хранения энергии отличаются высокой гибкостью и масштабируемостью: дополнительные аккумуляторные блоки можно легко добавить к уже работающей установке, чтобы увеличить её мощность.

Область применения. Наиболее естественными пользователями аккумуляторных систем хранения энергии являются энергетические компании, использующие ветряные и солнечные электростанции. Небольшая BESS позволяет самостоятельным производителям электроэнергии накапливать избыточную электроэнергию, вырабатываемую в течение дня, для использования ночью. Это также обеспечивает им определённую степень автономности в случае отключения электроэнергии и возможность отключиться от сети

Благодаря BESS компания может регулировать объёмы электроэнергии, получаемой из сети: уменьшать объёмы в периоды пикового спроса, что не только обеспечивает большую энергетическую безопасность, но и может способствовать стабильности сети. BESS также являются незаменимыми

элементами микросетей – небольших сетей, которые используются для производства и распределения энергии на местном уровне (в промышленных районах или жилых комплексах), BESS также подходят для.

Аккумуляторы для фотоэлектрических систем хранения. Одними из пользователей BESS являются фотоэлектрические системы, от индивидуальных панелей для бытовых потребителей до крупных солнечных электростанций.

Литий-ионные аккумуляторы используются в подавляющем большинстве случаев: они экономически выгодны по сравнению с альтернативами (такими как свинцово-кислотные аккумуляторы) из-за более оптимального соотношения между стоимостью, эффективностью и сроком службы.

Системы хранения энергии на аккумуляторах оказывают очень благоприятное влияние на энергетический рынок. Таким образом, роль BESS в энергетической системе становится всё более важной с точки зрения социальной и экологической устойчивости.

Заключение

Аккумуляторные системы накопления энергии играют ключевую роль в поддержании стабильности энергосистем и развитии возобновляемых источников энергии. Их гибкость, модульность и эффективность позволяют эффективно использовать избыточную энергию и сокращать выбросы парниковых газов. С уменьшением стоимости и увеличением производительности BESS становятся доступными для широкого использования, обеспечивая социальную и экологическую устойчивость энергосистемы и способствуя переходу к более чистой энергетике.

Литература

1. Аккумуляторные электростанции [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://electricalschool.info/energy/2338-akkumulyatornye-elektrostancii.html – Дата доступа 28.10.2024

2. BESS: BatteryEnergyStorageSystem [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://enelgreenpower.com/learning-hub/renewable-energies/ storage/bess – Дата доступа 28.10.2024

УДК 621.311

СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ
THE POWER SUPPLY SYSTEM ON THE EXAMPLE OF A WIND POWER PLANT

А.Д. Бобко
Научный руководитель – В.А. Малецкая, преподаватель-стажёр
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Babko
Supervisor – V. Maletskaya, Trainee teacher
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Работа касается системы электроснабжения ветроэнергетических установок. Она включает в себя перечень используемых трансформаторов, кабелей, защит и их предназначение. Также в работе описывается перечень этапов подключения ветроэнергетических установок к системе электроснабжения, её заземление и молниезащита. Работы может послужить помощью при создании проекта электроснабжения ветроэнергетических установок различных типов.*
Abstract: *The work concerns the power supply system of wind power plants. It includes a list of used transformers, cables, protections and their purpose. The work also describes a list of stages of connecting wind power plants to the power supply system, its grounding and lightning protection. The work can serve as an aid in creating a project for the power supply of wind power plants of various types.*
Ключевые слова: *ВЭУ, электроснабжение, кабель, трансфотматор, молниезащита, энергосистема.*
Keywords: *WPP, power supply, cable, transformer, lightning protection, powersystem.*

Введение

В Республике Беларусь в последнее время получают распространение альтернативные источники энергии. В том числе туда входят ветроэнергетические установки различных типов, мощностей, размеров и т.д. ВЭУ нужно подключить к энергосистеме для передачи и распределения выработанной электроэнергии по всей стране и за её приделы. Для этого и разрабатываются планы электроснабжения.

Основная часть

Ветроэнергетические установки подключаются к энергосистеме через трансформаторные подстанции. Это нужно для того, чтобы преобразовать напряжение выработанное ветрогенератором до уровня энергосистемы.

ВЭУ подключают к системе электроснабжения в несколько этапов:

- выбор места установки ВЭУ;
- проектирование ВЭУ, наружной подсветки ВЭУ, устройства контуров заземления и др.;
- установка самой ВЭУ, трансформаторных подстанций, кабельных линий и др.;
- подключение ВЭУ к сети и проверка безопасности и стабильности её работы в энергосистеме;

– обслуживание и плановая проверка ВЭУ.

В данной работе рассмотрим пример электроснабжения ВЭУ EnerconE-58/1000 мощностью 1000 кВт.

В любой энергосистеме может произойти аварийные ситуации. Для защиты ветрогенератора, ВЭУ имеет систему управления, которые предусматривает такие защиты, как:

– защиту от падения напряжения;
– защиту от перенапряжения;
– защиту от падения частоты;
– защиту от повышения частоты;
– защиту от несимметричной нагрузки (токовой);
– защиту от несимметричного напряжения.

Срабатывание вышеуказанных защит приводит к отключению силового контактора. Также система управления ВЭУ выполняет активную регулировку cos(φ).

Если обратиться к правилу устройства электроустановок (ПУЭ) заметим, что для обеспечения надежной и безопасной работы, устанавливаемую ВЭУ следует присоединить к проектируемому контуру заземления не менее чем в двух местах. Генератор ВЭУ присоединяется к контуру заземления посредством металлической мачты, имеющей непрерывную электрическую связь с конструкцией железобетонного фундамента. Такая система заземления относится к типу TN-C.

Для безопасности ВЭУ должна иметь молниезащиту. Согласно ТКП 336-2011 для ВЭУ рекомендован III уровень молниезащиты. Обычно молниезащита ВЭУ выполнется комплектно на заводе-изготовителе и действует по принципу клетки Фарадея. Общая базовая конструкция турбины выполнеется с учетом требований международного стандарта молниезащиты IEC 61400-24 уровня I (на примере ветроэнергетической установки (ВЭУ) типа EnerconE-58/1000 мощностью 1000 кВт).

Лопасти снабжены приемниками молний и гибкими изолированными проводами. Электрический контакт с башней обеспечен через ступицу. Конструкция гондолы и башни – полностью металлическая.

Также на некоторые ВЭУ согласно п. 7.6 ТКП 17.02-02-2010 (02120) на гондоле предусматривается биоакустический маяк для отпугивания птиц.

Для электроснабжения ВЭУ применяются специальные кабеля, которые соответствуют требованиям надёжности и долговечности. Основные типы кабелей, применяемых для ВЭУ:

– силовые;
– оптические;
– контрольные;
– с полиэтиленовой (ПЭ) оболочкой
– и другие.

Силовые кабели используют для передачи генерируемой энергии к трансформатору и дальше в энергосистему. Они должны быть устойчивы к воздействию окружающей среды и механическим нагрузкам. Оптические кабели

используют для быстрой связи между ветроэнергетическими установками и системой управления. Они обеспечивают высокую пропускную способность, что позволяет более точно управлять ВЭУ. Контрольные кабели используют для передачи сигналов управления между компонентами ВЭУ. Они должны быть хорошо защищены от воздействия электромагнитных волн. Кабели с полиэтиленовой (ПЭ) оболочкой имеют хорошую стойкость к кручению, что делает их использование предпочтительным в ветроэнергетике в целом.

Кабеля для ветроэнергетических установок прокладываются на глубине от 0,7 до 1 метра. Оптимальной глубиной считается около 1 метра. Ширина траншеи под кабель обычно около 0,3 метров.

Трансформаторы для ВЭУ применяют различных типов. Например, для повышения напряжения, генерируемого ветрогенератором, используют силовые трансформаторы. Они также служат для передачи электроэнергии на большие расстояния. Для стабильной работы ВЭУ применяются трансформаторы тока и напряжения. С помощью их можно производить контроль и измерения параметров электрической сети. Могут использоваться машинно-трансформаторные агрегаты (МТА), что позволяет повысить надёжность и эффективность системы.

Техническая эксплуатация электроустановок должна производиться в соответствии с требованиями "Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей" с соблюдением правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителями.

В процессе эксплуатации периодически проверяется надежность контакта проводов в местах крепления их винтами к выводам коммутационных аппаратов. При наличии признаков подгорания и разрушения коммутационного аппарата, последние должны заменяться новыми. Элементы электроустановки имеют определенный срок службы и их замена (при отсутствии повреждений) по правилам производиться только на основе проектной документации на ремонт.

В процессе эксплуатации периодически проверяется надежность и механическая целостность ВЭУ и её электроснабжения в целом.

Заключение

Стоит заметить, что электроснабжение это одна из важнейших частей энергетики во всём мире. Она задевает множество аспектов, электрического оборудования, а также требует большого внимания ещё на этапе разработки проекта электроснабжения любого из объектов (в работе рассмотрено на примере ВЭУ).

Литература

1. ТКП 17.02-02-2010 (02120) «Правила размещения и проектирования ветроэнергетических установок».

2. ТКП 336-2011 «Молниезащита зданий, сооружений и инженерных коммуникаций».

3. IEC 61400-24 «Wind energy generation systems - Part 24: Lightning protection».

УДК 621.311

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ПЕРЕХОДА К «ЗЕЛЕНОЙ» ЭНЕРГЕТИКЕ
ECONOMIC AND SOCIAL CONSEQUENCES OF THE TRANSITION TO GREEN ENERGY

Д.М. Густарник, М.С. Каминский
Научный руководитель – В.А. Малецкая, преподаватель-стажёр
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
D. Gustarnik, M. Kaminskiy
Supervisor – V. Maletskaya, Trainee teacher
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной работе мы разберём вопрос о переходе к“зелёной” энергетику, выделим основные предпосылки перехода, разберём экономические и социальные последствия, а также выделим положительные и отрицательные аспекты перехода.*

Abstract: *In this paper, we will analyze the issue of the transition to “green” energy, highlight the main prerequisites for the transition, analyze the economic and social consequences, as well as highlight the positive and negative aspects of the transition*

Ключевыеслова: *«зелёная» энергетика, возобновляемые источники энергии, энергия, переход, окружающая среда*

Keywords: *green energy, renewable energy, energy, transition, environment*

Введение

Одной из основных проблем современности является изменение климата и ухудшение состояния окружающей среды. Постепенное истощение запасов ископаемого топлива и его негативное влияние на экосистемы и здоровье человека подталкивают мировое сообщество к поиску альтернативных источников энергии, а также загрязнение воздуха, увеличение выбросов углекислого газа и глобальное потепление, переход к «зеленой» энергетике становится приоритетным направлением для многих стран.

Основная часть

«Зеленая» энергетика, базируется на использовании возобновляемых источников, а именно: солнечная, ветровая и гидроэнергетика.

Основные виды возобновляемых источников энергии:

- солнечная энергия (использует энергию Солнца для выработки электричества через фотоэлектрические панели или солнечные тепловые установки. Солнечные панели находят широкое применение как в домашних условиях, так и на крупных солнечных электростанциях.)
- ветровая энергия (использует кинетическую энергию ветра для генерации электричества с помощью ветряных турбин. Современные ветровые электростанции устанавливаются как на суше, так и на море, обеспечивая значительные объемы выработки энергии, особенно в

регионах с сильными ветрами.

- гидроэнергетика (использует силу потока воды для генерации энергии и является одним из самых старых видов возобновляемой энергии. Сегодня гидроэлектростанции (ГЭС) играют важную роль в обеспечении стабильного электроснабжения (около 17% мировой электроэнергии) .
- биоэнергия (энергия, получаемая из органических материалов (биомассы), таких как растительные остатки, сельскохозяйственные и бытовые отходы. Биомасса является возобновляемым источником, так как ее ресурсы могут быть восстановлены за счет естественных процессов роста и жизнедеятельности растений и животных. Чаще всего биомасса используется для производства тепловой энергии, электроэнергии и топлива, например: биогаз, биоэтанол и биодизель. Преимущества биоэнергии включают сокращение выбросов углекислого газа при правильном управлении ресурсами, улучшение утилизации отходов, а также возможность использования в регионах, где ограничены другие источники энергии. Использование биомассы требует строгого контроля, чтобы избежать негативного воздействия на биоразнообразие и не привести к дефициту продовольственных ресурсов, когда земли, пригодные для сельского хозяйства, используются под энергетические культуры.)
- геотермальная энергия (использует тепло, исходящее из недр Земли, для производства электроэнергии и отопления. Она является постоянным источником энергии, особенно в районах с высокой геотермальной активностью)

Переход к «зеленой» энергетике влечет за собой значительные изменения в структуре энергопотребления. Традиционные ископаемые виды топлива, такие как уголь, нефть и природный газ, постепенно теряют свою доминирующую позицию, уступая место возобновляемым источникам энергии. Это приводит к диверсификации энергетических ресурсов, снижению зависимости от импорта ископаемого топлива и, как следствие, к повышению энергетической безопасности стран. Страны, зависящие от импорта ископаемого топлива, получают возможность сократить свои энергетические затраты и укрепить энергетическую независимость, что в свою очередь, может ослабить позиции стран-экспортёров нефти и газа, что изменит баланс сил на международной арене. Это включает значительные капитальные вложения в инфраструктуру, технологии и исследования. Например, строительство солнечных и ветровых электростанций требует крупных инвестиций, хотя в долгосрочной перспективе эти проекты становятся более экономически эффективными за счет низких эксплуатационных расходов.

Одновременно с этим, переход к ВИЭ требует модернизации и адаптации инфраструктуры. Для интеграции новых источников энергии в существующие энергетические сети необходимы значительные инвестиции,

что создает как экономические возможности, так и вызовы. Например, требуется развитие технологий накопления энергии и умных сетей, которые могут управлять нестабильным производством энергии, характерным для солнечных и ветровых станций.Кроме того, страны, которые активно инвестируют в технологии ВИЭ, могут стать новыми лидерами на мировом энергетическом рынке, экспортируя оборудование и знания в другие регионы. Например, Китай уже является ведущим производителем солнечных панелей и активно расширяет свое влияние в этом секторе. В свою очередь, зависимость от новых видов ресурсов, таких как редкоземельные элементы, необходимые для производства аккумуляторов и других компонентов ВИЭ, может вызвать новые геополитические конфликты и напряжение.

Таким образом, экономические последствия перехода на «зеленую» энергетику имеют многоуровневый характер. Они включают как значительные возможности для роста и создания рабочих мест, так и сложные вызовы, связанные с издержками и геополитическими изменениями.

Переход к «зеленой» энергетике оказывает значительное влияние на рынок труда. С одной стороны, создаются новые рабочие места в быстро развивающихся секторах, таких как производство и установка солнечных панелей, ветровых турбин, обслуживание и эксплуатация возобновляемых источников энергии. По оценкам экспертов, количество рабочих мест в секторе возобновляемой энергетики продолжает расти и уже составляет миллионы по всему миру. С другой стороны, работники, занятые в традиционных отраслях энергетики, таких как добыча угля, нефти и газа, могут столкнуться с угрозой потери работы. Эти отрасли постепенно сокращаются по мере увеличения доли возобновляемой энергии. Чтобы смягчить последствия таких изменений, важной становится задача создания программ переквалификации для работников традиционных отраслей, что позволит им найти работу в «зеленом» секторе. Государства и международные организации разрабатывают стратегии для обеспечения «справедливого перехода», направленного на минимизацию социальных последствий для работников старых секторов экономики.

Также не стоит забывать и о доступности электроэнергии. Часто внедрение новых технологий требует значительных капиталовложений, что может значительно увеличить цены на электроэнергию. Для этого необходимо внедрение государственных субсидий, программ поддержки и инвестиций в инфраструктуру, обеспечивающую доступность «зеленой» энергии для всех категорий населения. Например, многие страны предлагают налоговые льготы и субсидии на установку солнечных панелей или переход на энергоэффективные технологии для домохозяйств, что способствует снижению их затрат на электроэнергию в долгосрочной перспективе.

В тоже время переход несёт значительные экологические и социальные выгоды в области здравоохранения. Снижение использования ископаемого топлива приводит к уменьшению выбросов вредных веществ в атмосферу,

таких как углекислый газ, сернистые соединения и твердые частицы, которые являются причиной загрязнения воздуха. Улучшение качества воздуха способствует снижению уровня респираторных заболеваний, сердечно-сосудистых болезней и общей смертности населения, а также уменьшение загрязнения окружающей среды благоприятно сказывается на состоянии природных экосистем, что, в свою очередь, также приводит к улучшению качества жизни.

Некоторые страны достигли значительных успехов в переходе к «зеленой» энергетике, став мировыми лидерами в использовании возобновляемых источников, а именно:

- Германия: Благодаря государственной программе Energiewende («энергетический поворот»), страна стремится к сокращению выбросов углекислого газа и переходу на возобновляемые источники энергии. Германия активно развивает ветровую и солнечную энергетику, и уже в 2020 году более 50% электроэнергии в стране было получено из возобновляемых источников. Стратегия включает снижение зависимости от угля и атомной энергии и планирует полностью отказаться от них к 2038 году.
- Дания: В 2020 году страна получала около 50% своей электроэнергии от ветряных электростанций. В 2019 году правительство Дании поставило цель стать углеродно-нейтральной к 2050 году. Кроме того, в Дании активно внедряются инновации в области энергоэффективности, что позволяет стране экономить значительные ресурсы.
- Швеция: Швеция также активно переходит на возобновляемые источники энергии, такие как гидроэнергетика и биомасса. Швеция намерена достичь углеродной нейтральности к 2045 году. Страна уже сейчас практически отказалась от использования ископаемых видов топлива для производства электроэнергии, при этом около 40% потребляемой энергии приходится на гидроэнергетику.

Заключение

Переход к «зеленой» энергетике является одним из ключевых направлений в борьбе с изменением климата и глобальным загрязнением окружающей среды. Он имеет как преимущества, так и недостатки, затрагивая как экономические, так и социальные аспекты развития общества, меняя традиционные подходы к энергетике и создавая новые возможности для устойчивого роста. Переход способствуетсозданию новых рынков и рабочих мест, улучшению энергетической безопасности и снижению зависимости от ископаемых ресурсов, улучшению здоровья населения за счет сокращения загрязнения воздуха, перестройку рынка труда и обеспечение доступности новых технологий для широких слоев общества. Успешные примеры стран и городов показывают, что при соответствующей политической воле, технологических инновациях и международной

поддержке переход к «зеленой» энергетике может стать основой для более устойчивого и справедливого будущего.

Литература

1. КиберЛенинка [Электронный ресурс] / Проблемы и перспективы перехода к «зеленой» энергетике: опыт разных стран мира – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-perspektivy-perehoda-k-zelenoy-energetike-opyt-raznyh-stran-mira-obzor/ – Дата доступа: 15.10.2024

2. QazaqGreen [Электронный ресурс] / Движущая сила перехода к «зеленой» энергетике – возобновляемые источники энергии – Режим доступа: https://qazaqgreen.com/journal-qazaqgreen/expert-opinion/1452// – Дата доступа: 15.10.2024.

УДК 621.316

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ В ИНДУКЦИОННЫХ НАГРЕВАТЕЛЯХ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
PROSPECTS FOR IMPROVING ENERGY EFFICIENCY IN INDUCTION HEATERS IN THE POWER SUPPLY SYSTEM

И.А. Черник, Д.А. Давыдович
Научный руководитель – В.П. Счастный, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
I. Chernik, D. Davydovich
Supervisor – V. Schastniy, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация**: В данной статье предоставлены предложения по оптимизации, различные методы повышения качества работы индукционных нагревателей. Приведены современные методы модернизации данной технологии.*
***Abstract**: This paper provides suggestions for optimization, various methods of improving the quality of induction heaters. Modern methods of modernization of this technology are given.*
***Ключевые слова**: интеграция систем, внедрение систем, катушки, индуктивные нагреватели, автоматизация, оптимизация процессов, анализ.*
***Keywords**: systems integration, systems implementation, coils, inductive heaters, automation, process optimization, analysis.*

Введение

Энергетическая эффективность индукционных нагревателей становится все более актуальной в условиях растущего потребления энергии и необходимости сокращения углеродных выбросов. Индукционное нагревание, обеспечивая быстрый и контролируемый процесс, требует новых подходов к оптимизации, чтобы улучшить эффективность и снизить затраты.

Целью данного исследования является анализ существующих методов повышения энергетической эффективности индукционных нагревателей, включая новые материалы, оптимизацию электроснабжения и современные системы управления. Мы стремимся выявить узкие места существующих решений и предложить инновации для улучшения энергоэффективности.

Основные достижения работы могут быть полезны для повышения конкурентоспособности производств и снижения эксплуатационных затрат, что имеет значительное значение в условиях устойчивого развития.

Основная часть

Энергетическая эффективность является ключевым фактором для повышения устойчивости и надежности современных систем электроснабжения. Индукционные нагреватели представляют собой одну из технологий, способствующих эффективному использованию электроэнергии, однако существуют определенные аспекты, которые могут быть оптимизированы для достижения наилучших результатов. В этом контексте предлагается

комплексное решение, включающее в себя несколько направлений: оптимизация конструкции и материалов, автоматизация процессов, совершенствование управления и внедрение возобновляемых источников энергии [1].

Оптимизация конструкции и материалов индукционных нагревателей является важным аспектом повышения их энергетической эффективности. На этом уровне можно добиться значительного снижения энергетических потерь и улучшения общего КПД (коэффициента полезного действия) системы. В этом разделе рассмотри подробнее ключевые направления оптимизации.

При создании катушек индуктивности важно выбрать материалы с высокой проводимостью. Наиболее распространённым материалом является медь, но существуют и другие варианты: серебро, алюминий, специальные композиты.

Использование многослойных катушек позволяет достигать более эффективного использования магнитного поля, поскольку несколько слоёв могут функционировать одновременно, распределяя ток таким образом, чтобы минимизировать потери.

Форма и размеры катушек имеют значительное влияние на эффективность индукционного нагрева. Изменение диаметра и количества витков: оптимизация витков и изменение их количества позволяют контролировать уровень индукции и размещение магнитного поля. Увеличение площади сечения может привести к увеличению силы магнитного поля в рабочей зоне. Изменение конфигурации: существуют различные конфигурации катушек (например, спиральные, кольцевые и плоские), которые могут быть выбраны в зависимости от особенностей нагреваемого объекта.

Магнитные концентраторы, часто изготовленные из ферромагнитных материалов (например, железа или сплавов на основе железа), способны усиливать магнитное поле, концентрируя его в определенной области. Это делает процесс нагрева более целенаправленным и экономически эффективным.

Автоматизация и системы управления являются ключевыми элементами, способствующими повышению энергетической эффективности индукционных нагревателей в системах электроснабжения. Интеграция современных технологий мониторинга и управления позволяет значительно оптимизировать процессы нагрева, снижая затраты на энергию и повышая рабочую надежность. В этом разделе рассмотрим ключевые направления автоматизации и управления.

Интеллектуальные системы контроля помогают постоянно отслеживать ключевые параметры работы индукционных нагревателей, обеспечивая контроль за расходом энергии, температурой и состоянием оборудования.

Современные индукционные нагреватели могут использовать различные датчики для сбора данных о параметрах нагрева и состояния системы. Типы датчиков: датчики температуры, датчики напряжения и тока, датчики вибрации.

Интеграция индукционных нагревателей в системы «умных сетей» и Интернета вещей (internet of things) может значительно повысить их эффективность. Устройства могут обмениваться данными и автоматически адаптироваться к нагрузкам, обеспечивая более стабильную и экономическую работу. Удаленный доступ к системам управления дает возможность управлять процессами в реальном времени.

Системы SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) позволяют эффективно управлять и контролировать производственные процессы. Надежный мониторинг работы всей системы и отдельных элементов с возможностью сбора данных, историй изменений и анализа. Простые в использовании интерфейсы для операторов, позволяющие быстро вводить изменения и обеспечивать контроль за процессами.

Внедрение возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в системы индукционного нагрева представляет собой значительный шаг к повышению энергетической эффективности и устойчивости систем электроснабжения. Использование ВИЭ позволяет снизить зависимость от ископаемых ресурсов, уменьшить выбросы углерода и сократить затраты на энергоресурсы. В этом разделе мы рассмотрим различные аспекты интеграции ВИЭ в индукционные нагреватели, включая энергетические смеси, аккумуляторные системы и оптимизацию процессов.

Солнечные панели могут быть использованы в качестве источника энергии для индукционного нагрева в дневные часы. Предварительный нагрев: солнечные коллекторы могут обеспечить предварительный нагрев материалов до начала процесса индукционного нагрева, снижая нагрузку на основной источник энергии. Гибридные системы: системы могут быть спроектированы таким образом, чтобы солнечные панели работали параллельно с индукционными нагревателями, обеспечивая достаточный уровень мощности в зависимости от внешних условий и интенсивности солнечного света.

Внедрение ветряных турбин для обеспечения электроэнергией индукционных систем открывает новые возможности для комбинирования различных источников энергоснабжения. Децентрализация энергоснабжения: ветряные турбины могут быть установлены в непосредственной близости от производства, снижая потери мощности в процессе передачи электроэнергии. Флуктуации нагрузки: ветряные источники могут эффективно компенсировать колебания в потреблении энергии, что позволяет проще регулировать подачу энергии в индукционные нагреватели.

Геотермальная энергия может использоваться для прямого нагрева жидкостей, минералов и других материалов в производственных процессах. Системы прямого нагрева: интеграция геотермального подогрева в индукционные процессы нагрева может значительно улучшить эффективность как по затратам на энергию, так и по срокам обработки материалов. Экономия энергии: снижение потребности в традиционных источниках энергии в сочетании с возможностью использования стабильного геотермального потока.

Ключевым аспектом стабильного использования возобновляемых источников энергии является возможность хранения избыточной энергии для ее дальнейшего использования. Литий-ионные аккумуляторы: позволяют аккумулировать электроэнергию, полученную от ВИЭ в периоды с избыточным производством энергии, и использовать её в периоды пиковых нагрузок. Системы других технологий хранения: применение более традиционных технологий, таких как свинцово-кислотные или новые разработки

(гидравлические системы, системы хранения на основе взрывчатых веществ и т. д.).

Оптимизация производственных процессов с использованием индукционных нагревателей играет важнейшую роль в повышении общей энергетической эффективности и снижении затрат на производство. Оптимизация включает в себя внедрение новых технологий, улучшение существующих процессов и поиск комплексных решений, которые обеспечивают более высокую продуктивность. В этом разделе мы рассмотрим ключевые аспекты, касающиеся оптимизации производственных процессов при использовании индукционных нагревателей [2].

Комбинирование индукционного нагрева с другими методами может обеспечить значительно более эффективный процесс обработки материалов. Индукционно-ультразвуковая обработка: ультразвуковые волны могут улучшить теплопередачу и повысить эффективность индукционного нагрева, особенно для твердых материалов. Индукционно-газовая обработка: использование дополнительного газового нагрева в сочетании с индукционным может оптимизировать время нагрева и улучшить микроструктуру обработанных материалов.

Подход к качеству на каждом этапе производственного процесса требует системного подхода. Система контроля качества: Интеграция системы контроля качества в процессы нагрева поможет оптимизировать параметры с целью повышения стабильности и надежности продукции. Методика непрерывного улучшения: Применение принципов Kaizen или PDCA (Plan-Do-Check-Act) для регулярного анализа и улучшения производственных процессов [3].

Анализ жизненного цикла (life cycle assessment) позволяет оценить воздействие индукционных нагревателей на окружающую среду и экономическую эффективность на каждом этапе. Сравнительный анализ: изучение различных типов индукционных нагревателей на предмет их потребления энергии, материалов, требуемых для производства, и потенциальных выбросов углерода. Выбор наиболее эффективных решений: на основе результатов сравнения выбрать наиболее энергоэффективные системы и процессы для реализации в производстве.

Внедрение новых технологий может существенно повысить эффективность процессов производства. 3D-печать с использованием индукционного нагрева: использование индукционного нагрева для плавления и спекания порошковых материалов в процессе 3D-печати. Умные производственные линии: Автоматизированные линии с использованием промышленных роботов для более точного контроля качества и способности работать в неблагоприятных условиях.

Заключение

В ходе исследования энергетической эффективности индукционных нагревателей был подтверждён высокий потенциал данного метода нагрева в различных отраслях. Применение современных технологий, таких как новые материалы для катушек, усовершенствованные системы управления и оптимизация схемы электроснабжения, может существенно повысить

эффективность эти устройств. Данные улучшения не только способствуют снижению затрат на энергоресурсы, но и способствуют уменьшению негативного воздействия на окружающую среду, что имеет критическое значение в условиях глобальных вызовов, связанных с изменением климата.

Литература

1. Белтехнология – Режим доступа: http://beltechnologia.by/topic-induction_heaters/ – Дата доступа: 18.10.2024

2. Термотех – Режим доступа: https://termanik.ru/raznovidnosti-elektronagrevatelej/induktsionnyj-nagrevatel-igra-konstruktsij/ – Дата доступа: 18.10.2024

3. Околович Г.А. Нагрев и нагревательные устройства: Учебное пособие предназначено для студентов специальности 150201 "Машины и технология обработки металлов давлением"/ Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. - Барнаул: Изд-во Алт ГТУ, 2010. – 172с.

УДК.621.3

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ
STATE OF THE ART WIND POWER

А.М. Артишевский
Научный руководитель – С.В. Константинова, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Artichevsky
Supervisor – S. Konstantinova, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В настоящее время ветроэнергетика получает все большее распространение. Основное внимание уделяется конструкциям установок. Непрерывно решается проблема концентрации ветровой энергии и её упорядоченности. Совершенствуются и создаются новые ветродвигатели, способные работать при всё меньших скоростях ветра*

Abstract: *In the present wind power is becoming more common. Focuses on constructions installations. Continuous problem of concentration of wind power and its orderliness. Improved and new wind generator, capable of operating in all the lower wind speeds.*

Ключевые слова: *ветроэнергетика, ветрогенератор, электрические станции, турбины.*

Keywords: *wind power, wind generator, power stations, turbines.*

Введение

Из всех существующих ВИЭ ветроэнергетика в настоящее время является одним из самых притягивающих к себе внимание источником.

Еще в Древнем Египте применялись ветровые механизмы для подъема воды и размола зерна. У найденной в Персии старинной ветряной мельницы (рис. 1) крылья были насажены на ту же ось, что и жернова, работала она только при сильном устойчивом ветре.

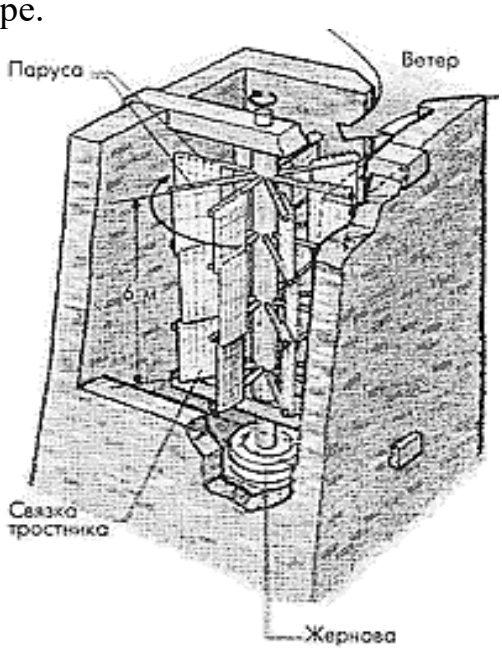


Рисунок 1 – Персидская ветряная мельница

600 лет назад, началось строительство мельниц башенного типа с расположенными горизонтально к поверхности земли, огромными крыльями.

Основная часть

До 16 века широкое распространение получили мельницы на козлах (рис. 2.), которые целиком поворачивалась вокруг дубового столба, установленного в центре тяжести, а не в центре симметрии, на фундаменте.



Рисунок 2 – Мельница козлового типа

Позже эта конструкцию была усовершенствована: неподвижное здание мельницы снабжалось сверху поворотной рамой, несущей ветроколесо . Одна из первых таких мельниц появилась в Голландии (рис. 3).



Рисунок 3 – Мельница шатрового типа

Ветряная мельница использовалась для перекачки воды на более высокий уровень (например, осушение в 1612г. озера Бемстер в Северной Голландии, площадь которого составляет 7020 га. С помощью 42 ветряков этого достигли за 4 года.

В 1745 году Эдмунд Ли изобрел крылья нового типа – деревянные каркасы, обтянутые материей, что применяется в ветряках и сейчас.

В 1772 году шотландский изобретатель заменил паруса на автоматически отрывающиеся и закрывающиеся щитики, похожие на жалюзи, для предотвращения поломок от ураганных ветров. С вращающимися крышами и саморегулирующимися крыльями, мельницы практически не изменяли своей конструкции до XIX века. Значительным звеном явилась идея штампования лопасти из жести.

Вместе с развитием теории электричества и магнетизма, изобретением первых аккумуляторных батарей, электромеханического преобразователя (электродвигателя) в начале-середине XIX века, а так же открывшиеся возможности трехфазного тока (в 1891г. М.О. Доливо-Добровольский пишет статью «Передача энергии посредством переменных токов различных фаз» и демонстрирует возможности передачи электроэнергии с помощью трехфазной системы токов на Лауфен –Франкфуртской установке) наступает новая эра развития ветряков. В конце XIX века возникла идея применения энергии ветра для получения электрического тока. Потребность в подобных установках была большой, поэтому в разных странах проводился ряд экспериментов

Первое известие о создании ветряного генератора, который мог заряжать аккумуляторные батареи, относится к 1887 году. Создал её Джеймс Блайт (James Blyth) в Шотландии. Первый ветрогенератор для производства электричества был создан Чарльзом Ф. Брашем (Charles F Brush) в 1888 году в США в Кливленде, Огайо (Cleveland, Ohio), он был 18 метров высотой, весил 36 тонн и имел двигатель мощностью 12 кВт.

В переходе от ветряных мельниц к энергетическим ветряным установкам большое значение имеют работы Пол Лакур в Дании, который первым создал аэродинамическую трубу и использовал аэродинамический профиль в ветряных установках: 3-х лопастная ветротурбина Jacobs Wind Electric, с лопастями аэродинамического профиля, вращала генератор, мощностью 3 кВт, при напряжении 110В.

В 1922 году А. Флеттнер (авиационный инженер и изобретатель (1885–1961) получил немецкий патент на роторное судно, использующее эффект Магнуса, (открытого в 1852 году Генрихом Магнусом): когда воздушный (или жидкостный) поток обтекает вращающееся тело, образуется сила, перпендикулярная направлению потока и воздействующая на тело. Направление поперечной силы, зависит от направления вращения тела (рис 4).

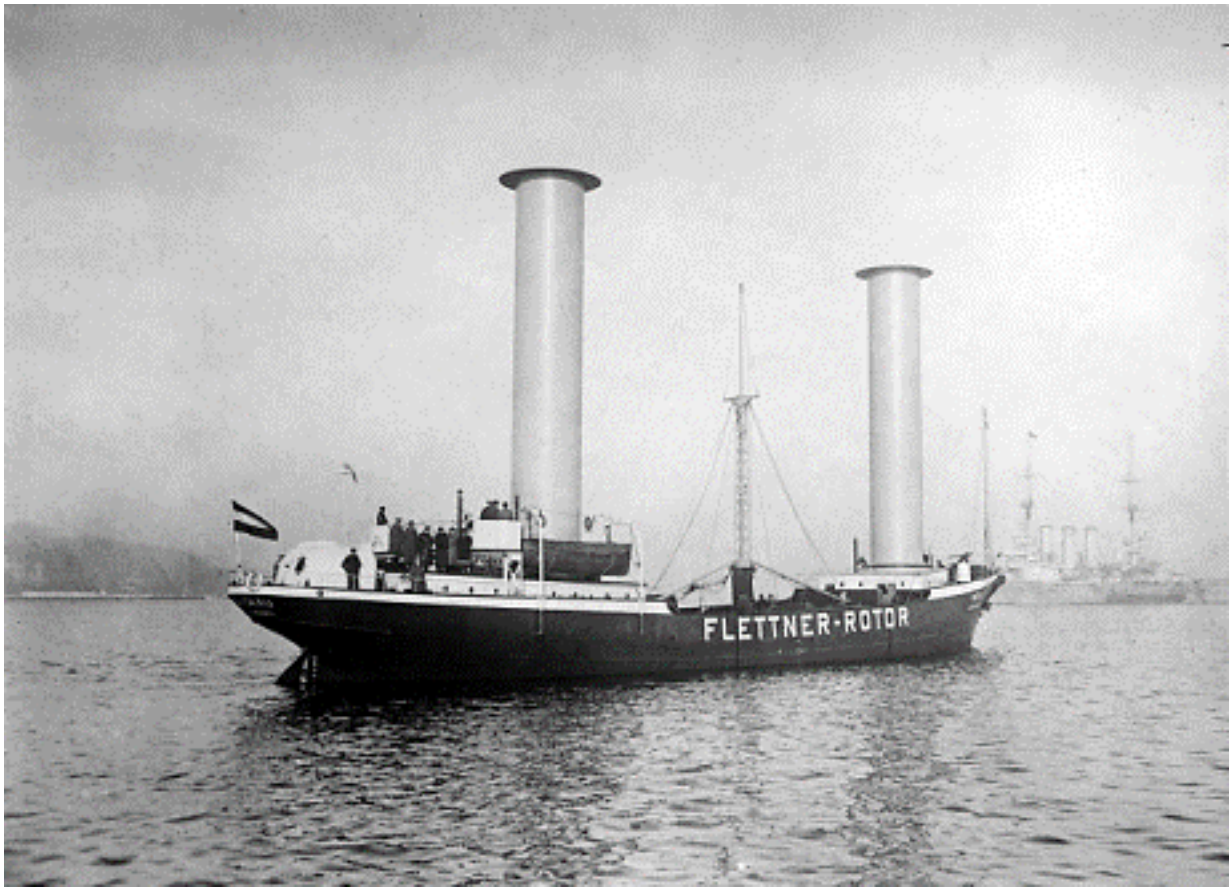


Рисунок 4 – Экспериментальное роторное судно Buckau 1924 г

В 1925 году был разработан ротор Савониуса, обладающий высоким стартовым моментом, но низким КПД использования энергии ветра и небольшой быстроходностью.

В 30-х годах Ф. Дарье предложил вертикальную ветряную турбину. Ротор Дарье обладал 2 или 3 изогнутыми лопастями, зафиксированными снизу и сверху центральной колонны, улавливающий ветер со всех сторон.

В 1918 году профессор В. Залевский, создал теорию ветряной. В 1925 году профессор Н. Е. Жуковский разработал теорию ветродвигателя и организовал соответствующий отдел в Центральном аэрогидродинамическом институте. В 1930-х годах было освоено серийное производство ветроустановок мощностью 3-4 кВт. В 1931 году в СССР, в районе Балаклавы, заработала сетевая ветроэнергетическая установка, опорная конструкция которой была построена по проекту В.Т. Шухова (диаметр колеса 30 м, асинхронного генератора 100 кВт).

Наиболее крупным считается немецкий проект ВЭУ Growian (турбина в диаметре 100 м, башня высотой 100 м, асинхронизированным синхронным генератором). ВЭУ была первой, работающей с переменной скоростью вращения.

В 1981 году знаменитый океанограф Жак-Ив Кусто построил судно с турбопарусом – катамаран «Ветряная мельница» (Moulin à Vent), работающее на эффекте Магнуса, доказав, работоспособность и перспективность разработок Флеттнера (рис. 5). Этот эффект Жак-Ив Кусто использовал при постройке нового судна «Алсиона»: 2 турбопаруса установлены на палубе, 2 дизельных

двигателя давали питание нагнетателям. Турбопарусы включали осевые турбины для выработки энергии. Компьютеры координировали работу турбопарусов и дизелей.



Рисунок 5 – Катамаран «Ветряная мельница» (Moulin à Vent) с турбопарусом, 1981г

В 2010 году появился третий в истории корабль с роторными парусами - тяжелый грузовик E-Ship 1, построеный по заказу компании Enercon, одного из крупнейших производителей ветрогенераторов (рис. 6).



Рисунок 6 – Грузовой корабль с роторными парусами E-Ship 1, 2010г

Проектирование и строительство мощных ВЭУ ведет к удешевлению кВт-ч электроэнергии. Установка ветрогенераторов в открытом океане, повышает их экономичность, из-за силы ветра.

Компания StatoilHydro и концерн AG разработали плавающие ветрогенераторы для морских станций большой глубины (турбина под названием Hywind (Siemens) мощностью 2,3 МВт, вес 5300 тонн при высоте 65м. (рис. 7) с июня 2009г установлена неподалеку от берегов Норвегии. Ветряная электростанция London Array (рис. 8), расположенная в устье Темзы суммарной мощностью 630 МВт (175 турбин, с диаметром ротора 120 м, мощностью генератора 3.6 МВт)



Рисунок 7 – Турбина Hywind (Siemens)



Рисунок 8 – Турбины электростанция London Array

Для эксплуатации и технического обслуживания станции в Ramsgate Port построен пункт управления (рис. 9). План морской ветряной электростанции мощностью 1 ГВт был утвержден в 2006 году.



Рисунок 9 – Оффшорная подстанция (фото London Array Ltd.)

Новым современным направлением развития ВЭУ являются многомодульные ветроустановки, состоящие из нескольких небольших ветроагрегатов, например, турбины Power Flowers (рис. 10), систему Wind Cube, для крепления на стене здания, (рис. 11).

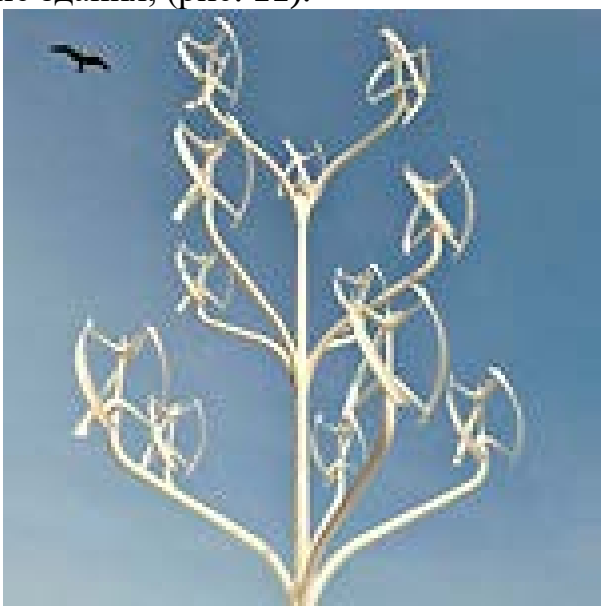


Рисунок 10 – Ветровая турбина Power Flowers



Рисунок 11 – Система ветряных генераторов Wind Cube

Сами турбины небольшой мощность, но, собранные вместе, генерируют электроэнергию, достаточную для питания нескольких домов. Преимущество таких ветротурбин – установка их в близи домов, что значительно сократит потери при передаче электроэнергии.

Проект для реконструкции моста Ф. Коларосси, Д. Сарацино и Л. Сарацино Solar Wind (рис. 12) заключается в том, чтобы прикрепить к опорам моста 26 ветряных турбин разного размера, которые смогут генерировать до 36 млн КВт·ч в год.



Рисунок 12 – Проект Solar Wind

Заключение

Конструкции ВЭС постоянно совершенствуются: улучшаются их аэродинамика и электрические параметры, уменьшаются механические потери и т.д. ВЭУ можно разделить на две категории: промышленные и для частного использования (работающие параллельно с сетью и автономные).

В области развития ветроэнергетики можно отметить, что мощные установки, будут вырабатывать электроэнергию в составе уже существующих энергетических систем. Огромные перспективы открываются у ветрогенераторов мощностью от 5 до 100 кВт (особенно, автономных), для снабжения электроэнергией частных домов, палаток на отдыхе, маломерных судов, ферм и небольших производств.

Литература

1. Власов В.Н., Есть ли будущее у ветрогенератора? // "Академия Тринитаризма", М., Эл. № 77-6567, публ.14557, 01.09.2007

2. Энергетика: история, настоящее и будущее [Электронный ресурс] / Ветряные мельницы США – Режим доступа: http://energetika.in.ua/ru/books/book-1/part-1/section-4/4-3 – Дата доступа: 10.10.2024

3. Константинова С.В. Типы ветродвигателей. Новые конструкции и технические решения // Энергетика и ТЭК. – 2013. – №1 .

УДК 338.45

ОСНОВНЫЕ СРЕДСТВА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ
FIXED ASSETS IN ENERGY COMPANIES

Н.А. Лозовская
Научный руководитель – Е.А. Дерюгина, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
N. Lozovskaya
Supervisor – A. Dziaruhina, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье рассматриваются основные средства на энергетических предприятиях как ключевой аспект их функционирования и эффективности. Основные средства, такие как здания, сооружения, машины и оборудование, являются важным источником инвестиционных затрат и играют ключевую роль в обеспечении надежности и стабильности энергетических процессов.*

Abstract: *This article examines fixed assets at energy enterprises as a key aspect of their functioning and efficiency. Fixed assets such as buildings, structures, machinery and equipment are an important source of investment costs and play a key role in ensuring the reliability and stability of energy processes.*

Ключевые слова*: основные средства, предприятия, энергетика, продукция, учет, амортизация.*

Keywords: *fixed assets, enterprises, energy, products, accounting, depreciation.*

Введение

Основные средства представляют собой значительную часть активов компаний, и их правильный учет и анализ позволяют оптимизировать затраты, повысить производительность и обеспечить долгосрочное развитие. Поэтому эффективное управление основными средствами на энергетических предприятиях является важным фактором, влияющим на их финансовую стабильность и конкурентоспособность.

Основная часть

Основные средства энергетических предприятий – это активы длительного пользования, принадлежащие предприятию и используемые в рамках его основной деятельности, превышающей двенадцать месяцев. Основные средства характеризуются тем, что они не предназначены для продажи и используются для выполнения функций предприятия.

На энергетических предприятиях применяется следующая классификация. В зависимости от назначения делят на производственные и непроизводственные средства [2]. Производственные средства постоянно участвуют в процессе и сохраняют материальную форму, а непроизводственные не участвуют в производстве.

В зависимости от характера участия в производстве основные средства подразделяются на активные и пассивные [2]. Активные средства(машины и оборудование)участвуют в производственном процессе, поэтому влияют на

уровень технической оснащённости труда в организации. В свою очередь пассивные (здания и сооружения) косвенно обсуживают производственный процесс, но создают все условия для его существования.

Эффективность и результативность энергетического предприятия оценивается путем анализа основных средств. Для этого используется несколько показателей [1]:

– коэффициент рентабельности, который характеризует эффективность использования основных средств на предприятии:

$$P = \frac{\text{П}}{\text{ОС}_{\text{ср}}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где П – прибыль предприятия, руб

$\text{ОС}_{\text{ср}}$ – среднегодовая стоимость основных средств, руб

– фондоотдача, которая отражает отношение денежная стоимость продукции к среднегодовая стоимость основных средств:

$$\Phi_{\text{отд}} = \frac{\text{ВП}}{\text{ОС}_{\text{ср}}}, \quad (2)$$

где ВП – это стоимость продукции, произведенной за год.

– фондоемкость, которая показывает стоимость основных средств на рубль продукции, произведенной за год:

$$\Phi_{\text{ем}} = \frac{\text{ОС}_{\text{ср}}}{\text{ВП}}. \quad (3)$$

В настоящее время для учета основных средств используют следующие методы: метод первоначальной стоимости, метод амортизации и метод переоценки [2].

Метод первоначальной стоимости стоит в учете основных средств по стоимости их приобретения. Такие как таможенные сборы, налоги, страховые отчисления и другие затраты.

Амортизация – это процесс постепенного переноса стоимости объекта на стоимость продукта (работы, услуги), полученного в результате его использования). Существует несколько методов начисления амортизации:

– Линейный метод: стоимость основного средства распределяется равномерно в течение его полезного срока службы.
– Нелинейный метод. Метод неравномерного (год за годом) начисления амортизации в течение всего срока полезного использования объектов основных средств.
– Производительный метод. Метод начисления амортизации, основанный на соотношении между амортизируемой стоимостью объекта и натуральным показателем количества произведенных за год товаров (работ, услуг) по отношению к общим ресурсам объекта [2].

Переоценка

Согласно некоторым стандартам бухгалтерского учета предприятия имеют право переоценивать свои основные средства по их справедливой стоимости. Это необходимо делать регулярно для того, чтобы балансовая стоимость

отражала рыночную. Переоцененная стоимость определяется одним из трех методов: методом прямой оценки, методом пересчета валютной стоимости, индексным методом. Предприятие самостоятельно выбирает один из предлагаемых методов для каждого объекта.

Заключение

В данной статье рассматриваются методы учета и анализа основных средств. Учет и анализ основных средств –важный фактор эффективного управления, способствующий устойчивости и развитию предприятий. Существующие методы бухгалтерского учета основных средств варьируются в зависимости от стандартов учета, принятых в той или иной компании.

Литература

1. Экономика предприятия отрасли. Экономика организации [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://rep.bstu.by//. – Дата доступа: 22.10.2024.

2. Экономика предприятия (энергетики) [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://rep.bstu.by//. – Дата доступа: 22.10.2024.

УДК 621.311

АМОРФНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ
AMORPHOUS TRANSFORMERS

С.А. Афанасьев
Научный руководитель – С.В. Константинова, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
S. Afanasiev
Supervisor – S. Konstantinova, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Рассматривается вопрос потерь энергии в распределительных трансформаторах и их влияние на экологию. Одним из наиболее эффективных решений является применение трансформаторов с аморфным сердечником, которые характеризуются высокой энергоэффективностью и низким уровнем потерь. Представлены преимущества и недостатки данной технологии, а также основные аспекты конструкции аморфных сердечников.*

Abstract: *The paper considers the problem of energy losses in distribution transformers and their impact on the environment One of the most effective solutions is the use of transformers with amorphous core, which are characterized by high energy efficiency and low losses Advantages and disadvantages of this technology as well as the main aspects of amorphous core design are presented.*

Ключевые слова: *трансформатор, энергия, магнитопровод, преобразование напряжения.*

Keywords: *transformer, energy, magnetic conductor, voltage conversion.*

Введение

С каждым годом все большее значение приобретают технологии, способствующие сохранению природных ресурсов и снижению вредных выбросов. В энергетике эта задача частично решается за счет развития трансформаторов с аморфными сердечниками, которые отличаются повышенной энергоэффективностью. Такие трансформаторы позволяют снизить потери, связанные с преобразованием напряжения, и сократить нагрузку на природные ресурсы, тем самым снижая вредное воздействие на окружающую среду.

Основная часть

Для изменения уровней напряжения переменного тока активно используются трансформаторы. Появляются новые виды изоляционных материалов, мвгнитопроводов, электротехнические стали, совершенствуются способы укладки магнитопроводов.

В настоящее время внимание привлекают трансформаторы с магнитопроводом из аморфной стали.

Первые трансформаторы, магнитопроводы которых были выполнены из аморфной стали появились в 2000-х годах. Мощность трансформаторов составляла S = 630 кВА. Наиболее активно изготовление таких трансформаторов ведется в США, Китае и Индии

С 2009 года, европейские компании вводят в опытную эксплуатацию ряд трансформаторов (S = 400 кВА) с сердечником из аморфной ленты. В 2012 г. производство аморфных трансформаторов начала компания «Трансформер».

Трансформаторы с аморфным сердечником – представляют собой новый тип трансформаторов, сердечник которого изготовлен из аморфного металла. Аморфный металл представляет собой сплав, в котором отсутствует периодичность расположения атомов, в отличие от электротехнической стали. Также эти сплавы имеют большую устойчивость к коррозии, чем кристаллические сплавы. Использование такого материала позволяет значительно уменьшить вибрацию и шум трансформатора и обеспечить большую экономию энергии. Сердечник такого трансформатора изготовлен из аморфной металлической ленты, которая крепится в однослойную форму вокруг сердечника (рис. 1).



Рисунок 1 – Аморфный сердечник

Как известно, 30% всех технических потерь в энергосистеме приходится на распределительные трансформаторы, КПД трансформаторов зависит от его потерь – потерь холостого хода P_0 (постоянные потери, или, потери в стали трансформаторов, связанные с перемагничиванием) и потери короткого замыкания $P_{кз}$ (переменные, связанные с величиной тока в обмотках, влияющие на нагрев).

Удельные потери холостого хода силовых трансформаторов с аморфным магнитопроводом (рис. 2) меньше в 3-4 раза, чем аналогичные потери в сердечниках трансформаторов из электротехнической стали. Аморфные трансформаторы имеют меньшие габаритные размеры, что облегчает их установку в небольших по объему пространствах, что является привлекательным для энергетики.

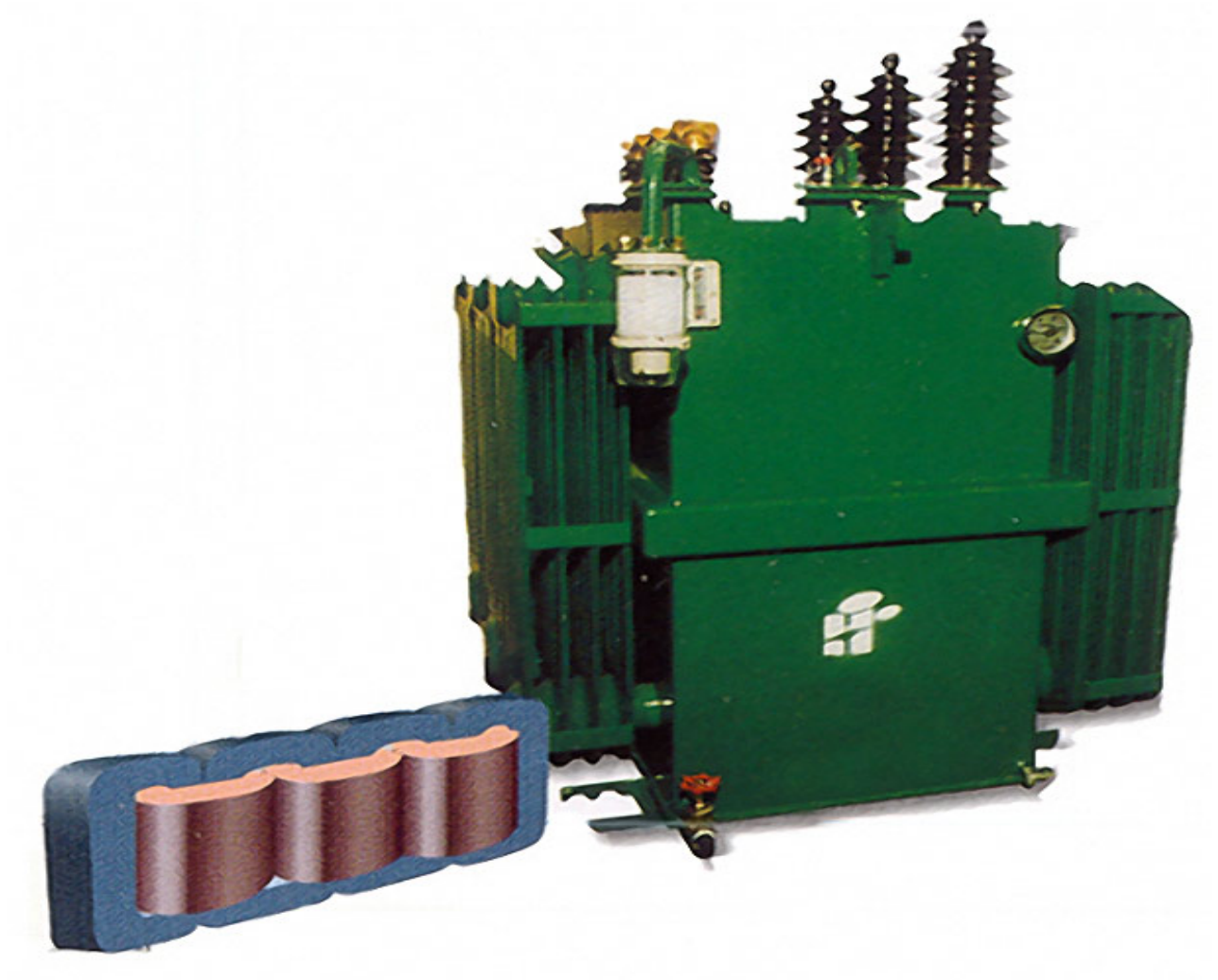


Рисунок 2 – Трансформатор с аморфным магнитопроводом

Типовая мощность трансформатора с аморфным магнитопроводом 16-1000 кВА., номинальное высшее напряжение (обмотка ВН) 3,15-35 кВ., номинальное низшее напряжение (обмотка НН) 0,23-10,5 кВ., частота 50-60 Гц.

Преимуществами такого трансформатора является высокий уровень КПД, который равен 97%.

Благодаря своей эффективности трансформаторы с аморфным сердечником помогают снизить выбросы углекислого газа в атмосферу.

Трансформаторы из аморфных сплавов имеют ряд недостатков:

- полосы сердечника из аморфных сплавов чувствительны к нагрузкам и характеристики склонны к ухудшению при работе на холостом ходу после воздействия напряжения, поэтому конструкции стоит уделять особое внимание.
- низкая магнитная плотность насыщения сердечников из аморфного сплава.
- ограничение максимальной длины полосы.
- полоса из аморфного сплава очень тонкая, её толщина составляет 0,03 мм.

Заключение

Трансформаторы с аморфными сердечниками представляют собой перспективное решение для энергосбережения и повышения экологической устойчивости. Несмотря на существующие недостатки, такие как высокая чувствительность к нагрузкам и ограничение длины аморфных полос, эти устройства позволяют сократить потери энергии и снизить выбросы углекислого газа. Внедрение данной технологии в широкую эксплуатацию способствует экологически чистому энергетическому переходу и оптимизации энергосистем.

Литература

1. Силовые аморфные трансформаторы [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://transformator.ru/press_center/the_press/2012/silovye-amorfnye-transformatory-budushchee-v-nastoyashchem/ – Дата доступа 01.11.2024.

2. Трансформатор с аморфным сердечником [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://ru.alloystrip.com/news/what-is-an-amorphous-core-transformer-70800341.html – Дата доступа: 01.10.2022.

УДК 338.24

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ИНТЕГРАЦИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ЭНЕРГОСИСТЕМУ
USE OF ENERGY STORAGE SYSTEMS TO OPTIMIZE THE INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES INTO THE POWER SYSTEM

Ю.И. Богданов, Д.В. Бурдук
Научный руководитель – Н.Е. Шевчик, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Y. Bogdanov, D. Burduk
Supervisor – N. Shevchik, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Интеграция возобновляемых источников энергии (ВИЭ), таких как солнечная и ветровая энергия, играет ключевую роль в переходе к низкоуглеродной экономике, предлагая экологически чистое производство электроэнергии. Однако непостоянство генерации ВИЭ вызывает проблемы с надёжностью сети. Системы накопления энергии (СНЭ) решают эту задачу, поддерживая стабильность и снижая зависимость от ископаемого топлива. СНЭ обеспечивают регулирование частоты, сглаживают пики нагрузки и минимизируют потери энергии, эффективно накапливая избытки для последующего использования. Экономические выгоды включают уменьшение затрат на инфраструктуру, повышение прибыльности и общую эффективность энергосистемы.*

Abstract: *The integration of renewable energy sources (RES), such as solar and wind energy, plays a critical role in transitioning to a low-carbon economy by offering environmentally friendly electricity production. However, the variability of RES generation poses challenges to grid reliability. Energy storage systems (ESS) address this issue by maintaining stability and reducing dependence on fossil fuels. ESS provide frequency regulation, smooth peak loads, and minimize energy losses by efficiently storing surpluses for later use. Economic benefits include reduced infrastructure costs, increased profitability, and improved overall energy system efficiency.*

Ключевые слова: *возобновляемая энергия, системы накопления энергии (СНЭ), стабильность сети, экономическая эффективность, низкоуглеродная экономика.*

Keywords: *renewable energy, energy storage systems (ESS), grid stability, economic efficiency, low-carbon economy.*

Введение

Широкое внедрение возобновляемых источников энергии (ВИЭ), таких как солнечная и ветровая энергия, обусловлено переходом стран к экономике с низким уровнем выбросов углерода. Однако непостоянство и изменчивость ВИЭ создают значительные эксплуатационные проблемы для поддержания стабильности и надежности сети. Интеграция систем накопителей энергии

(СНЭ) в энергосистему позволяет оптимизировать использование ВИЭ и снизить зависимость от генерации электроэнергии на основе ископаемого топлива.

Основная часть

Интеграция СНЭ с ВИЭ повышает стабильность электросети несколькими ключевыми способами. Например, она улучшает регулирование частоты, быстро компенсируя внезапные изменения в выходной мощности ВИЭ.

Эта возможность крайне важна для поддержания надежности сети, поскольку колебания могут привести к проблемам с качеством электроэнергии и сбоям в работе системы. СНЭ также обеспечивает ограничение пиковой нагрузки, снижая потребность в дорогостоящих пиковых электростанциях, которые обычно работают на ископаемом топливе и активируются в периоды пикового спроса. Разряжая накопленную энергию в это время, СНЭ помогает сгладить пики спроса и снижает перегрузку сети, что приводит к более сбалансированной и эффективной энергосистеме.

Еще одним преимуществом СНЭ при интеграции с ВИЭ является накопление электроэнергии. Когда генерация ВИЭ превышает спрос или мощность сети, избыточная энергия остается неиспользованной и должна быть сокращена, что приводит к экономическим потерям и снижению эффективности ВИЭ. Сохраняя излишки энергии, СНЭ минимизирует избыток и обеспечивает более широкое использование возобновляемой энергии. Это особенно полезно в регионах с высоким уровнем проникновения солнечной и ветровой энергии, где это являются существенной проблемой.

СНЭ позволяет использовать собранную возобновляемую энергию по мере необходимости, эффективно расширяя доступность ВИЭ за пределами их естественных окон генерации и поддерживая более высокую долю возобновляемых источников энергии в энергобалансе.

Системы накопления электроэнергии (СНЭ) играют ключевую роль в поддержании стабильности и надёжности электросетей, поддерживая напряжение сети в нормируемом диапазон. Они также могут регулировать частоту сети в допустимых пределах на протяжении до 30 минут, обеспечивая подачу активной мощности для компенсации внезапных дисбалансов между нагрузкой и генерацией. В режиме поддержки прохождения провалов напряжения СНЭ позволяют подключённым устройствам оставаться в сети во время кратковременных нарушений.

Среди различных типов СНЭ наиболее часто используются аккумуляторные системы накопителей энергии (АСНЭ), в частности литий-ионные батареи. Они получили широкое применение благодаря своей высокой плотности энергии, масштабируемости и быстрому времени отклика. Такие СНЭ особенно полезны для краткосрочного хранения и регулирования частоты, обеспечивая быструю реакцию на колебания выходной мощности ВИЭ.

Следует отметить значительные экономические преимущества использования СНЭ в энергосистемах с ВИЭ. Несмотря на то, что СНЭ, особенно АСНЭ, имеют высокие первоначальные затраты, их потенциал для эксплуатационной экономии, снижения зависимости от топлива и отложенных инвестиций в инфраструктуру энергетического комплекса обеспечивает

долгосрочные экономические выгоды. Например, минимизируя потребность в пиковых электростанциях, СНЭ снижает эксплуатационные расходы и способствует снижению углеродного следа.

Финансовые преимущества систем накопления энергии также включают возможность покупать дешёвую электроэнергию в периоды низкого спроса и использовать её или продавать в пиковые часы, что позволяет значительно повысить прибыль. Также системы накопления энергии способствуют увеличению доходности генерации, так как помогают избежать расходов на установку нового оборудования и аренду мощностей на рынке электроэнергии.

Накопители оказывают поддержку сети, обеспечивая её резервом и стабилизацией нагрузки, что способствует снижению финансовых потерь, связанных с перебоями электроснабжения.

Системы накопления энергии способствуют отсрочке инвестиций в сети передачи и распределения, позволяя избежать перегрузок и увеличивая пропускную способность распределительных сетей. Это снижает необходимость дополнительных вложений в инфраструктуру. Накопители также минимизируют потери от скачков напряжения и других аномалий, которые могут повлиять на работу оборудования, особенно в коммерческом и промышленном секторах, где такие нарушения приводят к убыткам.

Заключение

Таким образом, системы накопления энергии позволяют использовать возобновляемые источники максимально эффективно, что позволит снизить общие цены на электроэнергию в долгосрочной перспективе, принося пользу потребителям и способствуя более устойчивой энергетической экономике. Кроме того, технические функции делают их незаменимыми для современной энергосистемы.

Литература

1. Energy storage system in integration of renewable energy sources [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/374757652_Review_on_role_of_energy_storage_system_in_integration_of_renewable_energy_sources_in_microgrid – Дата доступа: 29.10.2024.

2. Молочко А.Ф., Привалов А.С., Жученко Е.А. Ивашко Е.В. и др. Отчет о научно-исследовательской работе «Концепция применения систем накопления энергии на базе литий ионных аккумуляторов в Белорусской энергосистеме» заключительный. Том 1,2,3. Минск 2022

УДК 621.311

ИСТОРИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ПЕРВОЙ МИНСКОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ
HISTORY AND RECONSTRUCTION OF THE FIRST MINSK POWER PLANT

Я.В. Тибеж
Научный руководитель – Е.А. Дерюгина, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Y. Tibezh
Supervisor – A. Dziaruhina, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В тексте рассмотрено влияние энергетики на общественную жизнь в рамках истории, поэтапно представлено развитие электроэнергетики в Беларуси а также оценена значимость исторической составляющей для сферы.*
Abstract: *The text examines the influence of the power industry on social life within the framework of history, presents the development of the power industry in Belarus step by step, and assesses the significance of the historical component for the sphere.*
Ключевые слова: *энергетика, история, электростанция, электрификация, реконструкция.*
Keywords: *energy, history, power plant, electrification, reconstruction.*

Введение

Идея электрификации Минска берет начало в 1892 году. Одним из инициаторов был действующий на тот губернатор Кароль Гуттен - Чапский. Благодаря его инициативе в городе уже были построены амбулатория, библиотека, больницы, театр, телефонная станция. Обеспечение города электроэнергией потребовало много денежных средств, но построение электростанции стало впоследствии прорывным и важным событием для Минска.

Основная часть

Проект освещения города был принят 28 июня 1984 года, а исполнителем выбрали компанию «Дюфлон и Константинович». В том же году было куплено и необходимое оснащениедля электростанции. По удачному стечению обстоятельств электрооборудование, включая комплектующие, с уценкой продавал Либавский казенный порт. Стоимость оборудования составила 10,5 тысяч рублей, а с монтажом затраты заняли 20 тысяч рублей из городской казны. Для сравнения, по конкурентному предложению фирма «Бреге» на тот момент предлагала электрификацию улиц за 57,3 тысяч рублей [8]. По проекту электростанция должна быть оборудована:

- паровым котлом Корвалийской системы завода Фиинера Гампера в Сосновицах;
- паровой машиной системы Вестингауза;
- динамо-машинами системы Балтийского электрического завода в Риге. [1]

12 января 1895 электростанция была пущена в работу. Ее работу обеспечивали три паровые установки: одна мощностью 100 лошадиных сил и две по 50 лошадиных

сил, а также три динамо-машины постоянного тока на 120 вольт и 250 ампер каждая [1]. Электростанция снабжала Минск постоянным током напряжением в 120 В.

Электростанцию разместили в помещении водокачки у моста через свислочь по Захарьевской улице. В 1899 году электростанции дали название «Эльвод», что было сокращением от «электрическо – водопроводная станция».

Первыми потребителями электроэнергии стали центральные улицы Минска: Губернаторская, Петропавловская, Преображенская, Захарьевская. Сейчас это улица Ленина, Энгельса, Интернациональная и проспект Независимости соответственно. На них приходилось 140 ламп накаливания. Также осветили и минские театры. 80 ламп пришлось на зимний театр и 60 – на летний. В числе первых потребителей были и состоятельные горожане: 110 ламп были установлены для освещения их домов. Среди частных потребителей были дома губернатора города, архиерея, некоторых высокопоставленных чиновников.

Для передачи электроэнергии были установлены линии общей протяженностью 15 километров. Это была первая в Минске воздушная линия электропередач. Она представляла собой 317 деревянных опор высотой около 4,3 метра с интервалом примерно 42,7 метров. Опоры регулярно окрашивались для сохранения презентабельного внешнего вида.

За три года потребление энергии увеличилось с 390 до 1100 ламп накаливания. На улицах уже было 240 ламп, в театрах – 420, в частном потреблении – 430.

В начале двадцатого века электроэнергии, которая вырабатывала станция (70-100 кВт) начало не хватать для нужд города. Для повышения производительности был закуплен новый комплект оборудования, в который входили: две паровые машины в вертикальной компоновке завода, два паровых водотрубных котла, два паровых насоса системы вернингтона, а также аккумуляторные батареи типа J/12. Саму электростанцию и сети переоборудовали на трехпроводную систему 2×220 вольт. Напряжение станции выросло до 440 вольт.

Распространение электроэнергии расширялось не только количественно, но и по способам применения. В первую очередь это касалось технических целей. С февраля 1907 года электродвигатели стали внедряться в мастерские, фабрики, заводы. На городских улицах была электрифицирована подача воды, открывались электротеатры и электротипографии.

В 1909 г. электроэнергией пользовались: 11 культовых учреждений, 137 магазинов, 84 частные квартиры, 16 фабрик, 8 клубов и спортивных обществ, 7 театров и кинематографов, 19 банков, 6 парикмахерских, 17 ресторанов и гостиниц, 7 учебных заведений, 4 больницы и лечебницы и др. [2] К концу 1913 года у электростанции было 1592 потребителя.

В 1912 году на электростанции уже работало обновленное оборудование: новая динамо-машина и двухцилиндровый двухтактный 500-сильный дизель лежачего типа. Проявлялась тенденция к замене воздушных линий на подземные.

Несмотря на меры по увеличению мощности электростанции, производимой электроэнергии все равно не хватало. Известно, что к 1912 году не было реализовано 150 планов по установке электроточек. В городе уже тогда принимались меры по экономии электроэнергии. Например, освещение города не работало в яркие лунные ночи.

В 1913 году мощность «Эльвода» достигла 1100 кВт. Она снабжала энергией городской сад, все скверы и 27 улиц.

Электростанция Минска стала одним из самых высокорентабельных предприятий. Один киловатт энергии обходился частным потребителям в 27 копеек при себестоимости в диапазоне от 4,8 до 8,3 копеек. К 1912 году доходы электростанции составили 187,5 тысяч рублей. Чистая прибыль в среднем составляла 64,2%. [2]

В 1924 году произошел переход электростанции с постоянного тока на переменный. С этого времени станция отпускала трехфазный ток напряжением 6 кВ. 27 сентября 1929 года от электростанции подали напряжение на трамвайные пути, состоялся первый пуск трамвая, который откладывался долгое время в связи с внешними и внутренними факторами. Электростанцию продолжали модернизировать, и уже к 1930 году она выдавала более 3000 кВт энергии, питала весь город.

Стоит отметить, что в воскресенье с 13:00 до 15:00 каждый желающий мог посетить электростанцию в качестве экскурсии и осмотреть оборудование.

В начале 1950-х в связи со строительством нового моста через Свислочь с насыпью поднялся уровень Советской улицы, а электростанция ушла под землю. В 1956 здание электростанции было передано Республиканскому Комитету по культуре и спорту. В нем расположили спортзалы, легкоатлетический манеж, теннисные корты, залы для фехтования.

В марте 2011 года здание электростанции со всеми пристройками было снесено.

19 декабря 2022 года на проспекте независимости фасад первой минской электростанции был восстановлен. Возле воссозданного фасада установили макет всей электростанции. В композицию входит стена-мемориал партизанам, оборонявшимся в электростанции. Для реконструкции фасада был сохранен и применен первоначальный стройматериал. Восстановление проводилось при научном сопровождении министерства культуры Беларуси.

Заключение

Восстановление и сохранение зданий в надлежащем виде имеет важное историческое значение. Первая минская электростанция является не только показателем высокого уровня развития общества в конце XIX – начале XX века, но и памятником архитектуры в стиле неоготики.

Литература

1. Минская электроэнергетика – 110 лет. Минские кабельные сети на рубеже столетий: история, факты, события, люди: 1895 - 2005 / Министерство энергетики Республики Беларусь, Белорусский государственный энергетический концерн "Белэнерго", РУП электроэнергетики "Минскэнерго"; [автор-составитель М.И.Сугако]. – Минск, 2006

2. Шибеко З.В., Шибеко С.Ф. "Минск: страницы жизни дореволюционного города". Мн. "Полымя", 1990 г.

3. Восстановленный фасад первой электростанции в Минске [Электронный ресурс] – Где находилась первая электростанция в Минске? – Режим доступа: https://poshyk.info/electrostancia-v-minske/. – Дата доступа: 28.10.2024.

СЕКЦИЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ В СОВРЕМЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Г.В. Костенко, К.В. Буценко, Д.Л. Клещенко
Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

СЦЕНАРИИ ЕВРОПЕЙСКОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА НА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ

К.В. Журавлёва, Н.А. Хотенко
Научный руководитель – П.П. Храмцов, д.ф.-м.н.

ГЕЛИОТЕРМАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ С ДВИГАТЕЛЕМ СТИРЛИНГА

А.А. Мильяненко, М.С. Микшель
Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

ПЕРЕДВИЖНАЯ ТЭЦ С ДВИГАТЕЛЕМ СТИРЛИНГА

А.А. Мильяненко, А.А. Жалевич
Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

НАНОЖИДКОСТЬ КАК ЭФФЕКТИВНАЯ СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ

Я.Н. Старостенков
Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

УВЕЛИЧЕНИЕ КПД СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ НАНОАНТЕНН

Я.Н. Старостенков
Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ

Я.Н. Старостенков
Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

СЖИЖЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ ГАЗ

П.А. Ратомский, К.С. Станиславчик, А.Е. Федотов
Научный руководитель – П.П. Храмцов, д.ф.-м.н.

ВНЕДРЕНИЕ ЭЛЕКТРОКОТЛОВ В СИСТЕМУ ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

В.Н. Санько, Д.А. Махонько
Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

ТОНКОСТЕННЫЙ ТЕПЛООБМЕННЫЙ АППАРАТ ИНТЕНСИФИЦИРОВАННЫЙ

Д.Д. Ксенжик, Д.А. Бортник, А.А. Бортник
Научный руководитель – В.В. Янчук, ассистент

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАКРЫТЫХ КАРЬЕРОВ ДЛЯ ГИДРОАККУМУЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

А.А. Мильяненко, Н.Е. Чирич
Научный руководитель – Т. А. Петровская, старший преподаватель

МЕТОДЫ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СИСТЕМ

К.С. Станиславчик, П.А. Ратомский, А.Е. Федотов
Научный руководитель – П.П. Храмцов, д.ф.-м.н.

ЭЛЕКТРОКОТЛЫ КАК ИННОВАЦИЯ ЭНЕРГЕТИКИ БЕЛАРУСИ

В.В. Дуров, В.В. Ленковец
Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ МАЛОТОННАЖНЫХ УСТАНОВОК

А.С. Игнатенко, Д.А. Ромейко, Д.В. Яковец
Научный руководитель – П.П. Храмцов, д.ф.-м.н.

ТЕХНОЛОГИИ СЖИЖЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА

А.С. Игнатенко, Д.А. Ромейко, Д.В. Яковец
Научный руководитель – П.П. Храмцов, д.ф.-м.н.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ

А.П. Каменко
Научный руководитель – В.С. Королева, старший преподаватель

ТЕПЛОВЫЕ ВЭР И ОЖИДАЕМЫЙ ЭФФЕКТ ОТ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

А.В. Шунькевич
Научный руководитель – В.С. Королева, старший преподаватель

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЭР НА ГУП «МИНСККОММУНТЕПЛОСЕТЬ»

Д.А. Шевко, Д.Д. Казыро
Научный руководитель – В.С. Королева, старший преподаватель

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН

А.И. Тишкова, Д.И. Барановская
Научный руководитель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель

ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ФИЛИАЛЕ РУП МИНСКЭНЕРГО «МИНСКАЯ ТЭЦ-3»

Н.В. Рачковский, Д.В. Самандык, П.О. Бондарев, Е.В. Емельянов
Научный преподаватель – В.С. Королева, старший преподаватель

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЭР НА ГОСУДАРСТВЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ «ОРШАНСКАЯ ТЭЦ»

Г.М. Кандауров, И.О. Романовский
Научный руководитель – В.С. Королева, старший преподаватель

ТЕПЛОФИКАЦИОННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ АТОМНОЙ СТАНЦИИ

А.В. Казейка
Научный руководитель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель

ТЕХНОЛОГИИ SPIN CELL В ПРОИЗВОДСТВЕ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

А.С. Ганжа
Научный руководитель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель

ТЕПЛОСЧЕТЧИК МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ЭСКО МТР – 06

О.С Святогор, О.И. Новогран, П.С, Борадулькин, Д.Д Толкачев
Научный руководитель – В.С. Королева, старший преподаватель

ПРИМЕНЕНИЕ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Д.И. Барановская, А.И. Тишкова
Научный руководитель – В.С. Королева, старший преподаватель

СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

А.С. Семененко
Научный руководитель – В.С. Королева, старший преподаватель

ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЭС

Д.В.Ридель
Научный руководитель – В.С. Королева, старший преподаватель

РЕЗЕРВНЫЕ ТОПЛИВНЫЕ ХОЗЯЙСТВА

А.В. Чернушевич, А.С. Лукашук, В.Д. Гиль
Научный руководитель – В.С. Королева, старший преподаватель

ГАЗОВЫЕ КОТЕЛЬНЫЕ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

В.А. Колончук
Научный руководитель – В.С. Королева, старший преподаватель

ПРОМЫШЛЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

М.А. Грушко
Научный руководитель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель

ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ИНДИИ И ПЛАН ЕЕ РАЗВИТИЯ ДО 2070 ГОДА

А.В. Казейка, Д.Д. Казыро, А.П. Каменко
Научный руководитель – В.В. Янчук, ассистент

ПРЕДОХРАНИТЕЛНЫЕ КЛАПАНА

П.Д. Кагочкин, А.С. Ганжа
Научный руководитель – В.С. Королева, старший преподаватель

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТОЧНЫХ ВОД В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ: ВОЗМОЖНОСТЬ И ОГРАНИЧЕНИЯ

А.И. Тишкова, Н.В. Савко
Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ОСНОВНЫХ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ОПТИМАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ПАРОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Н.С. Волкович, А.О. Закиров, П.А. Дымков
Научный руководитель – З.Б. Айдарова, старший преподаватель

БЛОЧНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ ПУНКТЫ

П.Д. Кагочкин, А.С. Ганжа
Научный руководитель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель

ПРИНЦИП РАБОТЫ И КОНСТРУКЦИИ ТУРБИНЫ ТЕСЛЫ

Д.И. Барановская
Научный руководитель – Ю.П. Ярмольчик, к.т.н., доцент

АНАЛИЗ ПОТРЕБЛЕНИЯ ТОПЛИВА МОДУЛИРУЕМОЙ И ОДНОСТУПЕНЧАТОЙ ГОРЕЛОК

Н.В. Рачковский, Д.В. Самандык
Научный преподаватель – Ю.П. Ярмольчик, к.т.н., доцент

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПЬЕЗОЭНЕРГЕТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

В.А. Кочетков
Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

УДК 621.577

ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ В СОВРЕМЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
HEAT PUMPS IN MODERN INDUSTRY

Г.В. Костенко, К.В. Буценко, Д.Л. Клещенко
Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
G. Kostenko, K. Butsenko, D. Kleshchenko
Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье рассматриваются тепловые насосы в современной промышленности. Рассматривается эффективность и проводится анализ основных характеристик.*
Abstract: *This article discusses heat pumps in modern industry. The efficiency is considered and the main characteristics are analyzed.*
Ключевые слова: *тепловые насосы, энергия, цикл, рабочее тело.*
Keywords: *heat pumps, energy, cycle, working material.*

Введение

В условиях современных промышленных процессов тепловые насосы играют важную роль, позволяя эффективно управлять энергосистемами и снижать выбросы углекислого газа. Эти устройства основаны на принципе передачи тепла между разными средами, что делает их незаменимыми в задачах отопления, охлаждения и обеспечения горячей водой. Благодаря их универсальности, тепловые насосы широко применяются в различных отраслях, таких как пищевая и химическая промышленности, способствуя внедрению экологически устойчивых технологий.

Основная часть

Тепловой насос представляет собой установку, обеспечивающую передачу тепла от источника с низкой температурой к теплоприемнику с высокой температурой при расходе энергии. Принцип его работы схож с процессами в холодильных установках.

Сегодня разработаны и используются различные виды тепловых насосных систем, различающихся по типу тепловых схем, используемым рабочим средам и оборудованию. Классификация таких установок возможна по типу работы – парокомпрессионные и абсорбционные тепловые насосы, а также по источнику энергии – геотермальные и воздушные.

Парокомпрессионные тепловые насосы (ПТН) работают за счет механической энергии, чаще всего электрической, а абсорбционные (АБТН) используют тепловую энергию для выполнения термодинамического цикла. Для оценки эффективности данных устройств можно применять удельный расход топлива на теплопроизводство либо коэффициент полезного использования энергии.

Энергетическую эффективность ПТН можно выразить коэффициентом преобразования [2]:

$$\varphi = Q_п/Q_к, \quad (1)$$

где $Q_п$ – производственная теплота, кДж;

$Q_к$ – мощность в тепловом эквиваленте, затраченная на привод компрессора, кДж.

Коэффициент мощности ε описывает соотношение отданной в данный момент тепловой мощности и эффективной потребляемой мощности прибора [2]:

$$\varepsilon = P_Н/P_Е, \quad (2)$$

где $P_Н$ – тепло, отдаваемое тепловым насосом теплоносителю в единицу времен, Вт;

$P_Е$ – средняя электрическая потребляемая мощность прибора в течение определенного периода времени, Вт.

Этот коэффициент зависит от рабочей точки, заданной температурой входа и выхода теплоносителя. Чем меньше разница температур, тем выше коэффициент, что позволяет минимизировать подачу тепла и повышать общую эффективность.

Тепловые насосы находят широкое применение в промышленности, особенно благодаря их способности работать на возобновляемой энергии. В Республике Беларусь они используются в таких отраслях, как:

- Сельское хозяйство: для отопления теплиц, животноводческих помещений и подогрева воды;
- Пищевая промышленность: в производстве молочной продукции, мясопереработке и других процессах, требующих терморегуляции;
- Строительство: для отопления и охлаждения зданий;
- Энергетика: в системах теплоснабжения для повышения энергоэффективности;
- Текстильная промышленность: при сушке и обработке тканей;
- Климатические системы: в установках кондиционирования и вентиляции.

Благодаря тепловым насосам удается снижать затраты на энергию и уменьшать углеродный след, что особенно актуально в условиях экологических изменений.

Заключение

Тепловые насосы предоставляют возможность использования возобновляемых энергетических источников, способствуя выполнению технических стандартов и снижению потребления энергии.

Литература

1. Промышленные тепловые насосы [Электронный ресурс] Режим доступа: https://geoteplo.by/o_tehnologii/promyshlennye-teplovye-nasosy/ - Дата доступ: 18.10.2024

2. Тепловые насосы в современной промышленности и коммунальной инфраструктуре. Информационно – методическое издание. – М.: Издательство «Перо», 2016. – 204 с.

УДК 620.91

СЦЕНАРИИ ЕВРОПЕЙСКОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА НА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ
SCENARIOS FOR A EUROPEAN ENERGY TRANSITION TO RENEWABLE SOURCES

К.В. Журавлёва, Н.А. Хотенко
Научный руководитель – П.П. Храмцов, д.ф.-м.н.
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
C. Zhuravleva, N. Khatsenka
Supervisor – P. Chramtsov, Doctor of Physical and Mathematical Sciences
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье рассматриваются возможные сценарии перехода европейской энергетической системы на возобновляемые источники.*
Annotation: *This article discusses possible scenarios for the transition of the European energy system to renewable sources.*
Ключевые слова*: возобновляемые источники, теплоснабжение, транспорт, топливо, интеграция.*
Key words: *renewable sources, heat, transportation, fuels, integration.*

Введение

В настоящий момент актуальной проблемой для всего мира является сохранение окружающей среды. Большая часть используемых человеком энергетических ресурсов не являются возобновляемыми, и их добыча и использование разрушает экологию. Кроме того, большое число стран, в силу географического положения, не имеют доступа к крупным залежам ископаемого топлива. Это характерно для Европы, где страны с высокоразвитой промышленностью и экономикой не могут удовлетворить свои потребности в энергетических ресурсах только за счёт своих ископаемых. По этой причине большой интерес для многих европейских стран представляют возобновляемые источники энергии. Существует большое количество исследований и планов, посвящённых полному энергетическому переходу европейских стран на возобновляемые источники. По этой причине рассмотрение возможных сценариев полного перехода европейской энергетики на возобновляемую энергию имеет большую пользу для составления будущих проектов по переходу энергетической системы РБ на возобновляемые источники.

Основная часть

Анализировать сценарии можно рассматривая отрасли теплоснабжения, электроснабжения, транспорта и промышленности. Основными мерами по преобразованию европейского теплового сектора являются: экономия тепла, расширение системы централизованного теплоснабжения и изменения в индивидуальном и централизованном теплоснабжении. Основываясь на [1], энергоэффективность в секторе теплоснабжения – это баланс между мерами со стороны спроса и предложения. Для этого проводятся исследования в области количественной оценки баланса между экономией тепла и теплоснабжением,

рассматриваются оптимальные частные инвестиции как для спроса на тепло, так и для теплоснабжения, а также уделяется дополнительное внимание затратам на ущерб здоровью от выбросов частиц от технологий теплоснабжения.

Кроме того, рассматривается, какие технологии теплоснабжения будут эффективнее, а соответственно и предпочтительнее в долгосрочной перспективе. Самые низкие затраты энергосистемы наблюдаются в сценарии с избыточным теплоснабжением, то есть при помощи промышленных предприятий, но этот сценарий также влияет на надежность снабжения, поскольку этот источник тепла может закрыться или переместиться в другую страну. Для того, чтобы солнечные тепловые станции могли обеспечить теплоснабжение, им необходимы сезонные хранилища, способные обеспечить 1/3 спроса на централизованное теплоснабжение, хотя в реальности это маловероятно по практическим и пространственным причинам.

Для промышленного сектора существуют следующие сценарии[2]:

Повышение энергоемкости промышленности, приводящее к снижению спроса на топливо, затем отопление помещений и технологическое отопление при температуре ниже 100 °C переводится на централизованное отопление и тепловые насосы с распределением 50/50 между этими источниками. В биоэнергетическом сценарии все оставшееся потребление топлива, которое не является централизованным отоплением или электроэнергией, переводится на твердую биомассу. В сценарии электрификации предполагается, что 50% оставшегося потребления топлива после экономии и перевода на централизованное отопление и тепловые насосы может быть электрифицировано.

В сфере электроснабжения принимаются следующие меры: экономия энергии при традиционном спросе на электроэнергию, интеграция периодически возобновляемых источников ветра и фотоэлектричества, а также повышение эффективности тепловых станций. В области электроэнергетики проводятся проекты по интеграции в энергосистему ветроэнергетики и фотоэлектричества, а также ГЭС.

В сфере транспорта предполагается замена частных автомобилей на общественный электротранспорт или электромобили, Преобразование остальной части транспортного спроса в: биотопливо второго поколения, водород, биоэлектротопливо, электроэнергию. Сценарий использования биотоплива предусматривает перевод всего оставшегося потребления нефти на биотопливо 2-го поколения, предполагая, что дизельные автомобили будут переведены на биодизель, бензиновые - на биоэтанол, а авиация - на биореактивное топливо. В водородном сценарии весь оставшийся транспортный спрос переводится на транспорт, работающий на водороде с помощью технологий силовых агрегатов на топливных элементах. Предполагается, что в 2050 году эффективность водородных автомобилей составит 41 %, грузовиков - 47,3 %, автобусов - 53,5 %, а морского и воздушного транспорта - 38,5 %. Концепция биоэлектротоплива основана на производстве возобновляемых газов (метана) для удовлетворения оставшегося спроса на транспорт. Биоэлектротопливо повышает энергосодержание топлива. Предполагается

производство газифицированного биотоплива, в которую добавляется водород, полученный в результате электролиза.

Предположения относительно затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание таких транспортных средств влияют на общие затраты на энергосистему. Эти затраты весьма неопределенны при рассмотрении технологий, которые не полностью коммерциализированы и будут развиваться до 2050 года, поэтому при сравнении затрат необходимо учитывать это обстоятельство.

Заключение

Таким образом, переход энергетической системы на возобновляемые источники является очень сложным и долгим процессом, требующим большие экономические и производственные затраты. Актуальным вопросом является внедрение в электроэнергетическую отрасль станций, работающих на возобновляемых источниках, а также способы накопления и хранения тепла и электричества.

Литература

1. Hansen K., Mathiesen V.B., Skov I.R. (2024) Full energy system transition towards 100% renewable energy in Germany in 2050. Aalborg University, Denmark.

2. Hansen K., Connolly D., Lund H., Drysdale D., Thellufsen J.Z. (2024) Heat Roadmap Europe: Identifying the balance between saving heat and supplying heat. Aalborg University, Denmark.

3. 21st Conference of the Parties of the UNFCCC, The Paris Agreement of December 21th 2015 on Greenhouse gases emissions mitigation, adaptation and finance, 2015

УДК 621.311

ГЕЛИОТЕРМАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ С ДВИГАТЕЛЕМ СТИРЛИНГА
SOLAR THERMAL PLANTS WITH STIRLING ENGINE

А.А. Мильяненко, М.С. Микшель
Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Milyanenko, M. Mickschel
Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Изучен принцип работы двигателя Стирлинга и гелиотермальных установок, рассмотрено применение тепловых аккумуляторов для гелиотермальных установок с двигателем Стирлинга.*

Abstract: *The operating principle of the Stirling engine and solar thermal installations is studied, and the use of heat accumulators for solar thermal installations with a Stirling engine is considered.*

Ключевые слова: *двигатель Стирлинга, параболичемкое зеркало, гелиотермальная установка, тепловой аккумулятор.*

Key words: *Stirling engine, parabolic mirror, geothermal power plant, heat accumulator.*

Введение

В наше время основное внимание в возобновляемой энергетике приковано к энергии солнца. Его используют электростанции с солнечными концентраторами и солнечным панелям, но у них есть несколько главных минусов: низкий КПД, большая занимаемая площадь, но также из-за сосредоточения на центральной башне солнечной электростанции плотных световых потоков погибают птицы, попавшие в эти потоки, а на их останки прилетает ещё больше птиц. Помочь исправить ситуацию могут гелиотермальные установки с двигателями Стирлинга, так как у них КПД в 1,5-2 раза выше, они используют больший диапазон солнечного света, меньше уничтожают птиц, так как световой поток от солнца каждой тарелки направлен на свой двигатель Стирлинга, что практически полностью убирает опасную для птиц зону сильных световых потоков. Также с двигателем Стирлинга можно использовать тепловые аккумуляторы, которые днем будут заряжаться, а ночьюю отдавать тепло на горячий цилиндр Стирлинга, чтобы он продолжал работу. Данные установки помогут увеличить эффективность возобновляемой энергетики.

Основная часть

Гелиотермальные установки с двигателем Стирлинга состоят из параболического зеркала и двигателя Стирлинга, закрепленном перед зеркалом либо сзади, при условии, что в установке используется ресивер с тепловой трубкой. Зеркало может быть цельным либо из фрагментов (второй вариант предпочтительнее, так как можно заменить фрагмент, не останавливая всю установку).

Принцип работы системы:

– параболический солнечный концентратор отсвечивает солнечное излучение на расположенных в центре фокуса ресивер;
– солнечное излучение поглощается теплообменником, который нагревает рабочий газ в двигателе Стирлинга приблизительно до 650°С;
– двигатель Стирлинга превращает тепло в механическую энергию;
– электрогенератор присоединен к двигателю напрямую и легко конвертирует механическую энергию в электричество;
– чтобы излучение было сконцентрировано в точке фокуса рефлектора, система слежения в течение дня крутит установку следом за движением солнца.

Данные установки имеют большое преимущество перед обычными фотоэлектрическими панелями, так как у двигателя Стирлинга выше КПД, при работе такая установка преобразует большую часть солнечной энергии, также из-за малой мощности солнечных панелей они занимают больше площади чем установки со Стирлингами.

Таблица 1 – Сравнение гелиотермальной установки со Стирлингом и солнечной панели

	Установка с двигателем Стирлинга	**Установка из солнечных панелей**
КПД, %	28-34, в зависимости от зеркала и двигателя	17-23, в зависимости от типа панели и КПД оборудования
Мощность, кВт	27-34, в зависимости от зеркала и двигателя (установка занимает около 110 м^2)	18-23 на площади в 110 м^2
Занимаемая площадь на 100 МВт, га	200	287
% преобразования солнечной энергии	60	45

Как видно из таблицы КПД установки со Стирлингом выше на 5-17 %, также на одинаковой площади Стирлинг вырабатывает на 4-16 кВт больше электроэнергии, ещё он преобразует на 15% больше солнечной энергии. А электростанция на 100 МВт на Стирлингах занимает на 30% меньше площади чем станция с панелями.

Также плюсом двигателя Стирлинга является возможность использования тепловых аккумуляторов. Мы предлагаем несколько вариантов использования данных аккумуляторов:

– Чугунно-керамическая болванка, находящаяся перед двигателем Стирлинга и накапливающая в течении дня тепловую энергию, которую отдаёт ночью, для работы Стирлинга круглые сутки;
– Тепловой аккумулятор на основе расплавления алюминия (электроэнергия используется чтобы нагревать блоки из алюминиевого сплава до температуры около 600 градусов Цельсия. При этой температуре сплав плавится, и не будет больше нагреваться до тех пор, пока не расплавится полностью, что позволяет запасти гораздо больше

энергии, чем при обычном нагреве);

– Использовать тепловой ресивер, который по трубкам будет отправлять тепловую энергию за зеркало в тепловой аккумулятор, от которого уже будет работать двигатель Стирлинга, это также даст возможность работать круглые сутки.

Заключение

Как мы доказали, гелиотермальные установки с двигателями Стирлинга имеют смысл, так как имеют большое количество преимуществ перед обычными фотоэлектрическими панелями: больший КПД, большую мощность, меньшую занимаемую площадь, преобразуют больше солнечной энергии. Также с ними можно использовать тепловые аккумуляторы различных конструкций. Данные установки могут помочь распространению возобновляемых источников энергии с меньшим загрязнением атмосферы. За счёт фрагментного зеркала данные установки могут работать практически без остановок.

Литература

1. Новая гелиотермальная установка показала рекордную эффективность [Электронный ресурс]: Режим доступа: https://nplus1.ru/news/2015/05/19/dishstirling/. – Дата доступа: 25.09.2024

2. Двигатель Стирлинга - второе рождение забытого механизма [Электронный ресурс]: Режим доступа: https://vk.com/@visionarysshelter-dvigatel-stirlinga-vtoroe-rozhdenie-zabytogo-mehanizma/. – Дата доступа: 25.09.2024

УДК 621.311

ПЕРЕДВИЖНАЯ ТЭЦ С ДВИГАТЕЛЕМ СТИРЛИНГА
MOBILE CHP WITH STIRLING ENGINE

А.А. Мильяненко, А.А. Жалевич
Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Milyanenko, A. Zhalevich
Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Изучен принцип работы двигателя Стирлинга, когенерация, применение двигателя Стирлинга на передвижных платформах.*
Abstract: *The principle of operation of the Stirling engine, cogeneration, and the use of the Stirling engine on mobile platforms have been studied.*
Ключевые слова: *двигатель Стирлинга, когенерация, Мини-ТЭЦ, чрезвычайные ситуации, передвижение.*
Key words: *Stirling engine, cogeneration, mini-CHP, emergency situations, movement.*

Введение

В наше время происходит немало ураганов и других чрезвычайных ситуаций, из-за которых обрываются линии электропередач и прорывает трубы отопления. Вследствие чего могут пострадать обычные люди, особенно те, которые лежат в больницах, больше всего в реанимации. А на восстановления электро- и теплоснабжения может уйти немало времени, которого у некоторых может не быть. В таких ситуациях могут помочь передвижные теплоэлектроцентрали, которые будут подключаться к оборванным проводам. или трубам. Данные установки смогут сильно облегчить себе жизнь людям живущих в районе, где произошло чрезвычайное происшествие, так как они смогут использовать электричество. А в случае, когда данное население живет в холодных регионах мира, они смогут получать свое временное отопление и не замерзать. Все это поможет более эффективно проводить спасательные операции во всем мире и спасать больше людей при различных бедствиях.

Основная часть

Когенерация – процесс совместной выработки электрической и тепловой энергии.[1]

Стирлинг-когенерация – новая технология для комбинированного производства электроэнергии и тепла, на основе двигателей Стирлинга, при которой энергия охлаждающей воды и отработанных газов используется для нужд теплоснабжения потребителей.[2]

Двигатель Стирлинга представляет собой преобразователь энергии, относящийся к типу тепловых двигателей, совершающих механическую работу на выходном валу при подводе к ним тепловой энергии. Полезная работа в рабочем цикле Стирлинга совершается, как и в других тепловых двигателях, посредством сжатия рабочего тела при низкой температуре расширения того же рабочего тела после нагрева при более высокой температуре.[3]

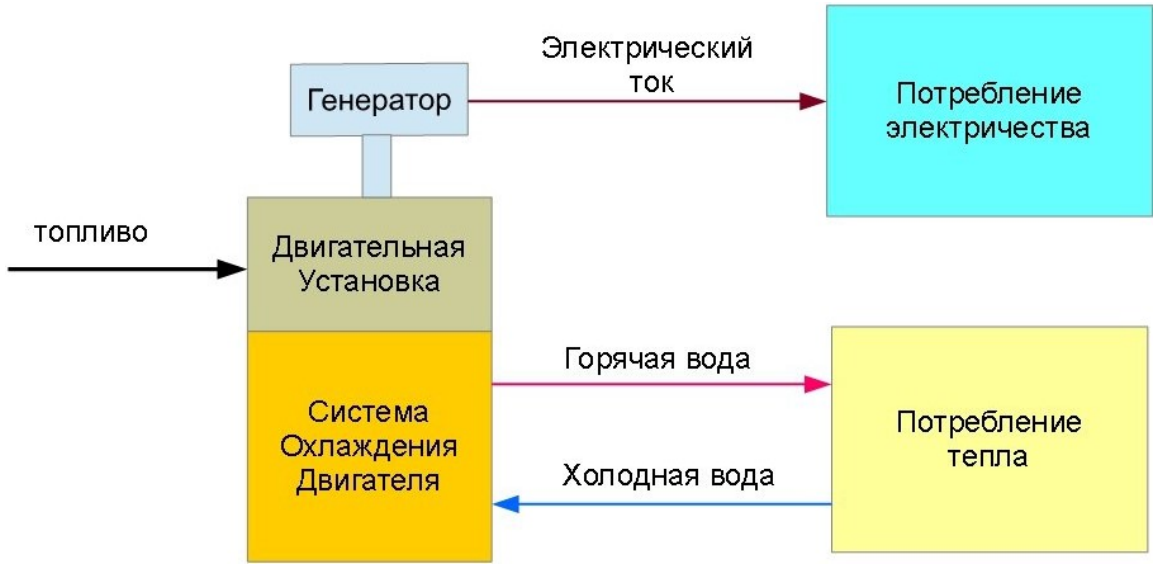


Рисунок 1 – Схема когенерации

Существует несколько типов двигателя Стирлинга. Основные:

– Альфа-Стирлинг;
– Бета-Стирлинг;
– Гамма-Стирлинг.

Мини-ТЭЦ (малая теплоэлектроцентраль) – это компактная автономная электростанция, которая производит комбинированным способом тепло и электроэнергию мощностью до 25 МВт и расположена в непосредственной близости к конечному потребителю. Может работать как в «островном» режиме, когда на объекте нет внешней энергосети, так и параллельно с основной сетью.[4]

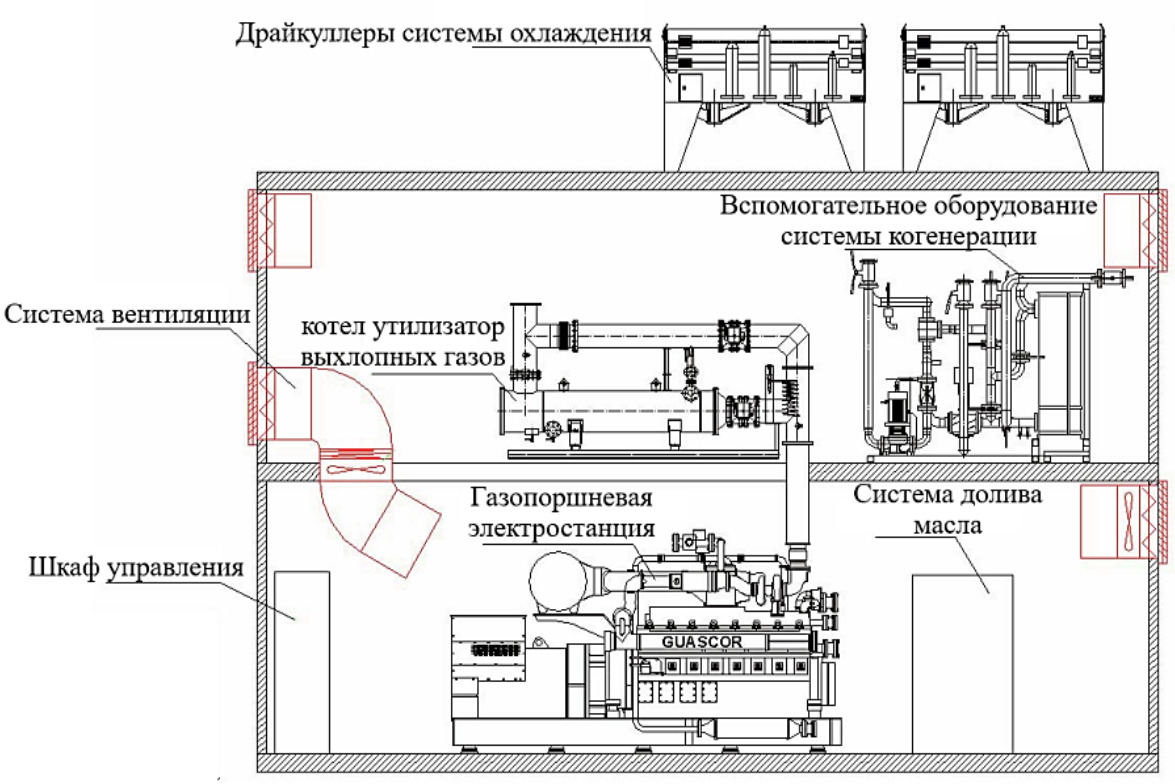


Рисунок 2 – Схема стандартной мини-ТЭЦ

К основным преимуществам мини-ТЭЦ по сравнению со стандартными схемами энергоснабжения можно отнести:

– низкую стоимость вырабатываемой электроэнергии, тепла и, соответственно, быстрый возврат инвестиций;
– повышение надежности энергоснабжения;
– независимость режима работы потребителя от режима работы энергосистем.
– Эксперты подсчитали, что при использовании мини-ТЭЦ расходы на тепло- и электроснабжение можно снизить в 3–4 раза, при этом сроки окупаемости составит всего 3–5 лет.

Существует несколько вариантов размещения мини-ТЭЦ в зависимости от требований заказчика:

– Блочно-модульное исполнение – мини-ТЭЦ со всем вспомогательным оборудованием и системами устанавливается внутри быстровозводимого компактного здания блочного типа с модульным расположением основного оборудования (ГПУ) и вспомогательных систем;
– Стационарное исполнение – мини-ТЭЦ со всем вспомогательным оборудованием и системами устанавливается внутри капитального здания;
– Передвижное исполнение – мини-ТЭЦ со всем вспомогательным оборудованием и системами устанавливается на передвижную платформу, которая при желании сможет оперативно переместиться на новое место работы.



Рисунок 3 – Пример передвижной мини-ТЭЦ

При проектировании мини-ТЭЦ должны учитываться следующие основные факторы:

- Наличие местных видов топлива. Наличие таких источников как биомасса или отходов, из которых можно получать газ, существенно снизят затраты на мини-ТЭЦ. Если таких источников нет, или невозможно их использовать, то надо выбрать вариант с меньшими транспортными затратами на доставку топлива. Мини-ТЭЦ на базе ДВС могут работать на многих видах топлива (бензин, дизельное топливо, природный газ, газах, получаемых из биомассы и органических отходах производств).
- Важным фактором является соотношение электрической и тепловой нагрузок потребителя.
- Необходимо учитывать и характер нагрузки, колебание по часам суток.
- Важным фактором для выбора мини-ТЭЦ являются климатические условия, в которых будет работать установка. Прежде всего, этот фактор влияет на выбор типа ДВС.[5]

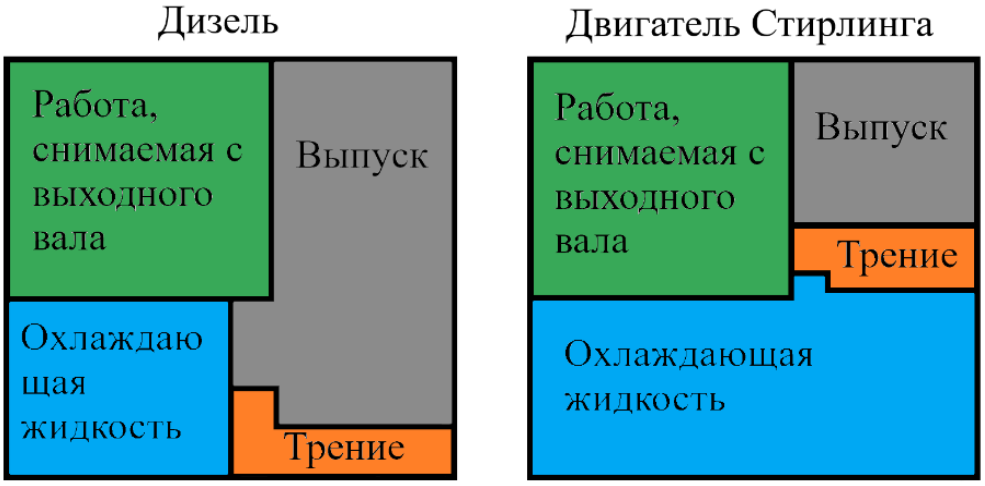


Рисунок 4 – Сравнение структур энергетического баланса двигателя Стирлинга и дизельного двигателя

Но если использовать вместо двигателей внутреннего сгорания двигатели Стирлинга, установка лишится ряда недочетов, например мини-ТЭЦ сможет работать на любом горючем материале, например на дровах или пеллетах. Также двигатель Стирлинга может вырабатывать немало тепловой энергии, которую можно будет пускать на отопление. Также большим плюсом двигателя Стирлинга является его пригодность к любым погодным условиям, а при низкой температуре он будет даже эффективнее работать из-за увеличения разности температур.

В нашей работе мы будем использовать передвижную схему.

Мы смогли отыскать три промышленные модели двигателя Стирлинга, которые подходят под наши задачи и решили сделать сравнительную таблицу, чтобы узнать, какой из них лучше подходит под наши задачи.

Таблица 1 – Сравнение двигателей Стирлинга [6,7,8,9]

Название Стирлинга	V2-6	Sun Pulse 500	QB80
Электрическая мощность, кВт	4,8	0,5	5,65
Масса, кг	57	-	110
Электрический КПД, %	48,6	12	40
Охладитель	Вода, воздух	вода	воздух, антифриз
Рабочее тело	азот	воздух	гелий
Частота вращения, об/мин	1200	160	6900
Тип топлива	любое	Газовое топливо	Природный газ, бутан, пропан
Высота, см Длина, см Ширина, см	45,7 67,5 43,2	130 130 130	84 37 37
Количество в контейнере	42	28	34
Суммарная мощность, кВт	201,6	14	192,1

Мы смогли собрать в таблицу все основные характеристики данных двигателей и сравнить их. В результате анализа можно сделать вывод, что двигатель Стирлинга V2-6 больше подходит для наших целей, так как у него выше КПД, и их количество в установке больше, из-за чего больше и мощность всей установки. Также из-за его формы будет легче установить их в цельную конструкцию, из которой оперативно можно будет заменить неисправные агрегаты и не останавливать станцию.[10]

Для нашей установки мы использовали 40-футовый контейнер, в который установили 42 двигателя Стирлинга.

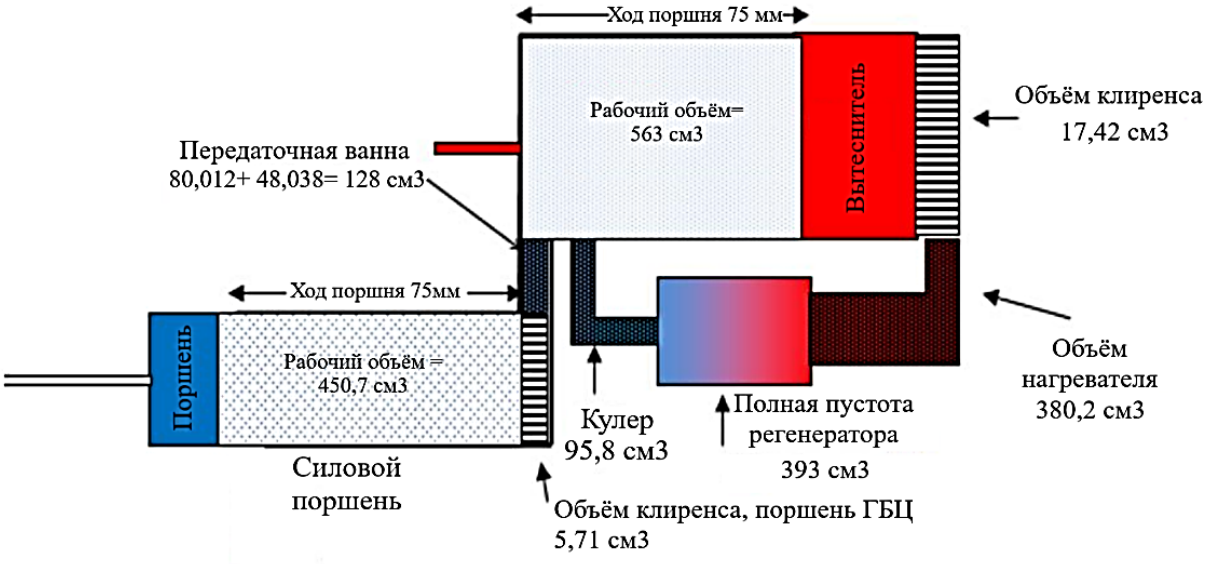


Рисунок 5 – Схема двигателя гамма типа

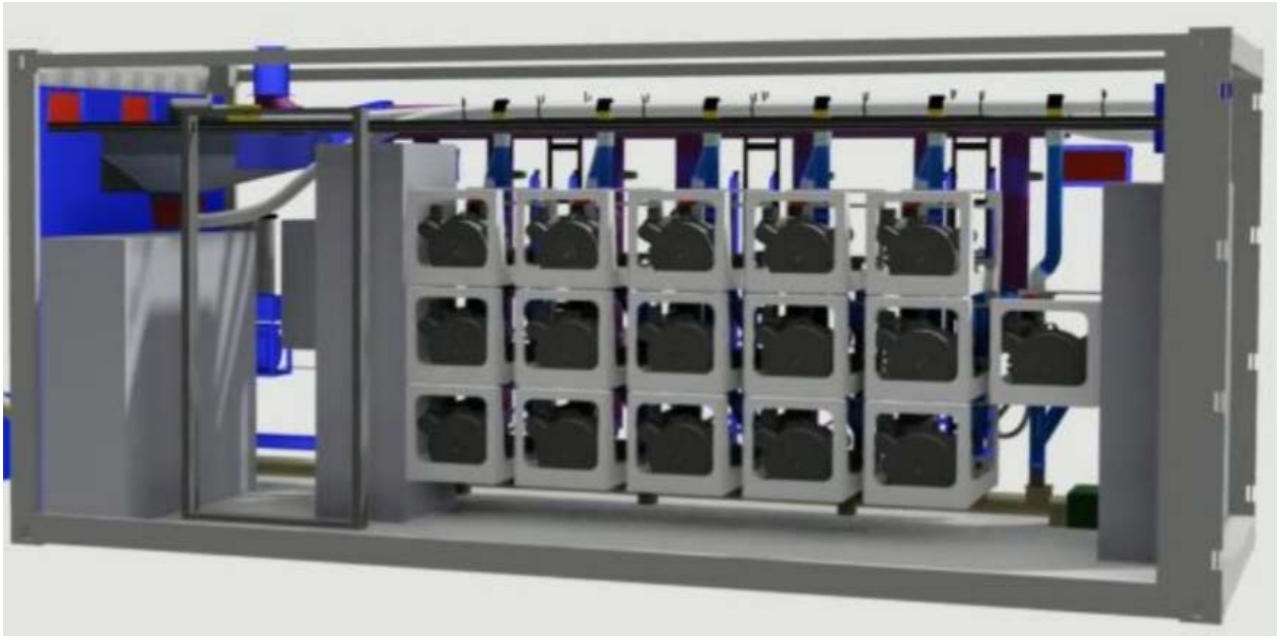


Рисунок 6 – Пример контейнерной мини-ТЭЦ с двигателем V2-6

Таблица 2 – Параметры двигателя V2-6

Диаметр силового цилиндра	8,75 см
Ход силового цилиндра	7,5 см
Пространство сжатия перемещаемого объёма	450,7 $см^3$
Диаметр цилиндра буйка	9,8 см
Ход цилиндра буйка	7,5 см
Пространство расширения перемещаемого объёма	565,3 $см^3$
Трубки в нагревателе	34
Длина трубок нагревателя	39,2 см
Диаметр трубок в нагревателе	6 мм
Трубки в охладителе	231
Длина трубок охладителя	9,71 см
Диаметр передаточной трубки	2,5 см
Длина передаточной трубки	16,3 см
Длина регенератора	6,5 см
Внешний диаметр регенератора	1,40 см
Внутренний диаметр регенератора	1 см
Регенератор пористости	0,91

Данная установка сможет работать за счет сжигания различного газа, жидкого топлива или твердого топлива, например нас пеллетах из различных отходов деревообработки и сельского хозяйства.[11]

Так же на крыше установки могут устанавливаться вакуумные солнечный коллекторы, которые могут вырабатывать тепловую энергию, которая может идти вместо топлива для работы двигателя Стирлинга в солнечное время или для помощи отопительной системы.



Рисунок 7 – Вакуумный солнечный коллектор

Также можно добавить аккумуляторы для запасания дополнительной электроэнергии, которая будет расходоваться в пики нагрузки.

Тепловую энергию установка будет получать от системы охлаждения двигателей и подавать для горячего водоснабжения или отопления.

Вся станция состоит из 5 тягачей с полуприцепами:

– сама установка с Двигателями Стирлинга и аккумуляторами в контейнере;
– второй и третий тягачи подвозят топливо к станции, иногда сменяя друг друга, когда у одного из них заканчивается топливо, в этот момент второй едет за новой партией.
– в четвертом полуприцепе устроены жилые помещения для персонала станции.
– пятый полуприцеп загружен запасными запчастями, чтобы в случае поломки оперативно её устранить.

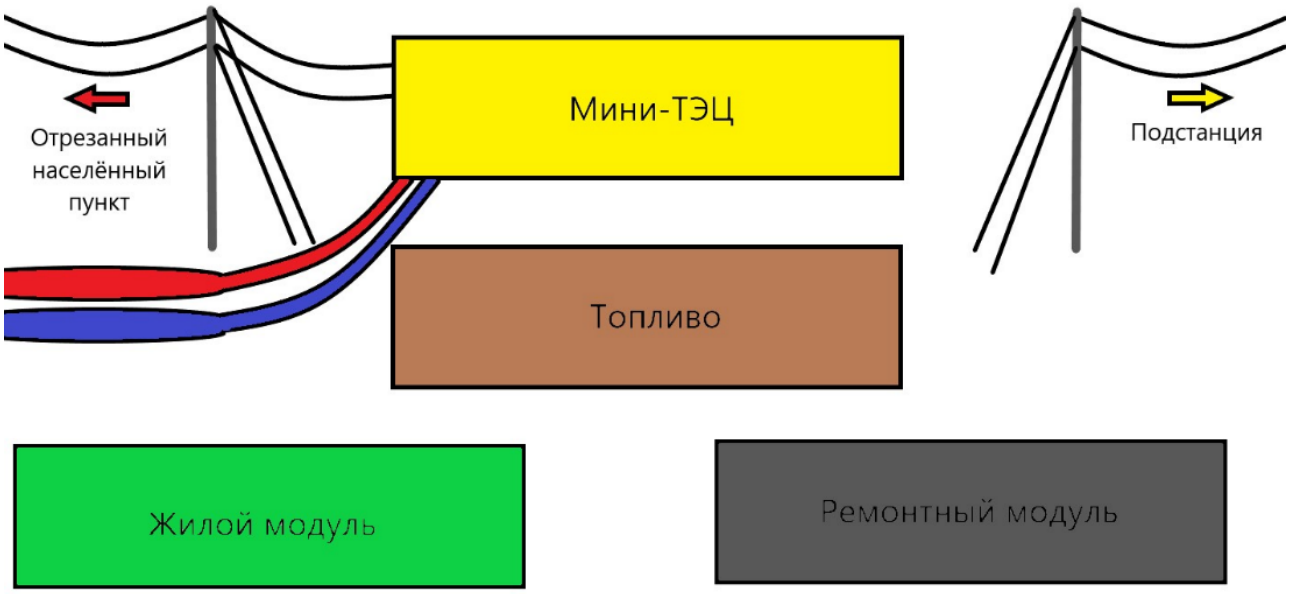


Рисунок 8 – Полная схема мини-ТЭЦ для чрезвычайных ситуаций

Использование двигателя Стирлинга, выгоднее дизельных генераторов, так как у них выше КПД и они экономичнее, экологичнее. Также за счет модульности конструкции (состоит из большого количества двигателей Стирлинга), при поломке одного модуля, станция продолжит работу, а модуль при наличии такого же сможет быть быстро заменен без выключения станции.

Принцип работы:

– случается какое-то бедствие, из-за которого обрываются линии электропередач или прорывает трубы;
– на базу данных электростанций приходит сообщение о случившемся и местонахождение разрыва;
– станция оперативно выдвигается к этому месту, где развертывается и начинает подавать электрическую и тепловую энергию на отрезанный населённый пункт;
– при предотвращении последствий ЧП станция сворачивается и возвращается на станцию базирования, где проходит техобслуживание и пополняет недостающее топливо и запчасти.

В таблице 1 приведена мощность мини-ТЭЦ с двигателем Стирлинга V2-6 равная 201,6 кВт. Теперь рассчитаем количество жилых домов, которые сможет обеспечить одна мини-ТЭЦ.

$$24 \cdot P = E_{\text{сут}} \quad (1)$$

где P – мощность мини-ТЭЦ,
$E_{\text{сут}}$ – суточная выработка мини-ТЭЦ.

$$24 \cdot 201{,}6 = 4838{,}4 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

В среднем один частный дом в сутки тратит около 7-8 кВт · ч, зная данную информацию мы можем рассчитать сколько домов сможет обеспечить одна мини-ТЭЦ.

Для расчёта суточную выработку возьмём 4600 кВт, чтобы обеспечить дополнительную энергию в момент пиков:

$$N_{\text{домов}} = \frac{E_{\text{сут}}}{E_{\text{дома}}} \quad (1)$$

$$N_{\text{домов}} = \frac{4600}{8} = 575 \text{ дом.}$$

Данный расчёт показывает, что данная установка сможет обеспечить небольшой посёлок электроэнергией, а при подключении нескольких станций можно будет обеспечить небольшой городок.

В случае если возле места подключения станции к сети отсутствует трубопровод отопительной системы, надо каким-то образом охлаждать систему двигателей, чтобы не было перегрева двигателей и не падал КПД. Так как Двигатель Стирлинга работает за счёт перепада температур, то с увеличением температуры холодной части двигателя, начнёт падать мощность и КПД. Есть несколько способов охлаждения двигателя Стирлинга:

– Вентиляторные (вентиляционные) градирни – это устройства для охлаждения оборотной воды воздухом, нагнетаемым с помощью вентилятора;
– Мягкие отопительные устройства нового типа.

Рассмотрели различные тягачи для мини-ТЭЦ и выбрали из отечественных производителей, подходящие шасси было найдено у Минского завода колесных тягачей (МЗКТ)– МЗКТ-652760–220.



Рисунок 9 – Тягач МЗКТ-652760-220

Благодаря его длине в 15,28 метра, на его грузовую платформу становиться самый большой 40-футовый контейнер, в котором сможет расположиться наша электростанция.[12]

Таблица 3 – Характеристики платформы для мини-ТЭЦ

Характеристики	
Мощность	400 л. с.
Крутящий момент	1715 нм
Колесная формула	10x10
Коробка передач	Механическая, 9-ступенчатая
Грузоподъёмность	38,4 тонны
Длина	15,28 метра
Ширина	3,1 метра

Также для демонстрации принципа работы мини-ТЭЦ была собрана модель из лего. Данная модель работает за счёт 4 электромоторов и пульта дистанционного управления.

Данная установка показывает, что двигатели Стирлинга могут работать как мини-ТЭЦ на передвижной платформе. В данной установке было использовано два двигателя Стирлинга гамма-типа для выработки электрической энергии.



Рисунок 10 – Модель мини-ТЭЦ с двигателем Стирлинга

Двигатель Стирлинга может работать на различном топливе и в этом заключается одно из его главных преимуществ. Сейчас мы проведем сравнение, чтобы найти самоё эффективное топливо для мини-ТЭЦ с двигателем Стирлинга.

Таблица 4 – Сравнение видов топлива для мини-ТЭЦ с двигателем Стирлинга [11]

Сравнение топлива для двигателя Стирлинга			
Природный газ	1 куб. м	0,55 руб	33,08 МДж
Мазут	1 л	0,1 руб	40,61 МДж
Керосин	1л	10 руб	43,5 МДж
Водород	1 куб. м	2925 руб	120 МДж
Каменный уголь	1 кг	0,4 руб	27 МДж
Торф брикеты	1 кг	0,11 руб	17,58 МДж
Древесные пеллеты	1 кг	0,4 руб	17,17 МДж
Щепа	1 кг	0,35 руб	10,93 МДж
Высушенная древесина	1 кг	0,14 руб	14,24 МДж

Из данной таблицы следует, что не всё топливо рентабельно для работы двигателя Стирлинга, например, из-за высокой стоимости. Например, невыгодно использовать керосин и водород из-за их дороговизны. Для расчёта самого выгодного топлива надо узнать сколько весит 1 кубометр природного газа.

$$m = \rho \cdot V, \text{кг} \quad (3)$$

где ρ – плотность природного газа, кг/м^3

V – объём газа, м^3.

$$m = 0{,}72 \cdot 1 = 0{,}72 \text{ кг}$$

Теперь надо высчитать сколько тепловой энергии выдаёт 1 кг природного газа. $Q = 33{,}08/0{,}72 = 45{,}94$ МДж – выделяется тепловой энергии из 1 кг природного газа.

Цена 1 кг природного составляет около 0,76 руб.

После данных расчётов можно решить какое топливо выгоднее для нашей мини-ТЭЦ. Самым выгодным топливом, более-менее экологичным, являются сухие дрова и природный газ.

Мазут и торф брикетный можно использовать как резервное топливо, но не как основное, потому что они очень загрязняют атмосферу.

Заключение

Использование двигателей Стирлинга для когенерации в мини-ТЭЦ является перспективной веткой развития энергетики, так как у него КПД выше, чем у дизельных генераторов, а также он экономичнее и экологичнее их.

Использование повсеместно мини-ТЭЦ при чрезвычайных ситуациях очень полезно, так как не всегда есть возможность быстро устранить неполадки, и люди могут несколько дней быть без света или отопления, а данные установки смогут временно обеспечить теплом и электричеством много людей, а именно 1 установка – 575 частных домов, а при экономном использовании электроэнергии и больше.

Данные станции можно использовать группами, для выработки большего количества электроэнергии, или комбинированно (одна электрическую энергию, другая тепловую). Могут использоваться военными или для выработки

электричества и тепла на северных месторождениях различных полезных ископаемых, а при использовании на местах добычи нефти, для работы станции можно использовать попутный нефтяной газ.

Литература

1. Когенерация [Электронный ресурс]: Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Когенерация/. – Дата доступа: 07.09.2024

2. Когенерационные установки с многотопливными двигателями Стирлинга [Электронный ресурс]: Режим доступа: https://ecoteco.ru/id119//. – Дата доступа: 22.04.2024

3. Двигатель Стирлинга [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://licpnz.ru/index/dvigatel_stirlinga/0-348/. – Дата доступа: 07.09. 2024

УДК 532.5

НАНОЖИДКОСТЬ КАК ЭФФЕКТИВНАЯ СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ
NANOFLUID AS AN EFFICIENT SOLAR PANEL COOLING SYSTEM

Я.Н. Старостенков
Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Ya. Starostentov
Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В статье проведена сравнительная характеристика методов охлаждения солнечной панели. Описан химический состав наножидкости. Смоделирована система охлаждения для наножидкости.*
Abstract*: The article presents a comparative characteristic of solar panel cooling methods. The chemical composition of the nanofluid is described. A cooling system for nanofluid has been modeled.*
Ключевые слова: *солнечная энергетика, система охлаждения, наножидкость, химический состав, эффективность.*
Keywords: *solar energy, cooling system, nanofluid, chemical composition, efficiency.*

Введение

Солнечные панели в период функционирования подвергаются различным внешним факторам. Основным фактором, приводящим к постепенному снижению КПД солнечной батареи и выгоранию фотоэлектрических ячеек является высокий показатель температуры летом. В связи с этим создаются системы охлаждения солнечных панелей. В основе данных систем лежат вещества определённого агрегатного состояния.

Основная часть

При проектировании системы охлаждения учитывается средняя температура жидкости или газа. Сравнительная характеристика средних температур для некоторых веществ-охладителей представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика средней рабочей температуры для некоторых типов систем охлаждения

Тип системы охлаждения	Средняя рабочая температура, °С
Воздушное	-71,0
Водяное	61,2
Наножидкостное	52

Наножидкость – это жидкость, содержащая наноразмерные частицы (<100 нм), обычно называемые наночастицами. Наночастицы, используемые в наножидкостях, обычно состоят из металлов, оксидов, карбидов или углеродных нанотрубок. Эти наночастицы диспергируются в базовой жидкости (например, в воде, масле и т.д.) с целью получения сконструированной коллоидной суспензии, т.е. наножидкости. Наножидкости демонстрируют улучшенные

теплофизические свойства, такие как теплопроводность, теплопроводность, вязкость и коэффициенты конвективной теплопередачи по сравнению со свойствами материала базовой жидкости.

Для эффективного поглощения тепла используются смеси жидкостного теплоносителя и наночастицы определённого радиуса и химического состава. Основными характеристиками для определения наножидкости как системы охлаждения являются коэффициент поглощения и реакция с жидкостным теплоносителем. На основе анализа наночастиц мною была составлена сравнительная характеристика наночастиц определённых веществ (табл. 2).

Таблица 2 – Сравнительная характеристика наножидкостей различным химическим составом при t=20°C

Химический состав наночастицы	**Теплопроводность,** Вт/м · К	**Удельная теплоёмкость,** Дж/кг · К
Золото	320	129
Нитрид титана	42,1	37,5
Полиэтиленгликоль+сульфат меди	0,249	2382
Оксид титана	21,9	0,527

Мною были подобраны следующие компоненты наножидкости: смесь полиэтиленгликоля и наночастиц сульфата меди радиусом 7 нм, поскольку данное вещество обладает наивысшим показателем удельной теплоёмкости, что позволяет поглотить максимальное количество излишней теплоты, выработавшейся в результате работы солнечной панели. Наночастицы смеси полиэтиленгликоля и сульфата меди представлены на рисунке 1.

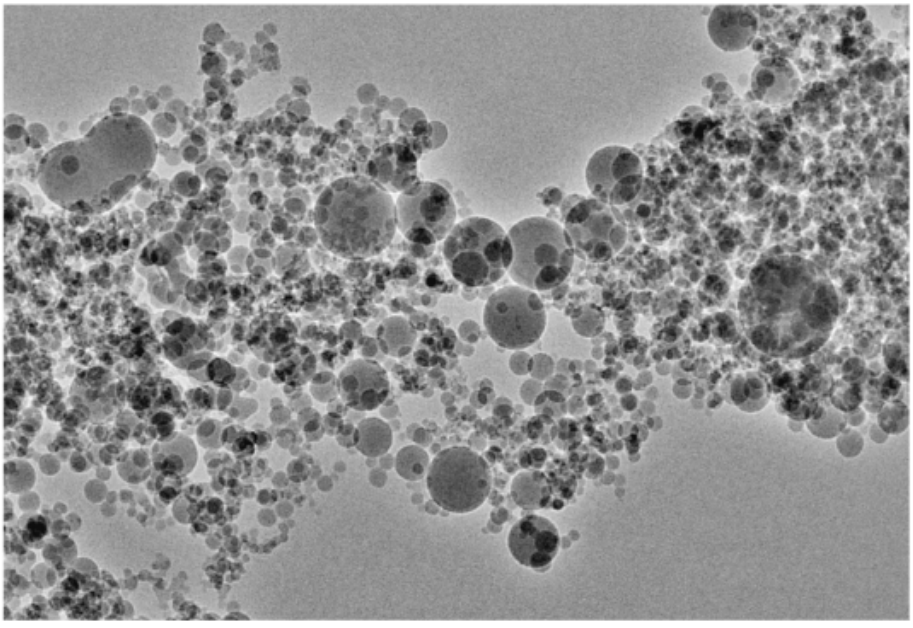


Рисунок 1 – Смесь полиэтиленгликоля и сульфата меди под электронным микроскопом

Система охлаждения с помощью наножидкости представляет собой прототип фотоэлектрического модуля с технологией охлаждения на основе оксида титана и наножидкостной кислоты.

Система охлаждения состоит из собранного зигзагообразного обратного канала, прикрепленного на задней стороне панели, по которому может протекать смесь оксида титана, полиэтиленгликоля и сульфата меди. Трубки потока

жидкости размещаются между задней стенкой модуля и изоляционным слоем трубки, и все они накладываются на основание канала. Нижняя сторона трубок имеет достаточную изоляцию, чтобы избежать потерь тепла (рис. 2).

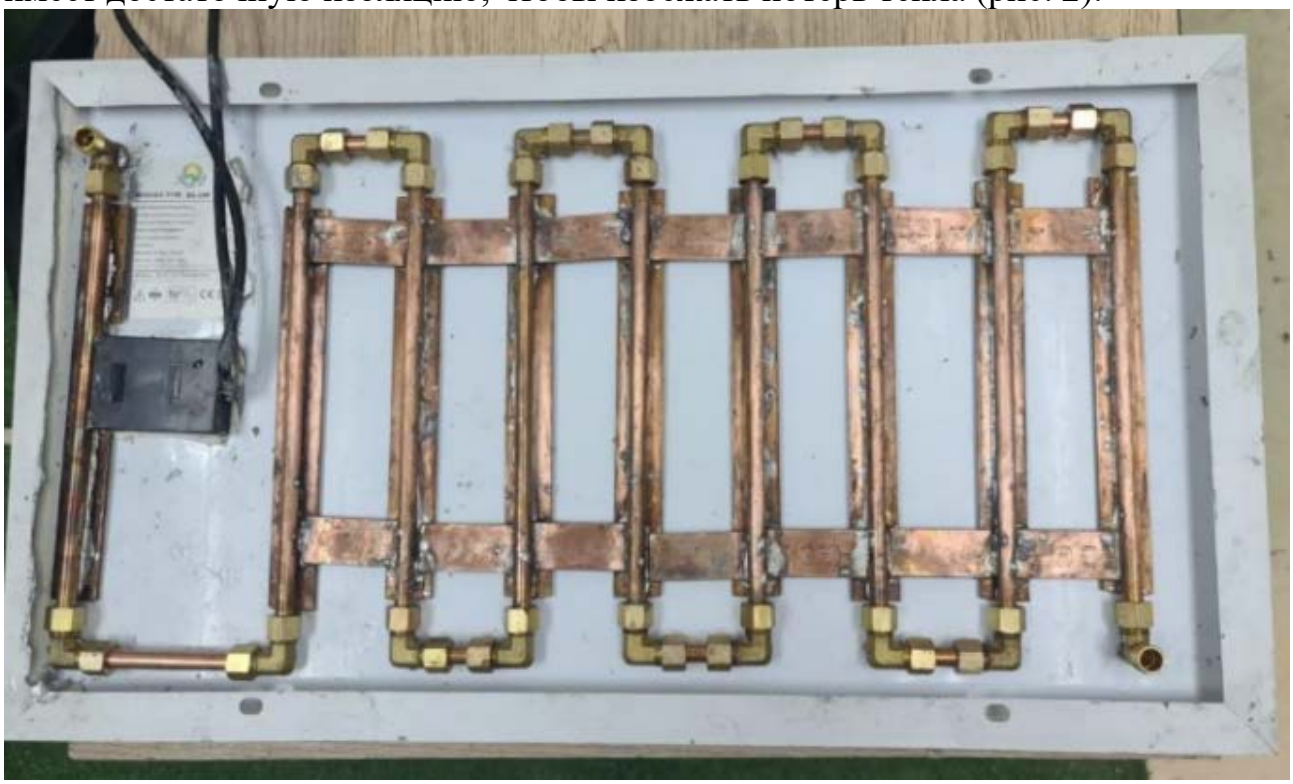


Рисунок 2 – Система охлаждения в виде зигзагообразного обратного канала

Участок канала, прикреплённого на задней стороне солнечной панели, был смоделирован в 3D-редакторе Autodesk Invertor 2024. Диаметр внутреннего пространства для прохода наножидкости составляет 7,5 мм, толщина медной стенки составляет 2,02 мм (рисунок 3).

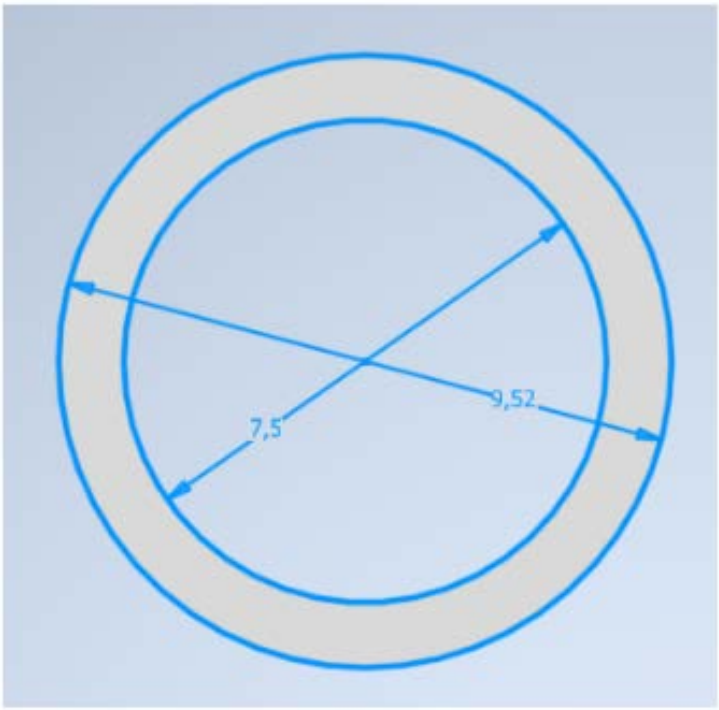


Рисунок 3 – Геометрические показатели смоделированного канала для прохода наножидкости

Для установки системы охлаждения была выбрана модель солнечной панели, которая обладает следующими характеристиками (табл. 3).

Таблица 3 – Технические характеристики выбранной модели солнечной панели

Параметр	Значение/определение
Материал-поглотитель	Монокристаллический кремний
Срок эксплуатации, лет	25
Номинальная рабочая температура	45
Мощность, Вт	30
Размеры, мм	640x360x254

В системе охлаждения используется система циркуляции охлаждающей наножидкости с материалом с фазовым переходом (PCM). Система может поглощать тепло от фотоэлектрических панелей и передавать его наножидкости, где оно может быть преобразовано в тепловую энергию. PCM может поглощать, накапливать и выделять большое количество скрытого тепла в определенных диапазонах температур. Они часто использовались на исследовательском уровне для охлаждения фотоэлектрических модулей и хранения тепла.

Рассмотрим принцип работы данной системы охлаждения. Рабочая жидкость из резервуара прокачивается насосом через PVT. Чтобы поддерживать стабильную температуру, рабочая жидкость отдает тепло от PVT, проходя через теплообменник, соединенный с блоком охлаждения.

При создании системы охлаждения были использованы контейнер из PCM, заполненный 2,75 кг нано- PCM, теплообменник и расширительный бак из PCM. Общая схема созданной системы показана на рисунке 4.

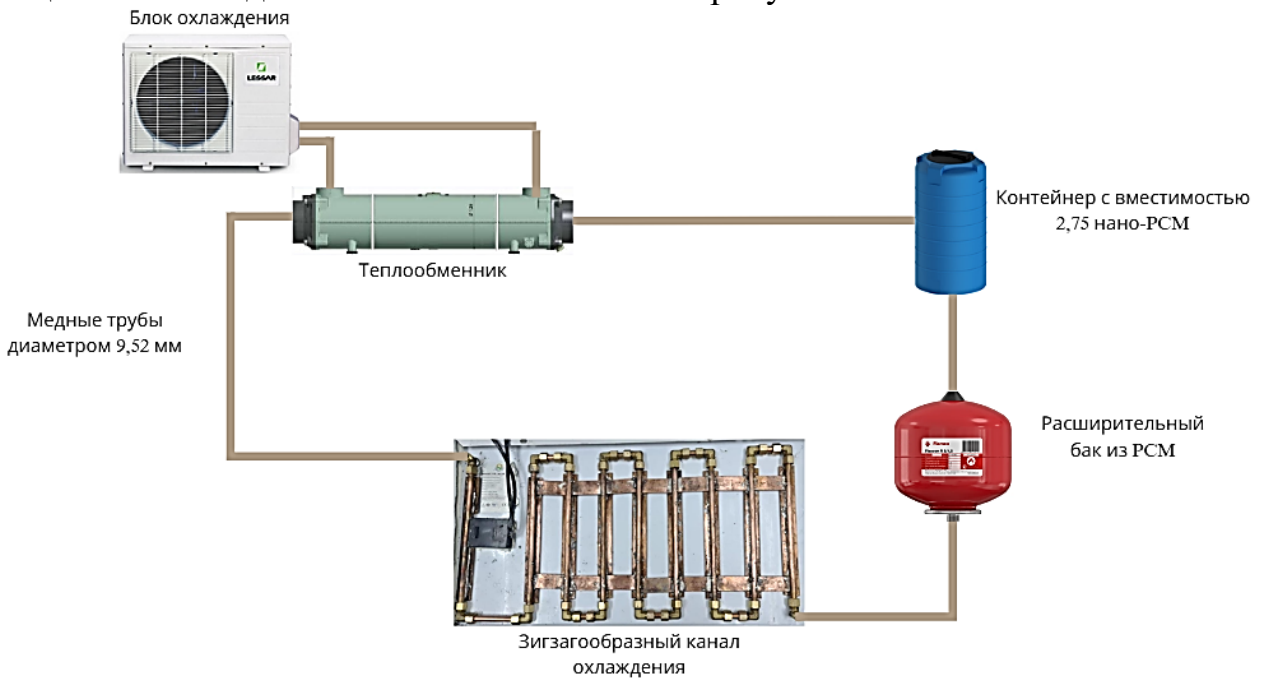


Рисунок 4 – Система наножидкостного охлаждения солнечной панели

Заключене

Таким образом, применение наножидкости в качестве вещества-охладителя открывает большие перспективы для увеличения срока эксплуатации и энергопроизводительности солнечной панели. Основными достоинствами такой системы охлаждения являются высокая способность поглощения выработавшегося тепла и возможность его использования для отопления. Недостатками являются сложный способ производства наножидкости и высокая стоимость модернизации самой системы охлаждения. Несмотря на это, предложенная схема охлаждения позволит увеличить энергоэффективность в 2,5 раза, что является одним из решений проблемы охлаждения солнечных панелей.

Литература

1. Петровская Т.А., Старостенков Я.Н. Efficient cooling systems for solar panels // Proceedings of the XLV International Multidisciplinary Conference «Prospects and Key Tendencies of Science in Contemporary World». Bubok Publishing S.L., Madrid, Spain. 2024.

2. Двиведи П., Судхакар К., Сони А., Соломин Е., Кирпичникова Я. Современные методы охлаждения фотоэлектрических модулей: современное состояние [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214157X19305416. – Дата доступа: 01.10.2024

3. A comparison of solar panel cooling technologies [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://www.tycorun.com/blogs/news/solar-panel-cooling?srsltid=AfmBOorQcXDcqMu5yN23nHIP9Pconpty0dVvJP_1ohtEL3cwqIt9O1HT. – Дата доступа: 01.10.2024

4. Сибирские ученые: свойства наножидкостей зависят от концентрации и состава наночастиц [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://www.sbras.info/articles/science/sibirskie-uchenye-svoistva-nanozhidkostei-zavisyat-ot-kontsentratsii-i-sostava-nano. Дата доступа: 03.10.2024

5. Эйдельман Е.Д., Вуль А.Я. Теплопроводность наножидкостей: влияние формы частиц [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/51617. – Дата доступа: 07.10.2024

6. Пустовалов В.К., Астафьева Л.Г. Спектральные свойства наножидкостей с однородными и двухслойными наночастицами для эффективного поглощения солнечного излучения / В. К. Пустовалов, Л. Г. Астафьева в журнале: Оптика и спектроскопия, 2017, том 123, № 1, с. 146–151. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/117793/146-151.pdf?sequence=1&isAllowed=y. – Дата доступа: 08.10.2024

УДК 621.383.4

УВЕЛИЧЕНИЕ КПД СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ НАНОАНТЕНН
INCREASING THE EFFICIENCY OF SOLAR PANELS USING NANOANTENNAS

Я.Н. Старостенков
Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Ya. Starostentov
Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация *В статье будут рассмотрено применение различных нанотехнологий для улучшения технических характеристик фотоэлектрических модулей, будут выявлены достоинства и недостатки внедрения нанотехнологий в солнечные панели.*
Abstract: *The article will consider the use of various nanotechnologies to improve the technical characteristics of photovoltaic modules, and will identify the advantages and disadvantages of introducing nanotechnologies into solar panels.*
Ключевые слова *солнечная энергетика, фотоэлектрические модули, нанотехнологии, технические характеристики, наноматериалы.*
Keywords*: solar energy, photovoltaic modules, nanotechnology, technical characteristics, nanomaterials.*

Введение

Приоритетным направлением в развитии солнечной энергетики является улучшение технических характеристик фотоэлектрических модулей. Одним из основных показателей, характеризующих солнечные панели, является КПД. На данный момент практический КПД большинства солнечных панелей составляет 22-25%, однако разрабатываются новые материалы для производства фотоэлектрических ячеек с целью повышения КПД. Актуальным вопросом является внедрение нанотехнологий в производство солнечных панелей. Наноматериалы производятся из различных сплавов. Проводится большое число экспериментов по поиску подходящих материалов и разработке оборудования по производству наноматериалов.

Основная часть

На данном этапе использования нанотехнологий в солнечной энергетике является внедрение наноантенн в состав фотоэлектрических модулей. Наноантенна, или ректенна, – это альтернативное устройство, предназначенное для преобразования энергии солнечного излучения в электрический ток. Устройство работает по типу выпрямления в оптическом и инфракрасном диапазонах длин волн.

На данный момент разработаны наноантенны для поглощения длин волн в диапазоне 3-15 мкм, что соответствуют энергии фотонов 0.08-0.4 эВ. На основе теории антенн оптическая ректенна способна эффективно поглотить свет любой

длины волны, причём параметры наноантенны должны быть оптимизированы под определённую длину волны.

Размеры наноантенны зависят от длины волн оптического диапазона (рис. 1). Длина нантенны прямо пропорциональна длине волны и не превышает 100 микрон. Ширина устройства составляет не более 100 нанометров [8].

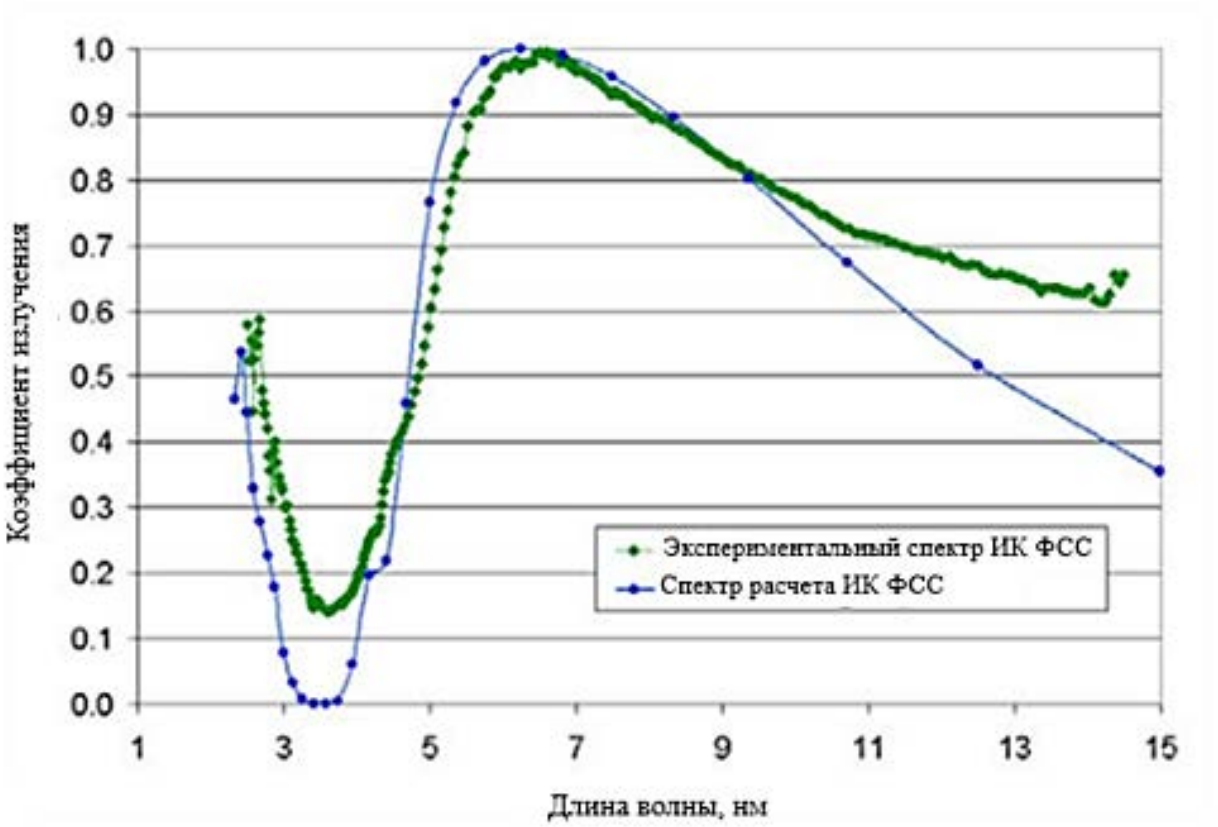


Рисунок 1 – Зависимость теоретического и практического излучения от длины волны

Наноантенна состоит из нескольких основных частей, таких как антенна, оптический резонатор, базовая плоскость (табл. 1).

Таблица 1 – Функции частей наноантенны

Часть наноантенны	**Функция**
Антенна	Поглощение электромагнитных волн
Базовая плоскость	Отражение света по направлению к антенне Отклонение и концентрация света по направлению к антенне
Оптический резонатор	Отклонение и концентрация света по направлению к антенне

Рассмотрим теорию наноантенн. Свет, который падает на антенну, вызывает колебания электронов, движущихся по схеме направления вперёд-назад с той же частотой, что и входящий поток света (рисунок 2). Этот процесс связан с колебаниями электрического поля входящей электромагнитной волны. Движение электронов создаёт переменный ток в цепи нантенны. Для преобразования переменного тока в постоянный необходимо произвести его детектирование, обычно выполняющееся с помощью выпрямительного диода.

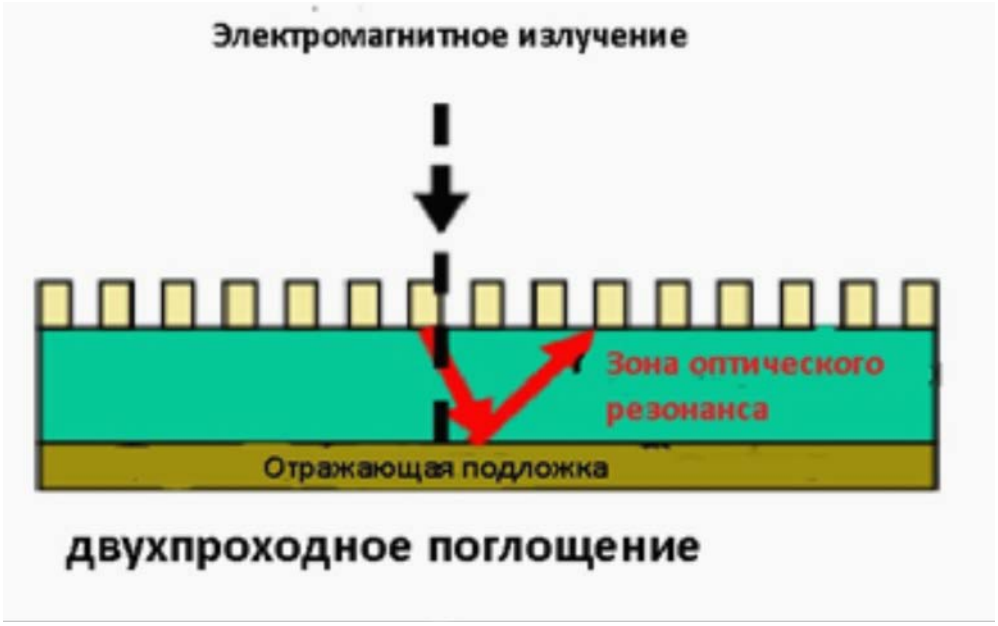


Рисунок 2 – Схема поглощения солнечного излучения наноантеннами

Для наноантенн используют массивы вертикально ориентированных нанотрубок из графена. Процесс производства графеновых наноантенн дорогой и длительный. Поскольку параметры оптических ректенн прямо пропорциональны длине волны, то для производства необходима настройка размеров наноантенны. Для производства ряда наноантенн нужно настроить антенну под определенную длину волны. Большое влияние на использование графеновых наноантенн имеют и характеристики электромагнитных колебаний. Для видимого света частота характеризуется значениями в терагерцах, что почти в миллион раз выше, чем частота радиоволн. Для преобразования подобных колебаний в постоянный ток необходимы диоды, выполненные по иной технологии и размеры которых должны быть сопоставимы с параметрами оптических ректенн.

Можно выделить следующие преимущества внедрения наноантенн в фотоэлектрические модули:

- высокий теоретический КПД, достигающий 92%;
- увеличение практического КПД до 80%;
- уменьшение срока окупаемости преобразованной солнечной электростанции;
- относительная дешевизна наноантенного массива площадью 1 м2 по сравнению с кремниевой панелью;
- относительно низкие затраты дорогостоящих металлов на производство матрицы;
- относительно простая разработка матрицы наноантенн, рассчитанных на произвольную частоту света.

Недостатками использования наноантенн являются:

- ограничение частоты работы наноантенн;
- медленный и дорогой процесс производства;
- необходимость использования дополнительных диодов для

преобразования видимого света в электромагнитные волны.

Заключение

Таким образом, использование нанотехнологий позволит намного увеличить КПД фотоэлектрических модулей несмотря на внешние факторы, влияющие на работу солнечной панели. Сам процесс производства наноантенн дорогой и медленный, так как требует разработку матрицы и настройку антенны под определённую длину волны, но за счёт создания большого количества оптических ректенн стоимость готового материала ниже стоимости кремниевых солнечных панелей, что выгодно для выработки большего объёма электроэнергии и большого количества электростанций. Технология применения наноантенн будет развиваться дальше в целях снижения воздействия внешних факторов и улучшения технических характеристик солнечных панелей.

Литература

1. Андреев В.М. Нанотехнологии для солнечной энергетики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://cyberleninka.ru/article/n/nanotehnologii-dlya-solnechnoy-fotoenergetiki/viewer. Дата доступа: 30.09.2024

2. Чеботарев С.Н., Пащенко А.С. Исследование фототока в солнечных элементах на гетероструктурах с массивом квантовых точек [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-fototoka-v-solnechnyh-elementah-na-geterostrukturah-s-massivom-kvantovyh-tochek/viewer. Дата доступа: 29.09.2024

3. Блохин С.А., Сахаров А.В., Надточий А.М., Паюсов А.С., Максимов М.В., Леденцов Н.Н., Ковш А.Р., Михрин С.С., Лантратов В.М., Минтаиров С.А., Калюжный Н.А., Шварц М.З. Фотоэлектрические преобразователи AlGaAs/GaAs с массивом квантовых точек InGaAs [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/6822. Дата доступа: 29.09.2024

4. Наноантенны - устройство, применение, перспективы использования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://electrik.info/main/news/1120-nanoantenny-ustroystvo-primenenie.html. Дата доступа: 28.09.2024

УДК 621.311.243

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ
INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS ON SOLAR PANEL PERFORMANCE

Я.Н. Старостенков
Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Ya. Starostentov
Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В статье создана классификация факторов, оказывающих влияние на производительность солнечных панелей. Для каждого фактора приводится описание и влияние на работоспособность солнечной панели.*
Annotation: *The article creates a classification of factors that influence the performance of solar panels. For each factor, a description and impact on the performance of the solar panel is provided.*
Ключевые слова: *солнечная энергетика, факторы, влияние, энергоэффективность.*
Key words*: solar energy, factors, influence, energy efficiency.*

Введение

Существует большое количество факторов, влияющих на энергоэффективность солнечных панелей. Некоторые из них незначительно влияют на производительность, и, как правило, ими можно пренебречь. Другие же факторы могут оказывать большое влияние на энергоэффективность, срок использования и другие показатели технических характеристик солнечной панели.

Основная часть

Опираясь на проанализированные материалы, мною было выделено несколько типов факторов, влияющих на технические характеристики солнечных панелей. Подбор определённого типа основывался на природе факторов и степени влияния на энергоэффективность.

Географические факторы.

Географические факторы представляют собой описание территории расположения солнечной электростанции. Основными характеристиками территории являются как экологические, так и метеорологические факторы. В данную категорию входят следующие факторы:

– Рельеф. Рельеф имеет большое значение в расположении солнечных панелей. По подсчётам учёных, наиболее эффективно размещать солнечные панели на равнинной местности, при этом высота над уровнем моря имеет незначительное влияние на технические характеристики СП. Главное в размещении СП в данном случае, это прямой доступ к солнечному излучению. Иными словами, необходимо полное отсутствие

затенения для эффективной работы СЭС. Равнинная территория с небольшими перепадами высот позволяет снизить риск затенения, в то время как в горной местности фактор затенения высок;

– Угол падения солнечных лучей – это угол между горизонтом и солнцем. Данный показатель характеризует степень нагревания почвы в различных климатических зонах. В то же время показатель активно учитывается при размещении солнечной электростанции и настройки ориентации ручным способом или с помощью трекера. Установлена зависимость между углом падения, температурой и энергоэффективностью СБ. Чем ближе местность к экватору, тем выше температура. При этом эффективность СП может как увеличиваться, так и уменьшаться, поскольку температура также влияет на её функционирование. Этим и объясняются небольшие различия между показателями КПД различных типов СЭС. Одним из условий, повышающих энергоэффективность, является внедрение термоустойчивых материалов и современных охладительных систем, что требует больших финансовых затрат.;
– Высота солнца над горизонтом. По мере увеличения высоты солнца над горизонтом угол падения солнечных лучей увеличивается, возрастает температура и становится выше вероятность попадания большего количества фотонов в фотоэлектрический модуль.

Метеорологические факторы.

Метеорологические факторы включают в себя совокупность метеорологических элементов и климатических условий на определённой территории. Обычно, на производительность солнечных панелей влияет несколько метеорологических факторов. Очень тесно с ними связаны и факторы расположения солнечных электростанций. Метеорологические факторы учитываются при строительстве солнечной электростанции, а также при расчётах практического КПД, мощности и других технических характеристик солнечной батареи на определённой территории.

В данную категорию входят следующие факторы:

– Температура. Показатели температуры влияют на солнечные панели. Поскольку значения температур по мере приближения к экватору увеличиваются, то, соответственно, энергоэффективность солнечной батареи снижается. Высокие температуры приводят к выгоранию фотоэлектрических ячеек и снижению срока эксплуатации солнечной электростанции (рис. 1). В регионах, где среднегодовые температуры достаточно высоки, солнечные электростанции строятся с усиленными системами охлаждения. Как правило, КПД таких солнечных электростанций колеблется от 25 до 33%. Например, в пустынях располагаются СЭС башенного типа;

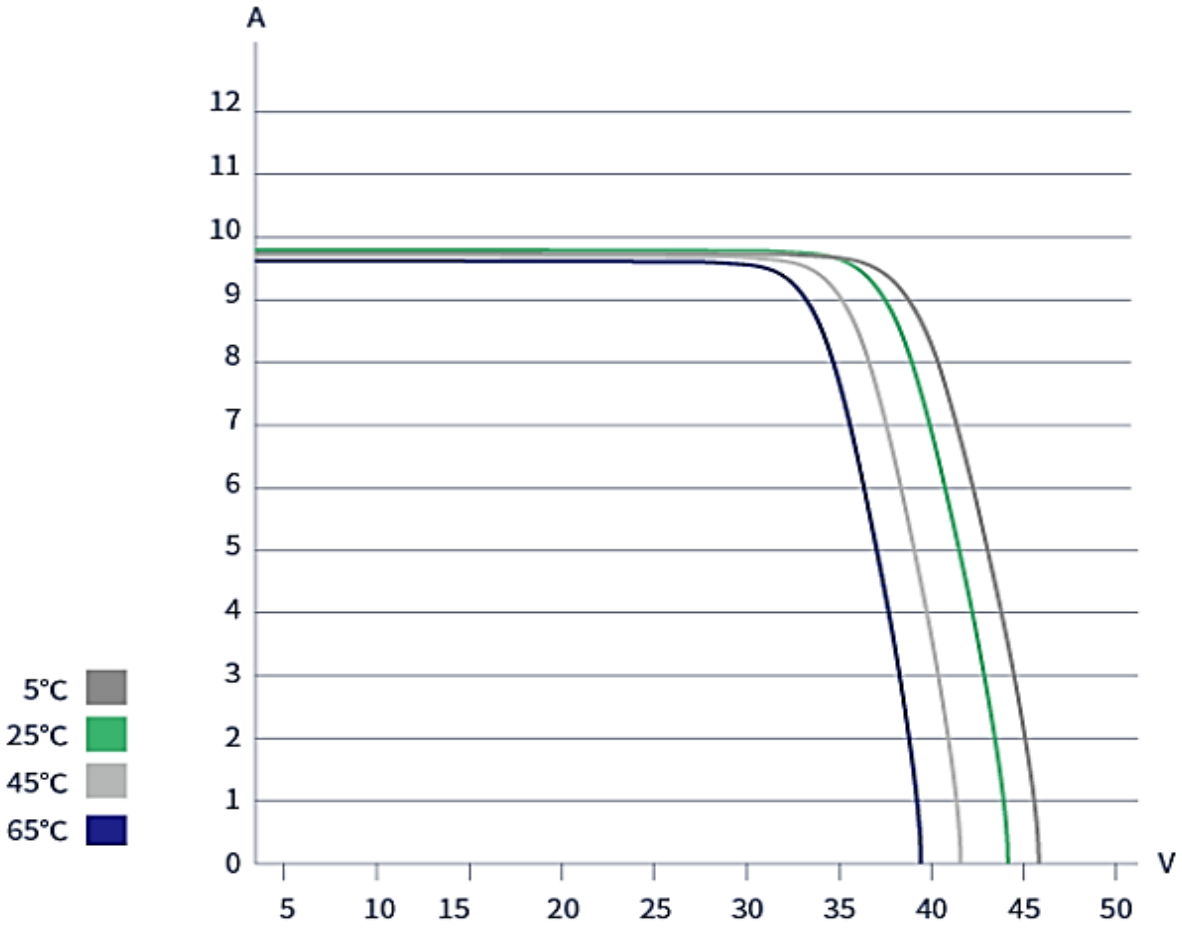


Рисунок 1 – Зависимость вольт-амперной характеристики солнечной панели от значений температур

– Облачность. Объём солнечного излучения, поступающего на поверхность Земли, по значению существенно отличается от объёма солнечного света в ясные дни. В пасмурные дни интенсивность солнечного света снижается в зависимости от степени облачности. В сильно облачные дни интенсивность может уменьшиться до 100-200 Вт/м², что примерно в 5-10 раз меньше, чем в ясные дни. Эти приблизительные значения и могут варьироваться в зависимости от множества факторов, включая географическое положение, тип облачности и другие атмосферные условия;
– Осадки. Осадки могут как уменьшить КПД солнечной панели, преломляя солнечный свет, так и принести физический ущерб солнечной панели. Например, интенсивность града может повредить защитное стекло либо раму солнечной панели. В результате КПД солнечной батареи снижается примерно на 5%. Дождь и снег создают поле большего преломления солнечного света. Энергоэффективность снижается примерно на 10-15%;
– Прочие метеорологические явления (молния, ветер). Каждое метеорологическое явление по-разному влияет на производительность солнечных панелей. В основном такое явление является угрозой для солнечной батареи, поскольку при его интенсивности может произойти перегрузка технических показателей (ветровая или снеговая нагрузка),

что может привести к поломке солнечной системы.

Производственно-внутрисистемные факторы.

Производственно-внутрисистемные факторы включают себя технические характеристики солнечной панели, которые ограничивают или усиливают энергоэффективность продукции, и показатели нагрузки солнечных панелей в условиях испытания. Необходимые показатели, такие как выходная мощность, напряжение модулей, количество фотоэлектрических ячеек, срок эксплуатации и другие указаны в специальных производственных характеристиках. Рассмотрим основные технические характеристики, которые могут повлиять на энергоэффективность солнечной панели:

- Максимальное напряжение точки питания (V_{mpp}) – напряжение, при котором достигается максимальная мощность СП (P_{max}). Обычно он указан в спецификации солнечной панели. Показатель зависит в основном от температуры и резко падает при определенном температурном пороге.
- Максимальный ток точки питания (I_{mpp}) – это ток, при котором достигается максимальная мощность P_{max}. Обычно он указан в спецификации солнечной панели.
- Напряжение холостого хода (V_{oc}) является напряжением без нагрузки. Измеряется в вольт (В). Представляет собой максимальное напряжение и используется для определения конфигурации солнечной батареи для количества панелей, подключенных последовательно к инвертору или контроллеру заряда. Важно не допустить перенапряжения, которое может повредить оборудование.
- Ток короткого замыкания (I_{sc}) – ток в режиме холостого хода. Он представляет собой максимальный ток, когда короткое замыкание происходит при соединении положительного и отрицательного выводов провода. Это важно с точки зрения безопасности и обеспечения потребностей в защитных устройствах, таких как предохранители или выключатели ().
- Ветровая нагрузка, также известная как максимальная статическая нагрузка на спину, обозначает силу ветра, которую может выдержать панель. Показатель измеряется в паскалях (Па). Сила ветра пропорциональна скорости ветра. В случае экстремальных погодных условий монтаж панели потребует особого внимания, чтобы гарантировать надежность системы.
- Снеговая нагрузка (максимальная статическая нагрузка спереди), относится к давлению статического веса снега, которое может выдержать панель. Измеряется в паскалях (Па). Для местности с сильным снегопадом рекомендуется использовать более прочную панель, чтобы ее было сложнее сломать.

Антропогенные факторы.

Антропогенные факторы также влияют на энергоэффективность СБ. В большинстве случаев антропогенные факторы могут быть минимизированы,

если происходит частая уборка солнечной панели (мойка защитного покрытия и чистка от осадков (снега) и опавшей листвы, пыли), монтаж и осмотр СЭС (замена износившихся частей, проверка напряжения, мощности). Обеспечивая постоянный уход за солнечной электростанцией, человек минимизирует факторы поломки или загрязнения, тем самым продлевая срок эксплуатации и повышая энергетическую эффективность модуля. Рассмотрим следующие антропогенные факторы:

- частота уборки и очистки солнечной панели (рисунок 2) от осадков (снега, дождя) и заслонения посторонними предметами (опавшей листвы, пыли);
- частота осмотра и монтажа солнечной панели;
- своевременная замена повреждённых деталей.



Рисунок 2 – Очистка солнечной панели с помощью робота

Заключение

Таким образом, существуют различные факторы, которые оказывают влияние на энергоэффективность солнечных фотомодулей. Данные факторы учитываются при проектировании солнечной электростанции. Также имеется возможность снизить влияние факторов за счёт осмотра и своевременного ремонта оборудования. При этом метеорологические и географические факторы

будут влиять на энергоэффективность, поскольку вследствие гравитационных и земных процессов показатели климатических характеристик меняются.

Литература

1. Дизендорф А. В., Усков А. Е. Перспективы возобновляемой энергетики. – М.: Наука, 2015. – 229 с.

2. Петровская Т.А., Старостенков Я. Н. Повышение КПД солнечных панелей // Лучшие студенческие исследования: материалы XI Международного научно-исследовательского конкурса. Пенза, 2024. С. 31-34.

3. Тестирование параметров солнечных батарей [Электронный ресурс]. – https://www.solarhome.ru/basics/solar/pv/ptc-conditions.htm. – Дата доступа: 25.09.2024.

4. Факторы, влияющие на производительность солнечных батарей [Электронный ресурс]. – https://7universum.com/ru/tech/archive/item/14260. Дата доступа: 27.09.2024

5. 7 factors that affect the performance of your solar system [Электронный ресурс]. – https://www.hoymiles.com/resources/blog/7-factors-that-affect-the-performance-of-your-solar-system. Дата доступа: 27.09.2024

6. Исмагилов Ф.Р., Вавилов В. Е., Нургалиева Р.А. Система очистки солнечных панелей. – М: Вестник УГАТУ, 2017. – С.61 – 65.

7. Factors affecting Solar energy production [Электронный ресурс]. – https://www.linkedin.com/pulse/factors-affecting-solar-energy-production. – Дата доступа: 28.09.2024

УДК 62-404.1

СЖИЖЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ ГАЗ
LIQUEFIED NATURAL GAS

П.А. Ратомский, К.С. Станиславчик, А.Е. Федотов
Научный руководитель – П.П. Храмцов, д.ф.-м.н.
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
P. Ratomsky, K. Stanislavchik, A. Fedotov
Supervisor – P. Chramtsov, Doctor of Physical and Mathematical Sciences
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье рассматриваются преимущества сжиженного природного газа, а также его некоторые параметры.*
Abstract: *This article discusses the advantages of Liquefied Natural Gas and some of its parameters.*
Ключевые слова: *СПГ, сжиженный природный газ, регазификация, преимущества СПГ.*
Keywords: *LNG, liquefied natural gas, regasification, LNG benefits.*

Введение

Сжиженный природный газ (СПГ) в качестве топлива для промышленных, а также бытовых потребителей занимает все большую часть в энергетическо-топливном комплексе. Основные преимущества сжиженного природного газа − это экологичность и организация топливных технологий без прокладки газопроводов и их эксплуатации.[1]

Основная часть

Сжиженный природный газ (СПГ) − это природный газ, который искусственно сжижают через охлаждение до -160°С, таким образом устраняя проблемы транспортировки и хранения, а также данный процесс дает возможность создания топливного резерва.

СПГ представляет собой жидкость, которая не имеет цвета и запаха, а ее плотность в 2 раза меньше, чем плотность воды. Газ состоит из метана на 75-99%, а его температура кипения составляет 158…−163°С. Природный газ в жидком состоянии не токсичен и не горюч. При использовании сжиженный газ требуется вернуть в исходное газообразное состояние, то есть регазифицировать. При сжигании паров образуется водяной пар и углекислый газ.

По данным [2] при переводе 1 тонны СПГ получается около 1,38 тысяч $м^3$ природного газа после процесса регазификации, но стоит принять во внимание, что плотность и состав газа в разных месторождениях разная. При переводе 1 $м^3$ сжиженного природного газа получаем около 600 $м^3$ природного газа в исходном состоянии, в этом одно из его преимуществ.

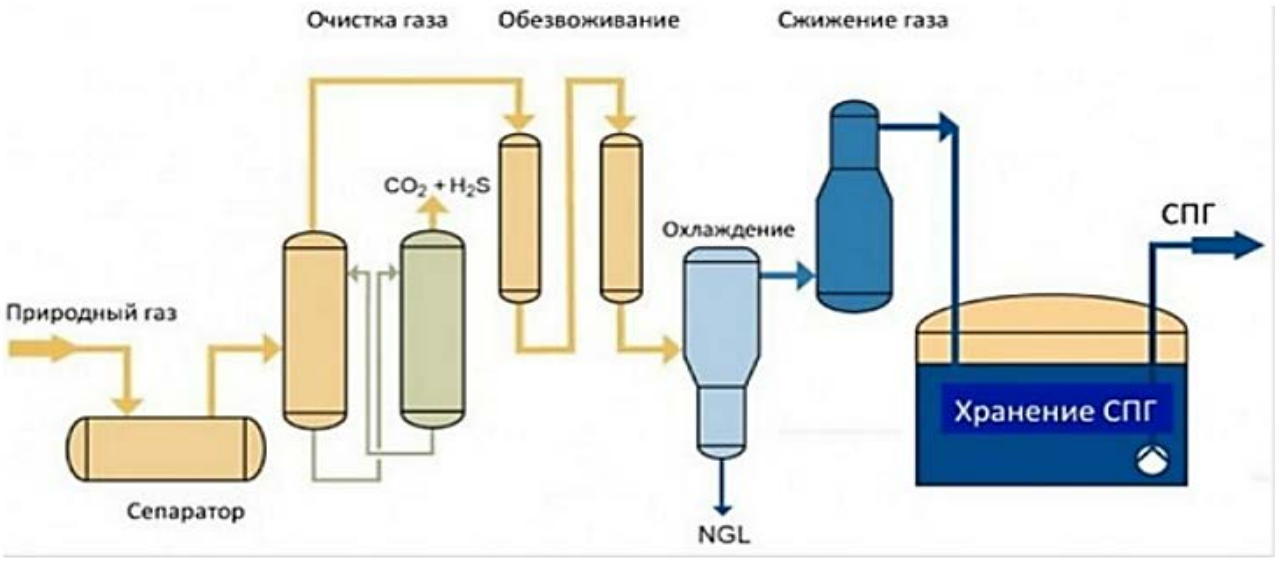


Рисунок 1 – Процесс сжижения СПГ[2]

Процесс сжижения природного газа делят на ступени, в каждой из которых он сжимается в 5-12 раз, после этого газ охлаждается и передается на следующую ступень. Сам процесс сжижения происходит при охлаждении природного газа после последней ступени сжатия (рисунок 1). Немалого расхода энергии требует процесс сжижения, вплоть до 25% от ее количества, которое содержится в сжиженном природном газе.

Существует некоторое количество установок для сжижения природного газа, которые работают по циклам с различными рабочими телами. Одним из наиболее эффективных циклов является цикл с азотом в виде рабочего тела.[2]

Заключение

Таким образом, стоит обратить внимание на сжиженный природный газ, в качестве топлива для промышленных и бытовых потребителей. Он имеет ряд преимуществ в виде транспортировки и эксплуатации, а также экологичности.

Литература

1. Экология, энергетика, энергосбережение: бюллетень / под редакцией академика РАН А.В. Клименко. – Москва : ПАО «Мосэнерго», 2023.

2. Сжиженный природный газ (СПГ), технологии сжижения [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://neftegaz.ru/tech-library/energoresursy-toplivo/141460-szhizhennyy-prirodnyy-gaz-spg-tekhnologii-szhizheniya/. – Дата доступа 16.10.2024.

УДК 621.181.25

ВНЕДРЕНИЕ ЭЛЕКТРОКОТЛОВ В СИСТЕМУ ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
INTRODUCTION OF ELECTRIC BOILERS INTO THE ENERGY SYSTEM OF THE REPUBLIC OF BELARUS

В.Н. Санько, Д.А. Махонько
Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
V. Sanko, D. Makhonko
Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье рассматривается внедрение электрокотлов в энергосистему Беларуси, после начала работы атомной электростанции, а также описываются их преимущества.*
Abstract: *This article discusses the introduction of electric boilers into the Belarusian energy system after the start of operation of a nuclear power plant, as well as describes their advantages.*
Ключевые слова*: электрокотел, теплоснабжение, аккумулирование энергии, экология.*
Keywords*: electric boiler, heat supply, energy storage, ecology.*

Введение

В наши дни в большинство государств с высоким уровнем развития все чаще стремятся прибегнуть к альтернативным источникам энергии, т.е. отказаться от эксплуатации твердых источников топлива, таких как уголь, который является не экологичным. С одной стороны альтернативные источники энергии (ветряки, солнечные батареи и т.д.) являются экологичными, но с другой стороны они не постоянны, т.е. зависят от погодных условий и времени суток, они так же не способны производить энергию в больших количествах и из-за этих двух факторов не могут обеспечить требуемую нагрузку энергопотребления. Поэтому стоит прибегнуть к другим способам аккумулирования энергии. Такая же проблема существует в государствах, в которых есть атомная электростанция и которым необходимо постоянно аккумулировать энергию для обеспечения непрерывной работы атомной электростанции в требуемом режиме, а также выравнивание суточного графика потребления электрической энергии. Такую же цель поставила себе наша страна, из-за ввода в работу первого энергоблока атомной электростанции.

Основная часть

Есть множество различных направлений в области технологий аккумулирования электроэнергии, таких как аккумуляторные батареи, все из них находятся на разных эпохах развития.

На сегодняшний день есть две приоритетных установки – тепловые насосы и электрокотлы. С точки зрения энергетики, эксплуатация тепловых насосов более привлекательна, так как их можно использовать в качестве базового

источник тепла, работающ долговременно на большой мощности, которую установили наладчики. Однако с экономической стороны эксплуатация электрокотлов на много выгоднее. [1]

В нашей стране предполагается масштабное использование электрокотлов вместе с баками-аккумуляторами, где будет храниться сетевая вода. Электрокотлы планируют поставить на ТЭЦ для увеличения их диапазона регулирования, а также на мини-ТЭЦ для использования электроэнергии в системах отопления и горячего водоснабжения. Общий объем электрокотлов, которые необходимы к установке на ТЭЦ и котельных, по данным «Белэнерго», оценивается значением до 986 МВт.[1]

По данным от «Белэнерго», в настоящее время на пяти предприятиях энергосистемы проводится внедрение водогрейных электрокотлов, включая Могилевскую ТЭЦ-2 и Бобруйскую ТЭЦ-2. ОАО «Белэнергоремналадка» выполняет установку электрокотлов в качестве субподрядной организации. На ТЭЦ уже имеются такие устройства, как электрокотлы, насосы и контрольно-измерительные приборы, проводятся ремонтные работы, осуществляется подключение всех приборов к технологическим трубопроводом. «Белэнерго» так же отметили, что водогрейные электрокотлы используются для производства тепла в период низкой загрузки турбин типа ТП на ТЭЦ.[3]

Первый проект по установке электрокотлов в Белорусской энергосистеме был реализован на Гомельской ТЭЦ-2. В июле 2016 года были успешно запущены в эксплуатацию два электродных водогрейных котла типа ZVP-2840 с номинальной мощностью 40 МВт каждый. Обеспечить гибкость работы ТЭЦ в период ночного снижения электропотребления при вводе в эксплуатацию БелАЭС позволит применение водогрейных котлов на Гомельской ТЭЦ-2, а так же увеличит производство электроэнергии на АЭС за счет сокращения отпуска электроэнергии от Гомельской ТЭЦ-2 в периоды ночной минимальной нагрузки электросистемы.[2]

Заключение

В заключение, промышленные электрокотлы являются ценным оборудованием для различных производственных процессов. Они не требуют дорогостоящего и частого обслуживания, экологически безвредны и безопасны, не нуждаются в сооружения дымохода и системы отвода продуктов сгорания. Электрокотлы легко интегрируются в любые системы автоматизации. Это оборудование позволяет точно контролировать температуру теплоносителя, может использоваться в технологических линиях и решает проблему резервного или аварийного теплоснабжения. Электрокотлы представляют отличную альтернативу традиционным системам сжигания.

Литература

1. Применение электрокотлов в системах теплоснабжения // [Электронный ресурс] – Режим доступа https://aquaecology.group/primenenie-elektrokotlov-v-sistemah-teplosnabzheniya-vzglyad-professionalov/ – Дата доступа: 05.04.2024

2. Промышленный электрокотел // [Электронный ресурс] – Режим доступа https://www.makeboiler.com/ru/industrial-electric-boiler/. – Дата доступа: 05.04.2024

3. Введение электрокотлов на ТЭЦ // [Электронный ресурс] – Режим доступа https://mogilevnews.by/news/29-01-2020-08-57/62112/. – Дата доступа: 05.04.2024

УДК 66.045.12

ТОНКОСТЕННЫЙ ТЕПЛООБМЕННЫЙ АППАРАТ ИНТЕНСИФИЦИРОВАННЫЙ
THIN-WALLED HEAT EXCHANGE APPARATUS INTENSIFIED

Д.Д. Ксенжик, Д.А. Бортник, А.А. Бортник
Научный руководитель – В.В. Янчук, ассистент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
D. Ksenzhyk, D. Bortnik, A. Bortnik
Supervisor – V. Yanchuk, Assistant
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье рассматриваются преимущества и недостатки кожухотрубчатого теплообменника типа ТТАИ в сравнении с другими типами кожухотрубчатых теплообменников.*
Abstract: *This article describes the advantages and disadvantages of the TTAI tubular type heat exchanger compared to other types of heat exchangers.*
Ключевые слова: *теплообменный аппарат, кожухотрубчатый теплообменник.*
Key words: *heat exchanger, shell and tube heat exchanger.*

Введение

Теплообменник – техническое устройство, в котором осуществляется теплообмен между двумя средами имеющие разные температуры. Теплообменники используются в различных сферах, таких как энергетика, машиностроение, химическая промышленность, пищевая промышленность, энергетика, для отопления частных домов и в тепловых пунктах.

Основная часть

Тонкостенный теплообменный аппарат интенсифицированный (ТТАИ) – тип кожухотрубчатого теплообменника. Используется для теплопередачи в большинстве промышленных отраслей. ТТАИ позволяют, за относительно небольшую стоимость, обеспечить успешную работу тепловых пунктов, промышленных предприятий и котельных.

Как было сказано выше ТТАИ это кожухоктрубчатый теплообменник. Но есть некоторые отличия. В обычном кожухорубчатом теплообменнике наружный диаметр теплообменных трубок составляет 16 мм, в ТТАИ наружный диаметр трубок составляет 8 мм [2]. В ТТАИ используются тонкостенные теплообменные трубки, для примера толщина стенки трубки обычного кожухотрубчатого теплообменника составляет 1 мм, а в обозреваемом составляет лишь 0,3–0,4 мм [2]. Совокупность малого диаметра и низкой толщины стенок обеспечивает турбулизацию потока слоя жидкости и приводит к эффекту самоотчистки.

ТТАИ представляет собой разборный теплообменный аппарат. Данный теплообменник обладает хорошим уплотнением, которое выполнено с помощью резинового кольца.

В сравнении с обычным кожухотрубчатым теплообменником масса ТТАИ в разы легче. Например, масса теплообменников типа ТН ТК составляет от 135

до 20000 кг [3], по сравнению с ними ТТАИ имеет массу от 1–200 кг [4]. На этом отличия не заканчиваются. Еще одним важным отличием, а скорее преимуществом, являются габариты. ТТАИ занимает 3–5 раз меньший объём, чем его кожухотрубчатые аналоги. Это позволяет устанавливать его в местах с малой площадью, размещать вдоль стен, располагать просто как элемент трубопровода в пучке труб поэтому они не требуют для своего крепления иных опор, а просто можно использовать штатные путевые крепления трубопровода. Малые габариты и достаточная легкость облегчают установку и уменьшают зону обслуживания.

Корпус и трубки ТТАИ изготавливаются из нержавеющей стали или титана, поэтому данный тип более устойчив к коррозии, что увеличивает его продолжительность работы.

Трубки теплообменника собраны в пучок. Корпус устройства имеет несколько особенностей, среди которых плавающие трубные решетки, что позволяет довольно легко разобрать устройство и устранить ограничения на подачу холодной и горячей среды в любую полость. Удобно собранные в пучок трубки и конструкция, позволяющая достаточно просто разобрать ТТАИ, облегчают техническое обслуживание теплообменника.

Еще одним преимуществом теплообменников ТТАИ является малая тепловая инерция, почти всегда находящаяся в пределах одной минуты. Такая низкая тепловая инерция обусловлена малой металлоемкостью аппарата, высокой скоростью движения рабочих сред и небольшим количеством этих сред в аппарате.

ТТАИ способны выдерживать сложные условия использования: температуру до 300˚С и давления до 16 бар. При этом максимальный расход воздуха теплообменника составляет 250 $м^3$/ч [1].

Заключение

ТТАИ в большинстве задач оказывается дешевле кожухотрубчатых аналогов и в несколько раз эффективнее пластинчатых. Важной причиной в эффективности является то, что в процессе использования пластинчатых теплообменников периодически выходят из строя уплотнительные прокладки, что сильно влияет на экономичность аппарата ведь их стоимость может составлять 20–30% стоимости всего аппарата.

Литература

1. Общая информация о ТТАИ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ateks38.ru/about-ttai – Дата доступа: 22.10.2024.

2. Рекомендации по применению теплообменников ТТАИ в тепловых пунктах жилых и общественных зданий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.elecom-ural.ru/stati/rekomendatsii-po-primeneniyu-teploobmennikov-ttai-v-teplovyh-punktah-zhilyh-i-obshestvennyh-zdaniy.html#:~:text=Аппараты%20ТТАИ%20–%20это%20разборные%20теплообменники,125%2C%20150%20и%20200%20мм – Дата доступа: 22.10.2024.

3. Кожухотрубчатые теплообменники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.npommz.ru/kozhukhotrubnye-teploobmenniki – Дата доступа: 22. 10.2024.

4. Интенсифицированные теплообменные аппараты ТТАИ для энергетики и промышленности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.elecom-ural.ru/stati/intensifitsirovannye-teploobmennye-apparaty-ttaio-dlya-energetiki-i-promyshlennosti.html – Дата доступа: 20.10.2024.

5. Сравнение с аппаратами других типов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ttai.ru/catalog/Teploobmennye-apparaty-TTAI/Sravnenie-s-plastinchatymi/ – Дата доступа: 22.10.2024.

6. Теплообменники ТТАИ: особенности и применение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://st-u.ru/blog/teploobmenniki-ttai.html. – Дата доступа: 22.10.2024.

7. Теплообменники типа ТТАИ: особенности и применение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://st-u.ru/blog/tonkostennye-teploobmennye-apparaty-intensificirovannye.html. – Дата доступа: 22.10.2024.

8. Кожухотрубчатый теплообменный аппарат ТТАИ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.rusinzh.ru/product/ttai/. – Дата доступа: 22.10.2024

УДК 621.311

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАКРЫТЫХ КАРЬЕРОВ ДЛЯ ГИДРОАККУМУЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ
USE OF CLOSED QUARRIES FOR HYDRO STORAGE OF ELECTRIC ENERGY

А.А. Мильяненко, Н.Е. Чирич
Научный руководитель – Т. А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Milyanenko, N.Chirich
Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer,
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной работе рассмотрено применение закрытых карьеров вместо новых водохранилищ для постройки гидроаккумулирующей электростанции, рассмотрены различные места для постройки данного объекта на территории Республики Беларусь. В практической части произведен ряд расчётов различных характеристик ГАЭС, созданы калькулятор и сайт по данной теме.*

Abstract: *This paper examines the use of closed quarries instead of new reservoirs for the construction of a pumped storage power station and considers various places for the construction of this facility on the territory of the Republic of Belarus. In the practical part, a number of calculations of various characteristics of pumped storage power plants were made, a calculator and a website on this topic were created.*

Ключевые слова: *гидроаккумулирующая электростанция, закрытый карьер, график энергетической нагрузки, мощность, прибыль.*

Key words: *pumped storage power plant, closed quarry, energy load schedule, power, profit.*

Введение

Мы живем в мире, где не существует стран с равномерным суточным потреблением энергии. В любом государстве днем появляются пики потребления, а ночью потребление, наоборот, падает. Из-за этого сложнео управлять энергетической системой. Для увеличения стабильности энергетики государств можно использовать гидроаккумулирующие электростанции Они помогут уровнять энергопотребление в странах и обеспечить стабильную работу энергосистемы.

Основная часть

Гидроаккумулирующая электростанция (ГАЭС) – гидроэлектростанция, состоящая из здания ГАЭС (машинного зала), верхнего и нижнего бьефов, и используемая для выравнивания суточной неоднородности графика электрической нагрузки.

Принцип работы основан на попеременной перекачке воды между верхним и нижним резервуаром.

Существует три разновидности ГАЭС: ГАЭС с плотинной схемой, деривационные ГАЭС, ГАЭС с подземными бассейнами.

У нас было несколько критериев для выбора площадки:

– близость с водоёмом (рекой или озером) для использования в качестве нижнего водоёма, и чтобы не тянуть далеко водоводы;
– уклон местности для того, чтобы создавался напор и ГАЭС вырабатывала электроэнергию;
– достаточный объём карьера, чтобы ГАЭС запасала большое количество электроэнергии.

После тщательного изучения карты Беларуси было найдено несколько перспективных площадок для постройки:

– площадка возле деревни Пышки, Гродненского района;
– площадка возле деревень Глушнево и Зуи, Кричевского района;
– площадка возле деревни Каменка, Кричевского района.

Далее рассмотрим каждый карьер по отдельности и более тщательно, рассчитаем характеристики перспективных ГАЭС.

Таблица 1 – Сравнительная таблица характеристик ГАЭС по нашему проекту

	Площадка у деревни Пышки	**Площадка у деревень Зуи и Глушнево**	**Площадка у деревни Каменка**
Объём верхнего бьефа, $м^3$	6223739, 2	7700000	22500000
Напор в турбинном режиме, м	38	24	35
Напор в насосном режиме, м	42	26	37
Скорость воды в турбинном режиме, $м^3/с$	288,136	427,778	892
Время разрядки, с	21600	18000	22500
Мощность в турбинном режиме, МВт	107,411	100,716	306,268
Скорость воды в насосном режиме, $м^3/с$	216,102	305,556	694,4
Время зарядки, с	28800	25200	32400
Мощность в насосном режиме, МВт	89,038	77,935	252,046
Теоретический КПД, %	90,48	92,3	84,3
Реальный КПД, %	75–80	77–82	69–74

Рассчитали прибыль трех ГАЭС и пришли к выводу, что данные проекты рентабельные и принесут дополнительную прибыль и помогут немного выровнять энергетический баланс страны, несмотря на потери при аккумуляции.

Был создан калькулятор на базе Microsoft Excel в котором можно теоретически рассчитать различные характеристики ГАЭС, введя всего 5 параметров.

С помощью сервиса «Сайты Google» мы сделали свой сайт, на котором описан принцип работы ГАЭС, их виды, наши проекты и ссылка на наш калькулятор для расчёта теоретических характеристик ГАЭС.

Рассмотрели данные энергопотребления и выдачи электроэнергии в сеть Республики Беларусь и составили график данных параметров до ввода наших ГАЭС и после.

Благодаря ГАЭС смогли немного стабилизировать потребление ночью, а также смягчить нагрузку на ТЭЦ в вечерний пик, за счёт потребления энергии с 23:00 до 6:00 электроэнергии и отдачи с 17:00 до 23:00.

Заключение

Как доказано выше проекты с ГАЭС на месте закрытых карьеров имеют ряд неоспоримых достоинств. Они характеризуются способностью запасать большое количество электроэнергии и отдавать её в течение нескольких часов с постоянной мощностью, при не самом плохом КПД в 70–80%, что при получении энергии по ночному тарифу и отдачи во время пиков нивелируется ценами на электроэнергию. Данные станции помогут выровнять график энергопотребления в Беларуси и заново использовать карьеры.

Литература

1. Особенности сооружений ГАЭС [Электронный ресурс]: Режим доступа: - http://energetika.in.ua/ru/books/book-3/part-2/section-4/4-4/. – Дата доступа: 06.09.2024

2. Гидротурбины и обратимые гидромашины [Электронный ресурс]: Режим доступа: - http://energetika.in.ua/ru/books/book-3/part-2/sectoin-5/5-2/. – Дата доступа: 06.09.2024

3. Тарифы на электрическую и тепловую энергию [Электронный ресурс]: Режим доступа: - https://www.energo.grodno.by/tarify-na-elektricheskuyu-i-teplovuyu-energiyu/. – Дата доступа: 06.09.2024

УДК 62–932.2

МЕТОДЫ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СИСТЕМ
METHODS OF THERMODYNAMIC ANALYSIS OF LOW-TEMPERATURE SYSTEMS

К.С. Станиславчик, П.А. Ратомский, А.Е. Федотов
Научный руководитель – П.П. Храмцов, д.ф.-м.н.
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
K. Stanislavchik, P. Ratomsky, A. Fedotov
Supervisor – P. Chramtsov, Doctor of Physical and Mathematical Sciences
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье рассматриваются методы термодинамического анализа: энтропийно-статистический метод и эксергетический метод. Выясняется какой метод лучше при расчёте низкотемпературных установок.*
Abstract: *This article discusses the methods of thermodynamic analysis: the entropy-statistical method and the energetic method. It turns out which method is better for calculating low-temperature installations.*
Ключевые слова: *термодинамический анализ, низкотемпературные системы, энтропийно-статистический метод.*
Keywords: *thermodynamic analysis, low-temperature systems, entropy-statistical method.*

Введение

При анализах энергетических систем возможно применение разных методов исследования. Для установок сжижения природного газа основными методами анализа являются энтропийно-статистический метод и эксергетический метод. При выборе метода исследования стоит учитывать зависимость от конкретной анализируемой системы и задачи, которую мы хотим решить. Примерами таких задач могут быть, генерация работы (электроэнергии), ожижение газов, генерация холода и многие другие.

Основная часть

При генерации работы (электроэнергии) использование эксергии, которая измеряет полезность тепла, является наиболее эффективным подходом. Если же целью является генерация холода, то энтропия становится более релевантным понятием. Ее рост требует дополнительных затрат энергии (в виде работы, тепла или электроэнергии) для компенсации [1].

Для систем низкотемпературного охлаждения и ожижения, эффективность работы напрямую связана с обратимостью происходящих в ней процессов. Чем больше необратимость, тем меньше эффективность. Увеличение энтропии служит показателем необратимости процессов [1].

Чтобы лучше понять значение энтропии, ее рост можно представить как дополнительную работу, требуемую для компенсации потерь, вызванных необратимостью процессов.

Анализ технических систем методом потоков эксергии подразумевает выделение определенной области, ограниченной контрольной поверхностью. Эта область может быть целой системой или ее частью, изолированной от других систем или объектов. Затем анализируются все потоки эксергии, пересекающие эту поверхность. Для применения метода потоков эксергии необходимо определить все потоки эксергии в исследуемой системе. Однако, это не всегда возможно [1].

Энтропийный метод упрощает термодинамический анализ, исключая необходимость детального расчета всех потоков эксергии.

Зная первичную организованную энергию, выработанную организованную энергию (эксергию теплоты) можно определить, вычитая из вводимой энергии энергетические потери, возникающие в узлах и элементах системы.

Эти потери рассчитываются как произведение температуры окружающей среды на изменение энтропии в каждом узле и затем суммируются. Итоговая потеря определяется как произведение температуры окружающей среды на суммарное изменение энтропии всех элементов системы (или ее части) [2].

Р. Клаузиус был первым, кто сформулировал принцип возрастания энтропии в реальных, необратимых процессах преобразования энергии. Он ввел понятие суммарного изменения энтропии системы, которое он назвал "потерей работоспособности".

Клаузиус считал положительными изменения, которые происходят спонтанно без затрат работы, а отрицательными - изменения, которые не могут происходить самопроизвольно. Для любого обратимого цикла в едином термодинамическом пространстве вне зависимости от направления протекающих процессов и физических свойств рассматриваемых объектов интеграл по замкнутому контуру будет равен нулю [2]:

$$\oint \frac{dq}{T} = 0 \qquad (1)$$

Клаузиус ввел понятие энтропии, обозначив ее как $S = \int \frac{dq}{T}$. Это позволило выразить теплоту как $dq = Tds$. Было также установлено, что энтропия системы зависит только от ее состояния и является непрерывной, однозначной и конечной функцией параметров этого состояния [2].

В расчетах используется изменение энтропии при переходе из одного состояния в другое, а ее численное значение определяется относительно условного начального значения. Это позволяет рассматривать энтропию как свойство объекта в определенном состоянии. Данное уникальное свойство стало основой для энтропийного анализа.[2]

Эксергия, в отличие от энтропии, не является свойством тела, так как ее значение зависит от температуры стока теплоты, которая может быть различной. Эта неоднозначность затрудняет использование эксергии для анализа низкотемпературных систем [2].

В конце XIX и начале XX века, термодинамика переживала бурный период развития. Работы В. Нерста по третьему началу термодинамики и М. Планка

позволили разработать новые принципы и методы анализа энергетических систем. В этот период Ж. Гюи и А. Стодола независимо друг от друга получили формулу для необратимых процессов, аналогичную формуле Клаузиуса.

Главная цель термодинамического анализа – оценить эффективность установки и найти пути снижения энергозатрат для достижения желаемого результата.

Д.П. Гохштейн разработал энтропийный метод для оценки потерь в системах, основываясь на методе вычитаний Клаузиуса. Этот метод позволяет определить затрачиваемую работу только на входе в систему, а затем, используя аддитивность энтропии, вычесть все потери, рассчитанные по отдельности, из общей входной работы. Таким образом, энтропийный метод позволяет количественно оценить преобразование входной энергии в энтропию в каждом отдельном узле системы. Работа любой реальной машины всегда сопровождается необратимыми процессами, которые приводят к возрастанию энтропии системы.

В результате машина требует больше тепла для работы, а полезная работа, которую она производит, уменьшается, что подтверждается первым законом термодинамики. Таким образом, общая энтропия всех составляющих машины увеличивается из-за этих необратимых процессов. Именно на этом принципе основан энтропийно-статистический анализ [2].

В МГТУ им. Баумана был разработан улучшенный энтропийный метод, позволяющий определить реальные затраты энергии, необходимые для компенсации энтропии, возникающей в узлах существующих установок. Формула Клаузиуса, Гюи и Стодолы [2]:

$$\Delta l = T_{oc} \cdot \sum_{i=1}^{n} \Delta S_i' \ , \qquad (2)$$

где $\sum_{i=1}^{n} \Delta S_i'$ – суммарная величина производства энтропии вследствие необратимости во всех n подсистемах.

Это уравнение позволяет оценить не только теоретические, но и практические затраты энергии, необходимые для компенсации энтропии, возникающей в процессе работы. Для более точного определения реальных затрат энергии можно использовать средние показатели эффективности машин и узлов, работающих при тех же температурных условиях, что и рассматриваемая система. Данные показатели можно получить на основе анализа типичных процессов, таких как трение или неравновесный теплообмен. Формула (2) в низкотемпературных установках может быть определена следующим образом [2]:

$$L_{\text{действ}} = \sum l_{min} + \left(T_{oc} \cdot \sum_{i=1}^{n} \Delta S_i' \right)_{\text{действ}} \ , \qquad (3)$$

где $\sum l_{min}$ – сумма минимальных затрат работы для достижения поставленных технологических целей;

$(T_{oc} \cdot \sum_{i=1}^{n} \Delta S_i')$ – величина ожидаемых реальных затрат энергии для компенсации производства энтропии во всех n элементах установки.

Заключение

Таким образом стоит обратить внимание, что при расчете низко температурных установок стоит воспользоваться энтропийным методом. Это позволяет грамотно оценить производство и расход энтропии, что на самом деле очень важно при расчете низкотемпературных установок на примере установок, использующих сжиженный природный газ.

Литература

1. Красноносова Серафима Дмитриевна. Исследование малотоннажных установок сжижения природного газа энтропийно-статистическим методом: диссертация ... кандидата технических наук: 05.04.03 / Красноносова Серафима Дмитриевна; [Место защиты: Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана]. - Москва, 2016.- 173 с.

2. Архаров А.М. И еще раз об энтропии и задаче определения реальных (действительных) величин энергетических потерь вследствие необратимости / А.М. Архаров, В.В. Сычев // Холодильная техника. − 2007. − № 4. − С. 8–13.

УДК 621.311

ЭЛЕКТРОКОТЛЫ КАК ИННОВАЦИЯ ЭНЕРГЕТИКИ БЕЛАРУСИ
ELECTRIC BOILERS AS INNOVATIONS OF THE ENERGY INDUSTRY OF BELARUS

В.В. Дуров, В.В. Ленковец
Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
V. Durov, V. Lenkovets
Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В этой статье мы поговорим про электрокотлы, про их конструкцию. Также узнаем в каких местах были установлены электрокотлы и какие виды котлов существуют.*
Abstract: *In this article we will talk about electric boilers and their design. We will also find out in what places electric boilers were installed and what types of boilers exist.*
Ключевые слова: *электрокотлы, электроэнергия, эксплуатация*
Keywords: ***e****lectric boilers, electricity, operation*

Введение

Электрокотлы – устройство предназначенные для обогрева и обеспечения горячим водоснабжением обьектов и предприятий, а также для жилых и производственных помещений. Электрокотлы могут быть использованы в качестве резервным или основным источником обеспечения горячей воды. Электрокотлы обладают высоким КПД, а также являются экономическим и экологическим устройством.

Основная часть

Электрокотлы по-другому называются электрическими водонагревателями или электробойлерами. Электрокотлы используют чаще всего как резервный источник энергии, когда, к примеру, отказывают тепловые насосы в период сильных холодов. Также большим плюсом является компактность электрокотла.

Основные типы электрокотлов:

- Косвенного действия (реостатные): нагревательным элементом электрокотла является реостатный патрон, например, ТЭН. Могут работать от переменного и постоянного тока. Чаще всего такие котлы используют в пассажирских вагонах$
- Прямого действия – электродные паровые котлы и электродные водонагреватели. Работают от переменного тока. Если будет постоянный ток, то может быть образование гремучей смеси. Переменный ток проходя воду как через проводник между электродами, начинает выделятся тепло, что в последствие нагревает воду.

Электродные котлы не требовательные к качеству воды, чем реостатные котлы, но они будут компактнее. Способы подключения у всех котлов как

правило однофазные или трехфазные. Однофазные котлы работаю при напряжении 220 вольт, а трехфазные при напряжении 380 вольт.

Отопительные электрокотлы обычно поставляются в виде мини-котельной: снабжены циркуляционным насосом, расширительным баком, необходимой автоматикой. При установке нужен подходящий к котлу электрический предохранитель. Мощные электрокотельные могут устанавливаться вблизи ГЭС. Электродные паровые котлы нужны для получения насыщенного пара давлением до 0,6 Мпа и снабжения промышленных, сельскохозяйственных и бытовых объектов.

Достоинством электрокотлов является невысокая цена, а также низкая цена на их обслуживание и монтаж. Электрокотлы довольно легки в использовании и удобны в эксплуатации. При случае перегрева не произойдет открытого огня или же выброса вредных компонентов. Система электрокотлов настолько просто, что специальные обслуживания не потребуются. Так как котел электрический, в отличие от других поглощающих топливо, отсутствует дымовая труба. Высокий КПД (примерно 100%). В некоторых моделях электрокотлов поддерживается функция дистанционного управления.

Из недостатков электрокотлов можно сказать, что цена в некоторых регионах на электроэнергию довольно высока. Могут быть перебои, а также может быть необходимость в больших электрических мощностях. В жесткой воде на ТЭНах может оседать накипь, что может привести к перегреву.

Заключение

В конце 2020 года в ходе режимной интеграции Белорусской АЭС в баланс энергосистемы в филиале "Минская ТЭЦ-4" РУП "Минскэнерго" были введены в эксплуатацию четыре электрокотла мощностью 40 МВт каждый. Также в филиале "Молодечненские электрические сети" установлен водогрейный котел. Перед установкой электрокотла понадобилось расширить здание главного корпуса и проложить дополнительные трубопроводы. Электрокотельный комплекс суммарной мощностью 160 МВт в настоящее время работает в соответствии с режимами нагрузки.

Литература

1. ВикипедиЯ [Электронный ресурс] Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Электрический_котёл – Дата доступа: 15.10.2024.

2. БЕЛТА+ [Электронный ресурс] Режим доступа: https://belta.by/regions/view/pjat-elektrokotlov-vvedeno-v-filialah-minskenergo-v-kontse-2020-goda-424539-2021/ – Дата доступа: 15.10.2024.

3. Акваэкология [Электронный ресурс] Режим доступа: https://aquaecology.group/primenenie-elektrokotlov-v-sistemah-teplosnabzheniya-vzglyad-professionalov/ – Дата доступа: 15.10.2024.

УДК 62-932.2

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ МАЛОТОННАЖНЫХ УСТАНОВОК
OPERATING PRINCIPLE OF LOW-CAUGE INSTALLATIONS

А.С. Игнатенко, Д.А. Ромейко, Д.В. Яковец
Научный руководитель – П.П. Храмцов, д.ф.-м.н.
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Ignatenko, D. Romeyko, D. Yakovets
Supervisor – P. Chramtsov, Doctor of Physical and Mathematical Sciences
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье рассматриваются малотоннажные установки, принцип их действия. Проводится анализ различий между другими установками и получения с помощью малотоннажных установок природного газа. Рассматриваем циклы малотоннажного производства.*

Abstract: *This article discusses small-tonnage plants, their operating principle. An analysis of the differences between other plants and the production of natural gas using small-tonnage plants is conducted. We consider the cycles of small-tonnage production.*

Ключевые слова: *малотоннажная установка, установка сжижения, природный газ, малотоннажный цикл.*

Keywords: *low-cauge installations, liquefaction installations, natural gas, low-cauge cycle.*

Введение

Малотоннажные установки – это специализированные промышленные системы, предназначенные для производства химических веществ, биотоплив, удобрений и других продуктов в небольших масштабах. Они играют большую роль в многопрофильной экономике, обеспечивая локальные производства и минимизируя зависимость от крупных заводов, которые могут находиться на больших расстояниях, помогают оптимизировать производственные процессы, повысить эффективность и сократить затраты.

Основная часть

Малотоннажное производство СПГ (МП СПГ) - газовая отрасль промышленности, которая в настоящее время получает широкое развитие на мировом энергетическом рынке. Интерес к этому обусловлен в первую очередь автономной газификацией населенных пунктов, находящихся далеко от газопроводов, использованием сжиженного природного газа в качестве альтернативного топлива на транспорте, необходимостью наличия резервного топлива в зимнее время. Динамика роста количества малотоннажных установок в мире составляет примерно 10 % в год [1].

К малотоннажному производству сжиженного природного газа относятся:

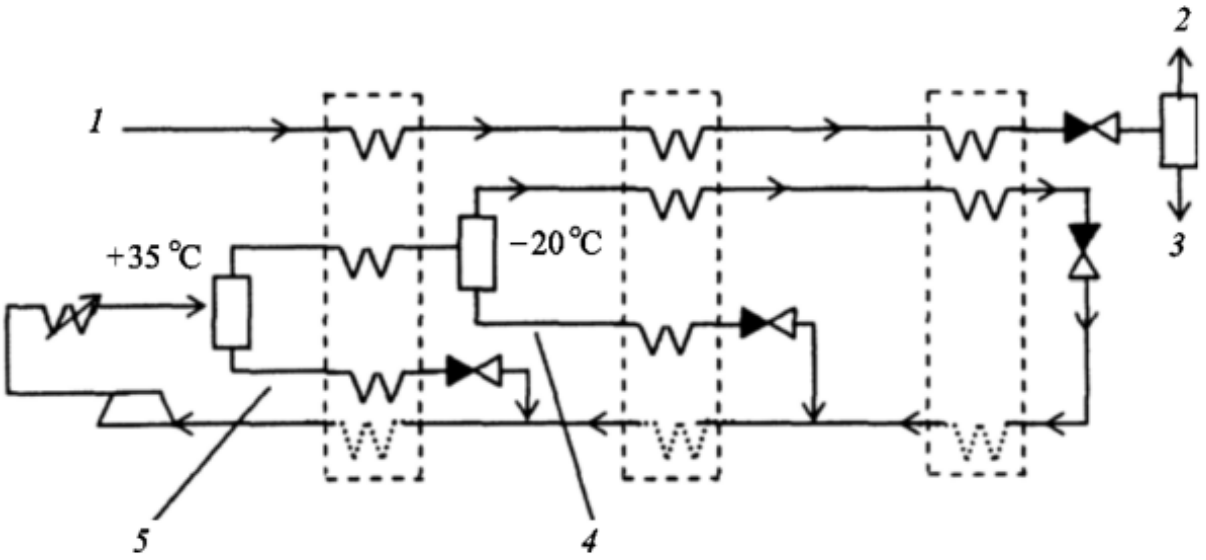
– комплексы производства СПГ мощностью до 10 т/час, в структуре автомобильных газонаполнительных компрессорных станциях (АГНКС), на газораспределительных станциях (ГРС) и компрессорных станциях (КС) магистральных газопроводов (МГП), на

нефтегазопромыслах;

- автозаправочные станции потребителей СПГ (криогенные АЗС) или регазифицированным СПГ давлением свыше 0,6 МПа (криогенные газонаполнительные станции), в том числе криогенные АЗС автотранспорта, автотракторной техники, железнодорожного, водного, авиационного транспорта;
- станции снабжения потребителей регазифицированным газом давлением до 0,6 МПа включительно (криогенные станции газоснабжения), в тч на станции снабжения коммунально-бытовых и теплоэнергетических объектов [2].

Среди многочисленных технологий, используемых в мире для малотоннажного производства сжиженного природного газа, большинство установок работает по четырем основным циклам: 1) цикл Клименко с комбинированным хладагентом; 2) цикл с использованием внешнего азотного охлаждения; 3) цикл Линде - Хэмпсона, который включает предварительное охлаждение с помощью холодильной машины; 4) цикл с охлаждением на основе сырьевого природного газа.

Наиболее многообещающими, особенно для маломощных установок, выступают циклы с использованием смешанного хладагента (СХА). Преобладающая доля на рынке малотоннажных установок (до 80 %) принадлежит технологии SMR (Single Mixed Refrigerant, что в переводе означает «один смешанный хладагент»), патентованной компанией Air Products & Chemicals (APCI) [3]. Данная технология фактически является модификацией цикла Клименко, созданного в 60-х годах XX века.



1 – сырьевой газ, 40–52 кгс/см^2 (абс.); 2 – в топливный газ; 3 – СПГ; 4 – жидкая фаза, обогащенная этаном; 5 – жидкая фаза, обогащенная пропаном

Рисунок 1 – Цикл SMR (APCI)

При сравнении преобладающего на современном рынке цикла SMR (APCI) с наиболее перспективной технологией сжижения природного газа Limum можно привести основные параметры эффективности циклов

Таблица 1 – Основные параметры эффективности циклов

Цикл	Коэффициент сжижения, %	Удельные затраты электроэнергии, кВт·ч/кг СПГ	Степень термодинамического совершенства
SMR	99	0,504	0,375
Limum	99	0,509	0,433

Заключение

Малотоннажные установки представляют собой важный элемент производственной инфраструктуры для малых и средних предприятий. Их экономическая эффективность, универсальность и способность быстро адаптироваться к изменениям в спросе делают их ценным инструментом для оптимизации производственных процессов. В условиях постоянно развивающегося рынка, малотоннажные установки становятся не только конкурентным преимуществом, но и необходимостью для успешного ведения бизнеса.

Литература

1. Сафин А.Х., ред. Малотоннажное производство и применение сжиженного природного газа (метана) для беструбопроводного газоснабжения и в качестве моторного топлива для наземных транспортных средств. Технико-инвестиционные показатели установок. Отчетсправочник. Санкт-Петербург, ООО «Прима-химмаш», 2013, 257 с.

2. Малотоннажное производство СПГ [Электронный ресурс] Режим доступа: https://neftegaz.ru/tech-library/energoresursy-toplivo/666645-malotonnazhnoe-proizvodstvo-spg/. – Дата доступа: 18.10.2024

3. Сафин А.Х., ред. Современные и перспективные технологии сжижения природного газа. Отчет-справочник. Второй выпуск. Санкт-Петербург, ООО «Прима-химмаш», 2012, 320 с.

УДК 62-932.2

ТЕХНОЛОГИИ СЖИЖЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА
NATURAL GAS LIQUEFACTION TECHNOLOGIES

А.С. Игнатенко, Д.А. Ромейко, Д.В. Яковец
Научный руководитель – П.П. Храмцов, д.ф.-м.н.
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A.S. Ignatenko, D.A. Romeyko, D.V. Yakovets
Supervisor – P. Chramtsov, Doctor of Physical and Mathematical Sciences
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье рассматриваются технологии сжижения природного газа: цикл Клода, цикл Линде, цикл Капице. Рассматривается идеальный цикл сжижения газа.*

Abstract: *This article discusses natural gas liquefaction technologies: the Claude cycle, the Linde cycle, and the Kapitze cycle. The ideal gas liquefaction cycle is considered.*

Ключевые слова: *сжиженный природный газ, дросселирование, глубокое охлаждение, идеальный цикл сжижения газа.*

Keywords: *liquefied natural gas, throttling, deep cooling, ideal gas liquefaction cycle.*

Введение

В мире растёт спрос на энергию, что приводит к использованию природного газа не только для получения энергии, а также для транспорта. У природного газа есть проблема, его находят в виде скоплений в местах, которые довольно часто находятся далеко от пункта, куда нужно доставить газ. Из-за этого возникает вопрос как доставить газ к пунктам газопотребления. Для решения проблемы можно использовать трубы, но это может быть экономически не выгодно если месторождения имеет малый запас газа и находится далеко.

Благодаря производствам сжиженного природного газа (СПГ) появляется ещё один вариант транспортировки газа, которых может быть выгоднее для отдалённых и малых объектов газопотребления. Также СПГ в 600 раз плотнее газа, что позволяет более компактно хранить газ при недостатке пространства.

Основная часть

В технике глубокого охлаждения при расширении сжатого реального газа происходит изменение (понижение либо повышение) его температуры. Расширение газа делают двумя методами: дросселированием. При этом поток газа при дросселировании не производит внешней работы; адиабатическим расширением газа в цилиндре поршневого двигателя (детандера) или в каналах направляющего аппарата и на лопатках рабочего колеса турбины (турбодетандера) с производством внешней работы (изоэнтропийное расширение) [1].

По способу охлаждения можно выделить следующие циклы:

– циклы с дросселированием (цикл Линде);
– циклы с адиабатическим расширением, в которых происходит отдача внешней работы газа в машинах для расширения (цикл Клода, цикл

Капицы);

– комбинированные циклы.

Идеальный цикл - цикл, в котором на охлаждение используется минимальная работа. При сжатии газа изотермически и адиабатическом расширении затраты энергии минимальны.

На диаграмме S – T идеального цикла сжижения газа (рис. 1) линия 1 – 2 показывает изотермическое сжатие газа до необходимого давления P_2, линия 2 – 3 – адиабатическое расширение в котором происходит внешняя работа, из-за которой газ охлаждается и в точке 3 полностью проходит процесс сжижения, линия 3 – 4 показывает испарение жидкости при постоянном давлении P_1 и температуре T_2, на линии 4 – 1 – видим нагревание газа до исходного состояния благодаря теплообмену с охлаждаемой средой [1].

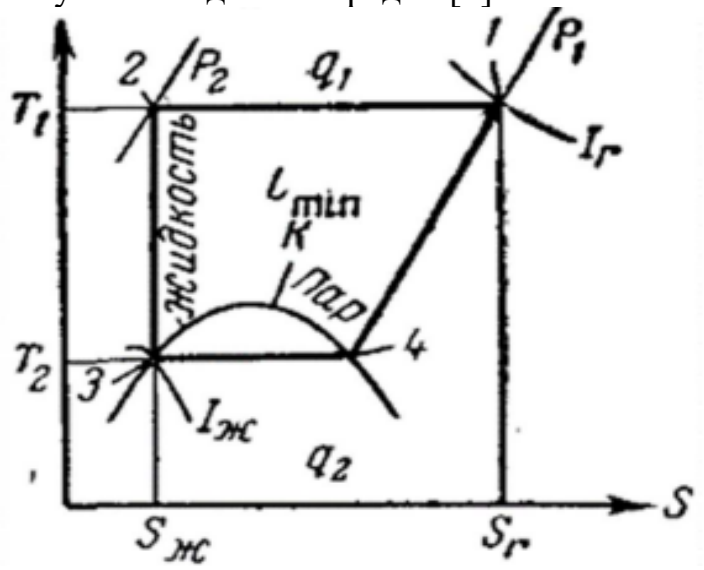


Рисунок 1 – Идеальный цикл сжижения газа

Выделяющееся при сжатии газа тепло q_1 передаётся охлаждающей воде – это показано на диаграмме площадью, ограниченной линиями 1 – 2 – $S_ж$ – $S_г$. Отводимое от сжижаемого газа в процессах 3 – 4 и 4 – 1 тепло q_2, показывается в виде площади 1 – 4 – $S_ж$ – $S_г$. Минимальная работа на проведение цикла, согласно первому закону термодинамики, равна

$$l_{min} = q_1 - q_2; \quad (1)$$

Значение l_{min} на диаграмме равно площади 1 – 2 – 3 – 4.

Работа необходимая для сжижения 1 кг газа может быть вычислена по второго закона термодинамики и это будет минимальная работа, согласно закону, сумма изменений энтропии всех тел, используемых в замкнутом процессе, в максимальном случае будет равна 0. В рассматриваемом процессе участниками выступают газ и вода. Изменение энтропии газа $S_г - S_ж$ – не отрицательная величина, изменение энтропии воды $S_н - S_к = q_1/T_1$ – величина отрицательная, из-за того, что вода нагревается.

Согласно 2-му закону термодинамики:

$$\Delta S_{газ} + \Delta S_в = (S_г - S_ж) + (S_и - S_к) = S_г - S_ж + \left(\frac{-q_1}{T_1}\right) = 0;$$

С учётом уравнения (1) получаем:

$$S_{\text{г}} - S_{\text{ж}} = \frac{l_{\text{мин}} + q_2}{T_1};$$

Откуда

$$l_{\text{мин}} = T_1 \cdot (S_{\text{г}} - S_{\text{ж}}) - q_2 = T_1 \cdot (S_{\text{г}} - S_{\text{ж}}) - (I_{\text{г}} - I_{\text{ж}}); \quad (2)$$

где $S_{\text{г}}, S_{\text{ж}}, I_{\text{г}}, I_{\text{ж}}$ – энтропия и энтальпия газа до начала процесса сжатия при начальной температуре T_1, и после сжижения до лини изобарного T_1 и на пограничной кривой жидкость – пар. Чему равны эти параметры можно определить по диаграмме $S – T$.

Идеальный цикл является эталоном экономичности в расходе энергии на сжижение во всех реальных циклах глубокого охлаждения. Идеальный цикл невозможно создать на практике, так как для его проведения надо в точке 2 (рис. 1) создать давление ~ 45000 МПа, для того чтобы при адиабатическом расширении газа (процесс 2 – 3) попасть на пограничную кривую жидкости. Главная причина в том, что давление в реальных циклах не превышает 22 МПа.

Заключение

Следовательно, технологии сжижения природного газа сильно помогают в транспортировке и хранении природного газа. С их помощью получается наладить эффективное использование газа в различных отраслях промышленности. Для получения СПГ использую холодильные машины и выделяют 3 способа охлаждения: циклы с дросселированием; циклы адиабатического расширения с передачей внешней работы газа в механизмы для расширения; комбинированные циклы.

Литература

1. Ануров С.А. Криогенные технологии разделения газов/С.А. Ануров//– М.: ООО «АР-Консалт». - 2017. – 233 с.

УДК 658.26

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ
EFFICIENCY OF THE USE OF FUEL AND ENERGY RESOURCES IN THE ENTERPRISE

А.П. Каменко
Научный руководитель – В.С. Королева, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Kamenko
Supervisor – V. Koroleva, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов, эффективное управление ресурсами.*
Abstract: *Rational use of fuel and energy resources, effective resource management.*
Ключевые слова: *ТЭР, топливно-энергетические ресурсы, эффективность.*
Keywords: *fuel and energy resources, fuel and energy efficiency.*

Введение

Для успешного функционирования любого промышленного предприятия крайне важно обеспечить рациональное использование топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Эффективное управление ресурсами, наряду с внедрением мер по энергосбережению, способствует значительному снижению производственных затрат и позволяет компании сохранять конкурентоспособность на разнообразных рынках сбыта. Такой подход не только оптимизирует финансовые расходы, но и создает устойчивую основу для долгосрочного развития и инновационного прогресса предприятия [1].

Основная часть

Промышленное производство играет важнейшую роль в обеспечении стабильности работы реального сектора экономики и укреплении экономической безопасности страны. Эффективность использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) является ключевым индикатором производственной деятельности предприятия, особенно для промышленных организаций с высокой энергоемкостью. Этот аспект не только влияет на общую результативность, но также открывает дополнительные возможности для повышения конкурентоспособности на рынке.

Конечной целью мероприятий в области энергосбережения является снижение энергозатрат, и достичь этого можно различными способами. Выбор конкретного метода зависит от инвестиционных возможностей компании, ее технической оснащённости, сложности технологического процесса, а также от других внутренних и внешних факторов. Важно учитывать, что грамотный подход к энергоэффективности может значительно улучшить финансовые показатели организации и обеспечить её устойчивость в условиях конкуренции [2].

По данным государственной статистической отчетности по форме 4-энергосбережение (Госстандарт) за январь – декабрь 2019 г. в целом по республике экономия ТЭР за счет реализации мероприятий по энергосбережению составила 964,4 тыс. т у.т., в том числе, по направлениям, представленным на рисунке 1.

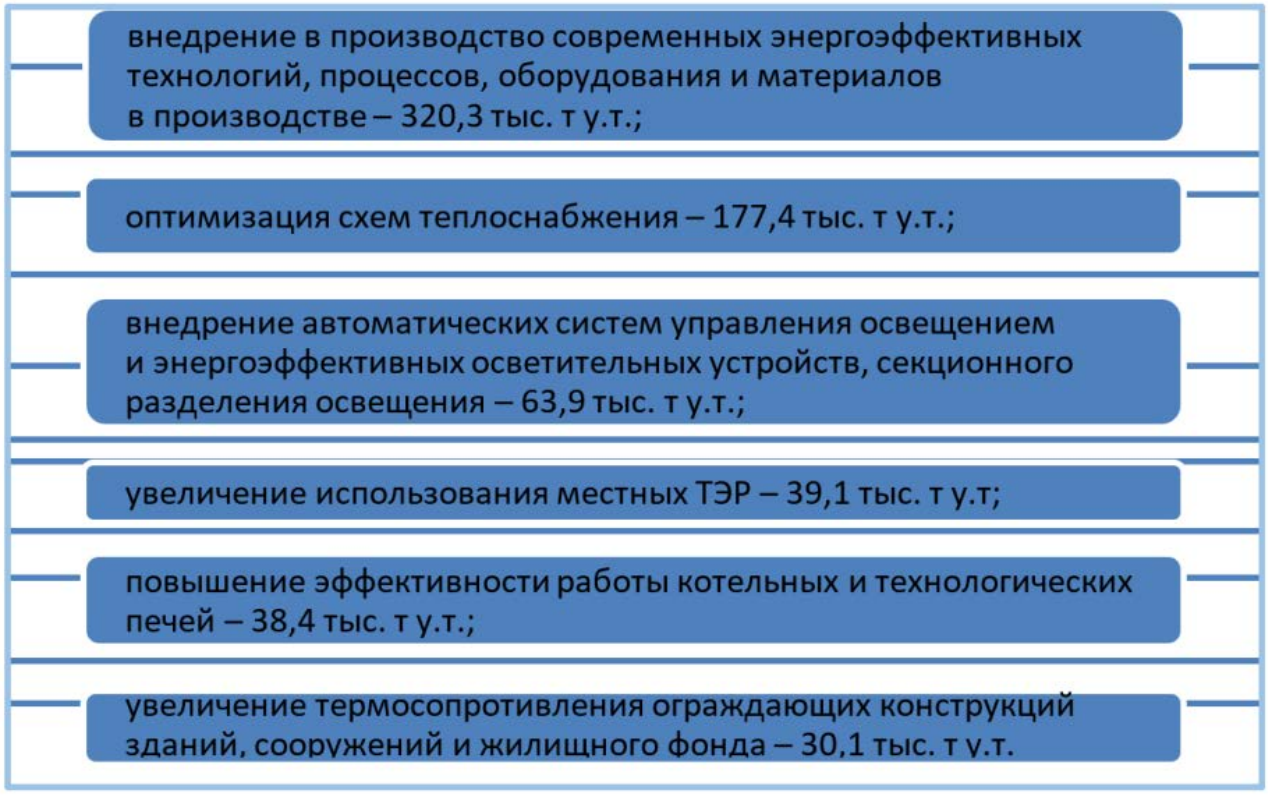


Рисунок 1 – Мероприятия по энергосбережению [2]

Основные направления повышения эффективности использования ТЭР на предприятии:

- Энергосбережение: снижение потерь энергии при передаче и преобразовании, использование энергоэффективного оборудования и систем управления;
- Оптимизация процессов производства и потребления ТЭР: анализ и оптимизация технологических процессов, режимов работы оборудования, а также системы управления энергопотреблением;
- Внедрение возобновляемых источников энергии: использование альтернативных источников энергии, таких как солнечная, ветровая и геотермальная энергия, для снижения зависимости от традиционных источников;
- Обучение персонала: повышение квалификации сотрудников, ответственных за эксплуатацию и обслуживание энергетического оборудования, а также проведение тренингов по энергосбережению и эффективному использованию ТЭР [3].

Для эффективного использования ТЭР на предприятии, использующем пар в технологии, можно улучшить следующие аспекты:

- оптимизация работы парогенераторов: регулярное техническое

обслуживание, контроль состояния оборудования и своевременная замена изношенных деталей;
- использование современных технологий и материалов для производства и ремонта парогенераторов;
- внедрение систем автоматического управления и контроля параметров пара, а также систем мониторинга состояния оборудования;
- повышение квалификации персонала, ответственного за обслуживание и эксплуатацию парогенераторов;
- разработка и внедрение программ энергосбережения и повышения энергоэффективности на предприятии;
- использование альтернативных источников энергии для производства пара, где это возможно и экономически оправдано.

Для оценки эффективности использования ТЭР на предприятии используются различные показатели, такие как коэффициент полезного действия, удельный расход топлива, коэффициент мощности и другие. Регулярный мониторинг этих показателей позволяет своевременно выявлять проблемы и принимать меры по их устранению.

Заключение

Эффективное использование топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на предприятии имеет огромное значение для снижения затрат на производство, повышения конкурентоспособности продукции и рационального использования природных ресурсов. Реализация мероприятий по повышению эффективности использования ТЭР, таких как оптимизация загрузки оборудования, нормирование и контроль потребления ресурсов, стимулирование персонала, разработка и реализация программ энергосбережения, способствует снижению себестоимости продукции и улучшению экологической ситуации в стране и регионе в целом.

Литература

1. Мозырский НПЗ [Электронный ресурс] / Слово – специалисту: Эффективность использования топливно-энергетических ресурсов зависит от множества факторов. – Режим доступа: https://mnpz.by/press-room/articles/slovo-spetsialistu-effektivnost-ispolzovaniya-topl. – Дата доступа: 14.09.2024.

2. Устойчивое развитие экономики: международные и национальные аспекты [Электронный ресурс]: электронный сборник статей IV Международной научно-практической online-конференции, Новополоцк, 26 ноября 2020 г. / Полоцкий государственный университет. – Новополоцк, 2020.

3. Kerr, D. Feral Systems: The Likely Effects on Business Analytics Functions in an Enterprise Resource Planning System Environment. / D. Kerr, L. Houghton. – AIS Electronic Library (AISeL), 2008. – 491 p.

УДК 621.577

ТЕПЛОВЫЕ ВЭР И ОЖИДАЕМЫЙ ЭФФЕКТ ОТ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ
THERMAL ENERGY REACTORS AND THE EXPECTED EFFECT OF THEIR USE IN THE REPUBLIC OF BELARUS

А.В. Шунькевич
Научный руководитель – В.С. Королева, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Shunkevich
Supervisor – V. Koroleva, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье приведена актуальная проблема промышленного производства в Республики Беларусь в лице выработки и рассеивания ВЭР в окружающую среду, а также рассмотрено решение по увеличению энергосбережения установкой теплонасосных станций на базе АБТН.*
Abstract: *This article presents an urgent problem of industrial production in the Republic of Belarus in the face of the generation and dispersion of VER into the environment, and also considers a solution to increase energy saving by installing heat pump stations based on ABTN.*
Ключевые слова: *энергосбережение, вторичные энергетические ресурсы, углеродное регулирование, первичный энергоресурс, теплонасосная станция, теплоснабжение.*
Keywords: *energy saving, secondary energy resources, carbon regulation, primary energy resource, heat pump station, heat supply.*

Введение

Энергосбережение, связанное с совершенствованием энергоиспользования, в стране только начинает разворачиваться. С ним, по общему мнению, связан адрес энергосбережения, потенциал которого для теплотехнологических среднетемпературных процессов оценивается до 40 %. И эта величина значима для снижения энергетической составляющей себестоимости выпускаемой продукции на предприятии, поскольку в условиях Беларуси снижение себестоимости продукции, необходимое для обеспечения конкурентоспособности на внешних и внутренних рынках, можно обеспечить, главным образом, за счет энергетической составляющей себестоимости, которая остается на высоком уровне. Актуальность задачи возрастает в связи с изменениями ситуации на рынке первичных энергоресурсов, имеющими устойчивую тенденцию, характеризующуюся непрерывным ростом тарифов на энергопотоки, требуемые для работы предприятий.

В последнее время все активнее растет проблема углеродного регулирования. Тема углеродного регулирования стала особенно актуальна

после планов Евросоюза по введению трансграничного углеродного сбора. Совокупные потери белорусского экспорта от его действия могут быть значительны. «Уже с 2026 года компании, поставляющие в Евросоюз удобрения,

цемент, электроэнергию, сталь и алюминий, будут обязаны покупать специальные сертификаты, это и есть аналог углеродного налога. А с 2023-го импортерам придется отчитываться об «углеродоемкости» своей продукции» [1].

Таким образом, решение задачи снижения углеродного следа для Беларуси тесно связано с обозначенной ранее актуальной задачей резкого снижения энергетической составляющей промышленной продукции.

Основная часть

Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР) – энергетический потенциал продукции, отходов, побочных и промежуточных продуктов, образующихся в

технологических агрегатах (установках, процессах), который не используется

в самом агрегате, но может быть частично или полностью использован для энергосбережения других агрегатов (процессов) [2].

Рассеяние тепловой энергии в окружающую среду через градирни отделения оборотно-засоленных вод (низкотемпературные тепловые потоки – вторичные энергетические ресурсы (ВЭР)) по предварительным оценкам составляет ≈ 65 % затрат тепловой энергии на энергообеспечение предприятия.

Для блокирования негативных последствий прогнозируемых изменений по увеличению цены на первичные энергоресурсы необходимо, в том числе, осуществлять переход теплотехнологических промышленных предприятий на построение рациональных теплоэнергетических систем, характеризующихся не только наличием комбинированного производства преобразованных энергопотоков, но и максимальной рекуперацией теплоты, использованием вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) и утилизацией низкотемпературных тепловых потоков с температурами ниже 45 °С, которые традиционно на большинстве предприятий рассеиваются в окружающей среде.

Низкотемпературные тепловые ВЭР, неизбежные спутники промышленного производства. В период дешевых энергоресурсов эти потоки рассеивались в окружающей среде, поскольку их утилизация или рекуперация экономически не оправдывались. Тем не менее, в упомянутый период велись работы по учету и анализу, тепловых ВЭР и до 2000 г. РУП «БЕЛТЭИ» выпускало соответствующие отчеты, в которых приводилась градация по уровням температуры тепловых выбросов промышленного узла (рис. 1).

К сожалению, сегодня, когда эти данные весьма актуальны, подобная работа не проводится. В этой ситуации можно обратиться к данным рисунка 1 в отношении оценки удельного веса тепловых выбросов с температурой до 50 °С. За истекший период в стране много сделано в отношении энергосбережения и очевидно изменение приведенной структуры тепловых выбросов. Однако, низкотемпературные тепловые потоки, о которых здесь идет речь, могли только увеличить свой удельный вес в выбросах района, поскольку потоки с более высокой температурой утилизировать легче, и проще. В результате более вероятно, что удельный вес последних снизился, а низкотемпературных (до 50 °С) – увеличился. В этой связи, оправдано считать его величину на уровне 30 %, что, во всех случаях, достаточно большая величина.

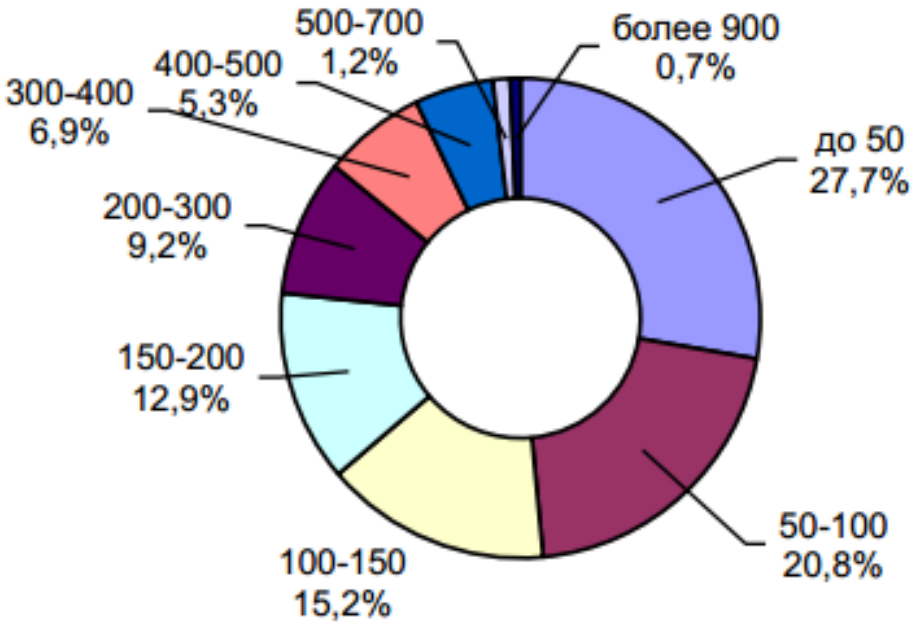


Рисунок 1 – Распределение сбросных побочных тепловых потоков по температурам для промышленного района (температура потоков указана в градусах Цельсия)

Чем привлекательны в настоящее время низкотемпературные тепловые ВЭР? Ответ становится понятным из рисунка, схематично поясняющим перспективную систему теплоснабжения, которая широко распространяется в технически передовых странах и на которую необходимо переводить системы централизованного теплоснабжения Беларуси (рис. 2).

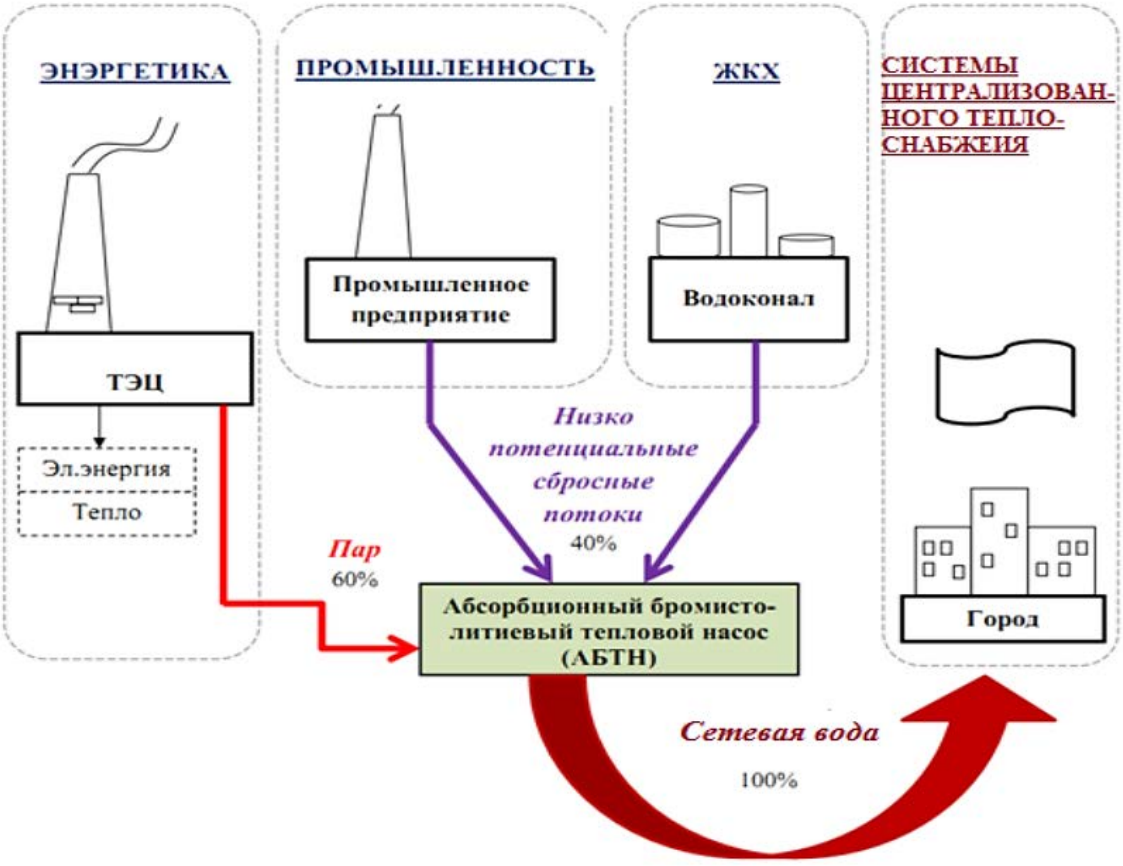


Рисунок 2 – Снижение расходов топлива на нужды систем централизованного теплоснабжения

Использовать, низкотемпературные тепловые ВЭР промышленного узла в системах теплоснабжения, а также в низко- и среднетемпературных теплотехнологиях предприятий конкретного промузла (рис. 3).



Рисунок 3 – Принципиальная схема теплоснабжения промышленных узлов с использованием тепловых ВЭР и ожидаемый эффект от ее реализации в Беларуси

Заключение

Как уже было отмечено, что ВЭР являются одним из направлений энергосбережения, способные уменьшить себестоимость производимой продукции: увеличивает её конкурентно способность, так и частично решает проблему углеродного регулирования, при котором импортёрам придётся отчитываться об «углеродоемкости» своей продукции, но для реализации ВЭР необходима установка теплонасосных станций на базе АБТН, что являются весьма дорогостоящим проектом с инвестициями, в первом приближении, до 2-х млрд. USD и со сроком окупаемости, соответствующих современным требованиям, простой срок окупаемости на уровне 4-х лет.

Литература

1. Низкоуглеродная стратегия России как ответ Европе [электронный ресурс]: BFM.RU. – 2021. – Режим доступа: https://www.bfm.ru/news/480340?utm_referrer=https://zen.yandex.com&utm_campaign=dbr – Дата доступа: 16.09.2024.

2. СТБ 1770-2009 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ Основные термины и определения. – Минск: Госстандарт. – 2009. – 12 с.

УДК 620.92

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЭР НА ГУП «МИНСККОММУНТЕПЛОСЕТЬ»
EFFICIENCY OF USING FUEL AND ENERGY RESOURCES AT THE SUP «MINSKKOMMUNTEPLOSET»

Д.А. Шевко, Д.Д. Казыро
Научный руководитель – В.С. Королева, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
D. Shevko, D. Kazyro
Supervisor – V. Koroleva, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье рассматривается методы повышения эффективности использования ТЭР для экономического развития предприятия.*
Abstract: *This article discusses methods for increasing the efficiency of using fuel and energy resources for the economic development of an enterprise.*
Ключевые слова: *топливо, экономика, ресурсы, эффективность, котлы, теплоснабжение.*
Keywords: *fuel, economy, resources, efficiency, boilers, heat supply.*

Введение

Одно из направлений экономии топливно-энергетических ресурсов является снижение потребления светлых нефтепродуктов. Для чего коммунальными организациями города устаревшая и неэкономичная техника заменяется на новую более эффективную и оснащается автономными расходомерами топлива. Для контроля маршрутов передвижения ведется оснащение техники системами навигации.

Одним из новых направлений экономии энергетических ресурсов является внедрение светодиодных светильников для уличного освещения на объектах жилищно-коммунального и парниково-тепличного хозяйства города.

На постоянной основе вопросы экономии и рационального использования топливно-энергетических ресурсов, внедрения современных энерго- и материалосберегающих технологий освещаются в эфире телевизионных каналов, газетах, на экранах станций метрополитена и в фойе кинотеатров города.

Основная часть

В нынешнем году экономический эффект УП «Минсккоммунтеплосеть» по экономии топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) составил 33.093,6 млн. рублей

В ходе реконструкции одной из мини-ТЭЦ был установлен твердотопливный котел мощностью 4,4 МВт., работающий на древесной щепе. Что способствует снижению ТЭР благодаря использования щепы, а не других источников. Всего по г. Минску в 2023 году было внедрено 11 мероприятий по увеличению использования местных ТЭР, отходов производства, вторичных,

нетрадиционных и возобновляемых энергоресурсов, от реализации которых уже получен экономический эффект в размере 80,3 т у.т.



Рисунок 1 – Котельная ГУП «Минсккоммунтеплосеть»

Возрастает роль науки, как одного из основных источников внедрения новых инновационных энерго- и ресурсосберегающих проектов. Необходимо приблизить разработчиков инновационных проектов, которые сконцентрированы прежде всего в научной среде, в научно-исследовательских и учебных институтах, к конкретному производству, скоординировать их взаимодействие и добиваться внедрения новых ресурсосберегающих технологий на предприятиях города. Вариант выхода из создавшейся ситуации есть у энергоснабжающей организации это ужесточить требования к точности применяемых приборов учёта и столкнуться с обвинениями в несоблюдении норм, прописанных в соответствующих ТНПА.

Направления энергосбережения, позволившие получить наибольший эффект от реализации энергосберегающих мероприятий:

- внедрение в производство современных энергоэффективных технологий и процессов, технологического оборудования и материалов; повышение энергоэффективности действующих технологий, процессов и технологического оборудования – 74 754,5 т у.т. (57,5 % от общей экономии ТЭР);
- оптимизация теплоснабжения – 11 870,4 т у.т. (9,1 % от общей экономии ТЭР)

Заключение

Основными направлениями капиталовложений с целью экономии ТЭР являются мероприятия, дающие быстрый эффект: вывод из работы

неэффективных котельных, реконструкция объектов теплоснабжения, замена установленного оборудования более экономичным. Достичь значительной экономии ТЭР во многом позволяет реконструкция трубопроводов. Так, только в нынешнем году произведена замена 68 км тепловых сетей в двухтрубном исчислении, в том числе 38,8 км с использованием предварительно изолированных труб.

Литература

1. ГУП «Минсккоммунтеплосеть» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.mkts.by/ Дата доступа: 14.09.2024.

2. Министерство энергетики Республики Беларусь [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.minenergo.gov.by/press/metrologicheskie-problemyi-pri-otsenke-pokazateley-energoeffektivnosti.htm – Дата доступа: 15.09.2024.

УДК 621.57

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН
FEATURES OF USING REFRIGERATION MACHINES

А.И. Тишкова, Д.И. Барановская
Научный руководитель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Tishkova, D. Baranovskaya
Supervisor – I. Prokopenya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной научной работе рассматриваются преимущества и недостатки холодильных машин, которые играют ключевую роль в различных отраслях промышленности. Данное исследование направлено на повышение осведомленности о важности сбалансированного подхода к использованию холодильных систем в различных сферах деятельности.*

Abstract: *This research paper examines the advantages and disadvantages of refrigeration machines that play a key role in various industries. This study aims to raise awareness of the importance of a balanced approach to the use of refrigeration systems in various industries.*

Ключевые слова: *холодильные машины, эффективность, хладагент, энергозатраты, мощность.*

Keywords: *refrigeration machines, efficiency, refrigerant, energy costs, power.*

Введение

Холодильные машины используются для отвода тепла от охлаждаемых объектов. В основе конструкции холодильных машин лежат тепловые насосы, которые используются для отвода тепла от охлаждаемых объектов и передачи его в помещение. Принцип работы холодильных машин основан на том, что с помощью техники происходит процесс испарения и образуется конденсат.

Основная часть

Рассмотри преимущества холодильного оборудования. Холодильные установки имеют следующие особенности:

- Оборудование может использовать в работе не только электричество, но и газ, пар, горячую воду и другие источники. Они могут быть установлены в доступных местах. Например, в торговом центре может быть собственная котельная;
- Для абсорбционного варианта лучше подойдет пар или горячая вода. Если они оснащены генератором, то могут работать на энергии, получаемой из выхлопных газов. Обычно используется природный газ. Это более дешевый метод, чем электричество;
- Эффективность и надежность оборудования высоки. В нем отсутствуют какие-либо сложные механические запасные части;
- При работе некоторых холодильных машин не бывает шума, вибраций. Поэтому нет необходимости в постоянном контроле со стороны специалистов.

Установка бывает одноступенчатой или двухступенчатой. Это зависит от того, какой мощностью обладает система. Во втором варианте используется более мощное оборудование. Оно используется для охлаждения элементов на предприятии или в системе кондиционирования.

Теперь рассмотрим некоторые недостатки холодильных систем:

– Многие холодильные установки используют электрическую энергию для работы. Это делает их дорогими;
– Холодильные машины, работающие от электричества, имеют довольно сложное устройство. Поэтому они требуют постоянного обслуживания и сложны в ремонте. Они потребляют много электроэнергии и поэтому могут привести к большим затратам;
– Некоторые машины слишком шумно работают. Их вибрационная нагрузка очень высока, что приводит к ухудшению работы;
– При использовании в работе холодильных машин электроэнергии, расходуется много мощности. Поэтому требуются капитальные затраты. Выбирать такие машины следует с помощью специалиста.

Заключение

Холодильные машины, безусловно, играют важную роль в современных энергетических системах, обеспечивая эффективное охлаждение и контроль температуры в различных промышленных и бытовых процессах. наряду с положительными аспектами, существуют и значительные недостатки. Высокие энергозатраты на эксплуатацию холодильных установок, использование хладагентов с высоким потенциалом глобального потепления и необходимость регулярного технического обслуживания требуют внимания и разработки новых решений.

Для достижения устойчивого развития в области энергетики необходимо интегрировать более эффективные и экологически чистые технологии. Внедрение альтернативных хладагентов, улучшение теплообменников и использование возобновляемых источников энергии могут значительно снизить негативное воздействие холодильных машин на окружающую среду.

Литература

1. Преимущества и недостатки холодильных машин [Электронный ресурс] . – Режим доступа: https://www.archandarch.ru/wp-raznoe/preimushhestva-i-nedostatki-holodilnyh-mashin.html – Дата доступа: 25.08.2024.

2. Принцип работы холодильной машины [Электронный ресурс] . – Режим доступа: https://megaholod.ru/articles/printsip_raboty_kholodilnoy_mashiny/ – Дата доступа: 25.08.2024.

УДК 621.311

ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ФИЛИАЛЕ РУП МИНСКЭНЕРГО «МИНСКАЯ ТЭЦ-3»

EFFICIENT USE OF FUEL AND ENERGY RESOURCES AT THE BRANCH OF RUE MINSKENERGO "MINSK CHPP-3"

Н.В. Рачковский, Д.В. Самандык, П.О. Бондарев, Е.В. Емельянов
Научный преподаватель – В.С. Королева, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
N. Rachkovsky, D. Samanduk, P. Bondarev, E. Emelyanov
Supervisor – V. Koroleva, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация**: В данной статье предметом изучения является эффективность использования топливно-энергетических ресурсов и решения проблем энергоэффективности.*

***Abstract**: In this article, the subject of study is the efficiency of using fuel and energy resources and solving energy efficiency problems.*

***Ключевые слова**: топливно-энергетические ресурсы, энергоэффективность, энергосбережение.*

***Keywords**: fuel and energy resources, energy efficiency, energy saving.*

Введение

Повышение эффективности использования энергоресурсов является проблемой мирового значения, поскольку дальнейшее развитие энергоснабжения традиционным экстенсивным путем, в основе которого лежит наращивание добычи первичных энергоресурсов, наталкивается на ограничения экономического, экологического, технического характера. Альтернативой такому пути развития является энергосбережение, получившее статус ключевой энергетической проблемы современности.

Основная часть

Традиционный подход к снижению энергозатрат, базирующийся на анализе работы отдельных агрегатов, обеспечивает уменьшение потребления энергоресурсов в пределах нескольких процентов. Сегодня этого недостаточно. Необходимо выявить тот максимальный энергосберегающий эффект, который не столько связан с узкими физическими границами теплоиспользующих установок и, в ряде случаев, с самим предприятием, сколько охватывает зоны сопряжения технологического процесса с внешними объектами. Решение соответствующей задачи связано с переходом к интенсивному энергосбережению, целью которого является достижение максимального результата с использованием системных подходов. Прошедший период совершенствования энергообеспечения можно рассматривать как первый этап энергосбережения. Мероприятия этого этапа характеризуются относительно небольшими инвестициями, ориентированы на подавление рассеяния энергии, определяемое на основе анализа энергобаланса, и не могут обеспечить достижение поставленной цели. К тому же энергетики предприятий, традиционно рассматривающие проблему повышения

эффективности с точки зрения подавления рассеяния энергии, недоуменно воспринимают задания по снижению удельных расходов топлива (УРТ) на выпуск продукции.

Низкая температура тепловых вторичных энергоресурсов сегодня не является препятствием к использованию ВЭР, в том числе и тепловой энергии канализационных стоков, как технологических, так и бытовых. Успешный опыт такого использования уже существует в передовых странах. Наличие абсорбционных тепловых насосов сегодня позволяет утилизировать низкопотенциальные тепловые ВЭР с температурами до 20 °С и экономить до 40 % топлива, необходимого для теплоснабжения. Требуется лишь наладить должные взаимоотношения между предприятиями и тепловыми сетями, как коммунального подчинения, так и принадлежащих энергетикам.

Решение этой глобальной задачи будет означать переход к принципиально новой системе энергообеспечения страны, находящейся на более высоком уровне, чем существующая, и обеспечит реальный прорыв в снижении энергоемкости ВВП.

Одна из главных тенденций в энергетической отрасли связана с неизбежным переходом от паротурбинной к парогазовой технологии при использовании природного газа. Исследования Российской академии наук показали, что наиболее эффективен такой переход для ТЭЦ. Можно добавить, что изменение энергетических характеристик ТЭЦ, обусловленное переходом на парогазовую технологию, приводит к дальнейшему изменению структуры генерирующих мощностей, в которой нет нагрузок для КЭС, и в этой связи роль регуляторов генерации переходит к ТЭЦ и распределенным мелким источникам.

Другое энергетически и экономически эффективное решение проблемы графиков нагрузки ОЭС связано с изменением использования отборов ТЭЦ. В часы дневных пиков потребления отборы дополнительно загружаются за счет зарядки центральных тепловых аккумуляторов, а в часы провалов потребления электроэнергии вытесняются за счет тех же тепловых аккумуляторов.

Заключение

Переход к интенсивному энергосбережению связан и с введением энергетического управления на предприятиях. Энергетики в рамках существующих структур предприятий заняты решением текущих проблем эксплуатации и не могут в должной мере заниматься вопросами перспективного совершенствования энергообеспечения производства. Модернизацией энергообеспечения на базе передовых технологий, изменением подхода к энергоиспользованию, мотивацией и вовлечением в процесс энергосбережения всех сотрудников должен заниматься энергетический менеджер, который, ко всему, должен быть и системным специалистом. Необходимо создание условий для подготовки и становления соответствующих системных специалистов промышленной теплоэнергетики и теплотехнологий.

Литература

1. Экономика и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства: Директива № 3 Президента Республики Беларусь, 14

июля 2007 г. // Нац. реестр правовых актов Республики Беларусь. - - № 118668. - 15.06.2007.

2. Михалевич, А.А. Энергетическая безопасность Республики Беларусь: компоненты, вызовы, угрозы [электронный ресурс]: - - Режим доступа: http://nmnby.eu/pub/0911/energy_security.pdf - Дата доступа: 17.09.2024.

3. Романюк, В.Н. Интенсивное энергосбережение в теплотехнологических системах промышленного производства строительных материалов: дис. докт. техн. наук: 05.14.04 / В.Н. Романюк; БНТУ. - Мн., 2010. - 365 с.

4. Романюк, В.Н. Абсорбционные тепловые насосы в тепловой схеме ТЭЦ для повышения ее энергетической эффективности / В.Н. Романюк, Д.Б. Муслина, А.А. Бобич, Н.А. Коломыцкая, Т.В. Бубырь, С.В. Мальков // Энергия и Менеджмент. - - № 1. - С. 14–19.

5. Романюк, В.Н. Абсорбционные тепловые насосы в теплоэнергетических системах промышленных предприятий для снижения энергетических и финансовых затрат / В.Н. Романюк, Д.Б. Муслина, А.А. Бобич, Н.А. Коломыцкая, Т.В. Бубырь, С.В. Мальков // Энергия и Менеджмент. - - № 2. - С. 4–9.

УДК 621.311

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЭР НА ГОСУДАРСТВЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ «ОРШАНСКАЯ ТЭЦ»
EFFICIENCY OF FUEL ENERGY RESOURCES USE AT THE STATE ENTERPRISE «ORSHANSKAYA CHPP»

Г.М. Кандауров, И.О. Романовский
Научный руководитель – В.С. Королева, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
G. Kandaurov, I. Romanovsky
Supervisor – V. Koroleva, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье приведены показатели использования ТЭР на «Оршанской ТЭЦ»*
Abstract: *This article presents indicators of FER utilization at «Orshanskaya CHPP»*
Ключевые слова: *таблица, ТЭР, электроэнергия, теплоэнергия.*
Keywords: *table, FER, electricity, heat energy.*

Введение

Топливно-энергетический ресурс (ТЭР) – носитель энергии, который используется в настоящее время или может быть использован в перспективе. Эффективное использование энергетических ресурсов – достижение экономически оправданной эффективности использования энергетических ресурсов при существующем уровне развития техники и технологий и соблюдения требований к охране окружающей природной среды

Основная часть

Основным топливом на государственном предприятии «Оршанская ТЭЦ» является пригодный газ. Выполнение доведенных показателей по удельным расходам топлива на отпущенную электроэнергию и теплоэнергию и удельному расходу электроэнергии на собственные нужды в 2023 году и сравнение с фактом за 2022 год приведены в таблице 1:

Таблица 1 – Gоказатели по удельным расходам топлива

Показатели	2023		2022	«+» - увеличение, «-» - уменьшение в 2023г. Против факта 2022г.
	Доведен	факт	факт	
Оршанская ТЭЦ				
1.Расход условного топлива				
а) на отпуск электроэнергии, г/кВтч	183,6	180,2	181,9	-1,7
б) на отпуск теплоэнергии, кг/Гкал	175,32	173,77	174,05	-0,28
2. Расход электроэнергии на собственные нужды				
а) на отпуск электроэнергии, %	2,97	2,81	2,90	-0,09
б) на отпуск теплоэнергии, кВтч/Гкал	28,45	26,32	27,27	-0,95
Котельная «Орша Восточная»				
1) на отпуск теплоэнергии, кг/Гкал	165,79	164,58	165,04	-0,46

Изменение удельных расходов топлива по отношению к факту 2022 года обусловлено:

Оршанская ТЭЦ:

– Снижение УРТ на отпуск электроэнергии на 1,7 г/кВтч:

Причина отклонения: изменение состава работавшего оборудования – увеличение работы генерирующего оборудования ПТУ с более низкими удельными расходами топлива.

– Снижение УРТ на отпуск тепловой энергии на 0,28 кг/Гкал:

Причина отклонения: изменение состава работавшего оборудования – увеличение числа часов работы энергетических котлов (с одновременным уменьшением числа часов работы ПГУ) с более низкими удельными расходами топлива.

– Снижение расхода электроэнергии на производство электроэнергии на 0,09 %.

Причина отклонения: увеличение числа часов работы энергетических котлов ст.№№1,2, с установленными ЧРЭП на механизмы ТДМ (7797 часов - в 2023г., 4683 часа – в 2022г.).

– Снижение удельного расхода электроэнергии на отпуск тепловой энергии на 0,95 кВтч/Гкал.

Причина отклонения: увеличение числа часов работы энергетических котлов ст.№№1,2, с установленными ЧРЭП на механизмы ТДМ (7797 часов - в 2023г., 4683 часа – в 2022г.).

Котельная «Орша Восточная»

– Уменьшение УРТ на отпуск тепловой энергии на 0,46 кг/Гкал:

Причины отклонения: увеличение отпуска тепловой энергии на 0,6%; увеличение отпуска тепловой энергии от ПВК на 7,6%.

Заключение

Реализация плана энергоэффективности представляет собой важный шаг к устойчивому развитию и экономии ресурсов. Эффективное использование ресурсов не только снижает затраты, но и способствует уменьшению негативного воздействия на окружающую среду. Применение современных технологий, оптимизация процессов – все это играет ключевую роль в достижении поставленных целей.

Таким образом, эффективная схема энергосбережения может привести значительным финансовым и экологическим выгодам для предприятия.

Литература

1. Топливно энергетические ресурсы на предприятии // [Электронный ресурс] – Режим доступа https://www.sinref.ru/000_uchebniki/00800economica/001_lekcii_economica_19_raznoe_/401.htm – Дата доступа 18.09.2024

УДК 621.44

ТЕПЛОФИКАЦИОННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ АТОМНОЙ СТАНЦИИ
A HEATING PLANT FOR THE HEAT SUPPLY OF A NUCLEAR POWER PLANT

А.В. Казейка
Научный руководитель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Kazeika
Supervisor – I. Prokopenya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье описывается принцип работы теплофикационной установки. Рассмотрены режимы эксплуатации установки.*
Abstract: *This article describes the principle of operation of the heating plant. The modes of operation of the installation are considered.*
Ключевые слова: *теплофикационная установка, подогреватель сетевой воды, режим эксплуатации, теплопроизводительность.*
Keywords: *heating system, mains water heater, operating mode, heating capacity.*

Введение

Теплофикационная установка (ТФУ) предназначена для отпуска тепла в виде горячей воды потребителю при комбинированной выработке тепловой и электрической энергии на АЭС.

ТФУ является элементом системы теплоснабжения, предназначенной для покрытия тепловой нагрузки отопления, вентиляции и горячего водоснабжения коммунально-бытовых потребителей и промышленных предприятий. [1]

Основная часть

Система ТФУ должна обеспечивать:

- подогрев сетевой воды в подогревателе сетевой воды (ПСВ) в соответствии с температурным графиком тепловой сети 150/70 °С;
- подачу сетевой воды для теплоснабжения потребителей промплощадки ГП «Белорусская АЭС»;
- необходимое давление в трубопроводе прямой сетевой воды;
- поддержание заданного уровня в ПСВ;
- полное исключение попадания сетевой воды к потребителю в случае ее радиоактивного загрязнения.

ТФУ состоит из группы трех параллельно подключенных ПСВ, два из которых – рабочих, один – резервный. ПСВ рассчитаны на нагрев сетевой воды согласно температурного графика 150/70 °С. Обратная сетевая вода от потребителей промплощадки ГП «Белорусская АЭС» с температурой 40-70 °С поступает на всас сетевым насосам. Сетевыми насосами сетевая вода подается на ПСВ, где нагревается до температуры 70-150 °С.

Для подогрева сетевой воды к ПСВ подводится пар через коллектор системы пара собственных нужд от 3 отбора турбины и быстродействующей

редукционной установки подачи пара в коллектор собственных нужд первого блока. В зависимости от режима работы блока № 1 пар может подводиться от 4 отбора турбины через коллектор. В случае останова первого блока предусмотрен подвод греющего пара от общестанционного коллектора пара собственных нужд, в который подается пар от пускорезервной котельной или от коллектора собственных нужд второго блока. Регулирование температуры нагрева сетевой воды осуществляется путем изменения уровня конденсата греющего пара каждого подогревателя регулирующим клапаном. После регулирующего клапана предусмотрена электрифицированная запорная арматура, которая автоматически закрывается при повышении уровня конденсата греющего пара в случае отказа регулирующего клапана или нарушения плотности между пластинами в ПСВ. Конденсат греющего пара с ПСВ, сливается в общий коллектор и поступает в систему сбора (возврата) конденсата и дренажей здания турбины, так же предусмотрен слив конденсата греющего пара в конденсатор турбины.

После нагрева сетевая вода распределяется для теплоснабжения потребителей промплощадки ГП «Белорусская АЭС».

На общем коллекторе прямой сетевой воды после сетевых подогревателей начинается участок локализации, заканчивающийся двумя последовательно установленными быстродействующими отсечными задвижками, которые закрываются при превышении допустимой величины объемной активности в сетевой воде. Между коллектором прямой и обратной сетевой воды перед подачей сетевой воды на промплощадку ГП «Белорусская АЭС» расположен участок трубопровода заполнения (рециркуляции) с двумя последовательно установленными отсечными запорными арматурами, которые закрываются при включении сетевых насосов. Для контроля радиоактивности прямой сетевой воды осуществляется непрерывный отбор проб из коллектора прямой сетевой воды. После ПСВ часть воды идет через пластинчатый теплообменник на бак контроля объёмной активности сетевой воды, а затем возвращается в коллектор обратной сетевой воды. Для восполнения водяных потерь замкнутого цикла в коллектор обратной сетевой воды гидравлическими модулями подается подпиточная вода от системы, предварительно прошедшая деаэрацию в деаэрационной установке.

Режимы эксплуатации ТФУ. ТФУ может находиться в следующих состояниях и режимах работы:

- «В работе» – состояние, при котором система выполняет требуемую функцию при условии, что представлены необходимые внешние ресурсы;
- «В резерве» – состояние, при котором система находится в необходимом по условиям производства технологическом резерве и способна выполнить требуемую функцию при условии, что будут представлены необходимые внешние ресурсы;
- «Вне резерва» – состояние, при котором оборудование длительно не востребованное, может быть частично неисправным и (или)

разукомплектованным;

- «В ремонте» – состояние, при котором на системе выполняется комплекс мероприятий, направленный на восстановление работоспособного или исправного оборудования по восстановлению его ресурса. Ремонт включает локализацию неисправности, диагностирование неисправности и проверку функционирования;
- «В консервации» – состояние, при котором на системе выполняется комплекс мероприятий по обеспечению определённого технической документацией срока хранения или временного бездействия тепловых энергоустановок и сетей (оборудования, запасных частей, материалов и др.) путём предохранения от коррозии, механических и других воздействий человека и внешней среды. [2]

Заключение

ТФУ теплопроизводительностью 40 МВт при температурном графике тепловой сети 150/70 °С предназначена для теплоснабжения потребителей промплощадки ГП «Белорусская АЭС» по закрытой системе централизованного теплоснабжения.

В состав системы ТФУ входят:

- ПСВ;
- насосы сетевой воды;
- фильтры сетевой воды;
- бак контроля объемной активности сетевой воды;
- теплообменник для контроля объемной активности сетевой воды;
- трубопроводы, арматура и обратные клапана.

Теплофикационная установка включает в себя элементы нормальной эксплуатации важные для безопасности и элементы нормальной эксплуатации, не влияющие на безопасность.

Рост концентрации и величины тепловых нагрузок в городах и наличие разветвленных систем транспорта и распределения горячей воды создают предпосылки для использования атомных станций в качестве базовых источников тепла в крупных системах централизованного теплоснабжения. [3]

Литература

1. PPT [Электронный ресурс]/ Теплофикационная установка. – Режим доступа: https://ppt-online.org/841562. – Дата доступа: 29.08.2024.

2. Учебно-методические материалы Белорусской АЭС [Электронный ресурс]/ Теплофикационная установка. Дата доступа: 29.08.2024.

3. Biblioatom [Электронный ресурс]/ Теплоснабжение от атомных станций. – Режим доступа: https://elib.biblioatom.ru/text/mashinostroenie-yadernoy-tehniki_kn1_2005/p346/. – Дата доступа: 29.08.2024.

УДК 621.565.952

ТЕХНОЛОГИИ SPIN CELL В ПРОИЗВОДСТВЕ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ
SPIN CELL TECHNOLOGIES IN THE PRODUCTION OF HEAT EXCHANGE EQUIPMENT

А.С. Ганжа
Научный руководитель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Hanzha
Thesis advisor – I. Prokopenya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье рассмотрены преимущества использования технологии Spin Cell в производстве теплообменных аппаратов.*
Abstract: *This article discusses the advantages of using Spin Cell technology in the production of heat exchangers.*
Ключевые слова: *теплообменный аппарат, турбулизация, технология Spin Cell.*
Keywords: *heat exchanger, turbulence, Spin Cell technology.*

Введение

Основа технологии Spin Cell выражается в закручивании двух потоков, которые движутся в противотоке каждый по своему каналу и обмениваются тепловой энергией. Проходы получены в специальной теплопередающей матрице с помощью спирально-профильных теплообменных труб. Данная конструкция, вследствие того, что происходит закрутка и турбулизация потоков, повышает энергетическую эффективность установки, сокращает количество загрязнений теплообменных поверхностей, значительно снижает габариты и стоимость.

Основная часть

По сравнению с пластинчатыми теплообменными аппаратами, Spin Cell за счет турбулизирования и закрутки потока теплоносителя, обладает явлением самоочистки и почти отсутствием солевых отложений, что дает возможность эксплуатировать их достаточно длительный промежуток времени без разборки и очистки, при этом сокращая стоимость технического обслуживания теплообменника.

Повышение интенсивности теплоотдачи в каналах обеспечивается благодаря закрутке и турбулизирования потоков. Эффект самоочистки образуется с помощью макровихрей, омывающих поверхность теплообмена. Структура матрицы в виде «пчелиных сот» (рисунок 1) делает излишним установку трубных досок, что тем самым удаляет солеотложения на них, сокращает потери давления в канальных пространствах и соответственно удешевляет себестоимость изготовления конструкции. Кроме того, есть

возможность «зажать» межтрубное пространство, что также увеличит интегральный коэффициент теплопередачи.



Рисунок 1 – Теплообменный аппарат по технологии Spin Cell

В сопоставлении с привычными пластинчатыми теплообменниками, данные теплообменные аппараты (Spin Cell) имеют коэффициент теплопередачи на 30% выше, поддерживают стабильную годовую выработку благодаря тому, что практически отсутствуют солеотложения на поверхности теплообмена. Также в 2 раза меньше металлоемкость и стоимость снижается на 30%.

А если сравнивать со стандартными кожухотрубными теплообменными аппаратами, то теплопередача теплообменников по технологии Spin Cell выше почти на 200%, при этом металлоемкость ниже в 10 раз и стоимость на 50% [3].

Благодаря применению точных методов обработки, лазерных, плазменных и гибочных аппаратов с числовым программным управлением, первоклассных коррозионно-устойчивых сталей дает возможность производить теплообменный аппарат, у которого практически в 2 раза снижены эксплуатационные затраты и в 1,5 раза увеличен служебный срок гарантии.

И поэтому, на основе вышенаписанного, преимущества теплообменных аппаратов на основе Spin Cell заключаются в следующем:

- коэффициент теплопередачи выше в 1,5–2 раза, чем у пластинчатых и кожухотрубных теплообменных аппаратов, при допустимых потерях давления;
- эффект самоочистки поверхности;
- энергосбережение составляет 10% благодаря чистоте поверхностей теплообмена;
- абсолютное исключение байпасного режима течения в совместимости с противоточной схемой движения теплоносителя;
- небольшие вес и габариты аппарата;
- функционирование при высоком давлении и надежная трубная система;
- использование при изготовлении различных углеродистых и высоколегированных марок сталей;
- невысокая стоимость и эксплуатационные затраты;

– повышенный гарантийный период [1].

Данные теплообменные аппараты широко применяются в различных сферах жизни и промышленности для отопления, ГВС и кондиционирование ЖКХ, генерировании энергии при использовании парогенераторов и охладителей масла, в нефтехимии, в технических процессах машиностроения и металлургии, для производства пищевой продукции (например, при пастеризации молока), в транспортной коммуникации [2].

Заключение

Благодаря внедрению теплообменных аппаратов, созданных по технологии Spin Cell, в теплоэнергетике страны появится возможность снижения издержек производства, потребители энергии будут иметь более низкие тарифы и при этом получать высокое качество услуг.

Литература

1. Интенсифицированный ТО по технологии Spin Cell [Электронный ресурс]/ интенсифицированный ТО. – Режим доступа: https://www.eskm-teploobmen.ru/spin-cell. – Дата доступа: 27.08.2024.

2. Новое решение в теплообменных технологиях [Электронный ресурс]/ новое решение в теплотехнологиях. – Режим доступа: https://energobelarus.by/interview/novoe_reshenie_v_teploobmennykh_tekhnologiyakh/. – Дата доступа: 27.08.2024.

3. Интенсификация теплообмена [Электронный ресурс]/ интенсификация теплообмена. – Режим доступа: https://energyland.info/interview-show-488. – Дата доступа: 27.08.2024.

УДК 681.125

ТЕПЛОСЧЕТЧИК МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ЭСКО МТР – 06
MULTICHANEL HEAT METER ESCO MTR – 06

О.С Святогор, О.И. Новогран, П.С, Борадулькин, Д.Д Толкачев
Научный руководитель – В.С. Королева, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
O. Svyatogor, O. Novogran, P. Boradulkin, D. Tolkachev.
Supervisor – V. Koroleva, Senior lecturer.
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье рассмотрен теплосчетчик многоканальный ЭСКО МТР - 06.*
Abstract: *This article discusses the multichannel heat meter ESCO MTR - 06.*
Ключевые слова*: теплосчетчик многоканальный,ЭСКО МТР – 06.*
Keywords: *multichannel heat meter, ESCO MTR - 06.*

Введение

Теплосчетчик многоканальный ЭСКО МТР-06 предназначен для измерения тепловой энергии (количества теплоты), в системах централизованного теплоснабжения. Теплосчетчик имеет функцию измерения массы (объема) теплоносителя, потребленной (ого) или отпущенной (ого) в системах централизованного горячего и холодного водоснабжения.

Основная часть

Рассмотрен теплосчетчик многоканальный ЭСКО МТР-06, который используется на Государственное предприятие «Минсккоммунтеплосеть»



Рисунок 1 – Общий вид счетчика ЭСКО МТР-06

Область применения – системы теплоснабжения в жилых домах, промышленных, административно-бытовых зданиях, узлы учета источника и

потребителя тепловой энергии, а также в автоматизированных системах учета и контроля технологических процессов и на других объектах.

Теплосчетчик является составным изделием и состоит из следующих элементов:

- тепловычислителя (ТВ), который имеет три контура для вычисления количества теплоты с частотным входом от 0 до 1000 Гц;
- датчиков потока – расходомеров-счетчиков (до 6 шт.);
- датчиков температуры - термопреобразователей сопротивления (до 6 шт.);
- датчиков давления (до 6 шт.).

Теплосчетчик предназначен для вычисления количества теплоты при следующих параметрах теплоносителя:

- температура теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах (θ) от 0 до 150 ºС; – разность температур теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах (Δθ) от 3 до 147 ºС;
- максимальное рабочее давление измеряемой среды 1,6 МПа;
- электропроводность теплоносителя при комплектации теплосчетчика электромагнитными расходомерами – от 0,02 См/м; – диапазон рабочих расходов теплосчетчика соответствует диапазону измерений датчиков потока (расходомеров-счетчиков), входящих в его состав.

Заключение

В работе рассмотрены основные характеристики, комплектация и возможные направления применения теплосчетчика многоканального ЭСКО МТР-06, который является вспомогательным оборудованием централизованного теплоснабжения, предназначенный для измерения тепловой энергии (количества теплоты).

Литература

1. Теплосчетчик многоканальный ЭСКО МТР-06 [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://mkts.by/pages/uslugi_i_products/files/pasport_esko_MTP-06.pdf – Дата доступа: 16.09.2024.

УДК 621.56

ПРИМЕНЕНИЕ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ
USE OF REFRIGERATION UNITS IN THE REPUBLIC OF BELARUS

Д.И. Барановская, А.И. Тишкова
Научный руководитель – В.С. Королева, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
D. Baranovskaya, A. Tishkova
Supervisor – V. Koroleva, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной научной работе рассматриваются способы применения холодильных установок на территории Республики Беларусь.*
Abstract: *This scientific work discussed metods of using refrigeration units on the territory of the Republic of Belarus.*
Ключевые слова: *холодильные установки, испаритель, хладогент, конденсатор, компрессор, терморегулирующий вентиль, промышленный холод.*
Keywords: *refrigeration units, evaporator, refrigerant, condenser, compressor, thermostatic valve, industrial refrigeration.*

Введение

Холодильное оборудование предназначено для поддержания заданной температуры (влажности, чистоты) воздуха в изолированных камерах или замкнутых помещениях. В сфере производства и торговли невозможно обойтись без холодильного оборудования. Устройство холодильного оборудования. Принцип работы холодильных установок основан на передаче тепла при фазовых переходах испарения-конденсации.[1]

Основная часть

Основные составляющие любого холодильного оборудования:

- Испаритель – забирает тепло из внутреннего объема камеры. Вскипая, хладагент переходит в газообразное состояние и поглощает тепло.
- Хладагент – вещество, которое переносит тепло от испарителя к конденсатору. Вещество обязательно должно быть негорючим, чтобы при утечке не вызвать взрыв. Кроме того, большое значение имеет чистота хладагента, поэтому при заправке холодильного оборудования соблюдается полная герметичность.
- Конденсатор – отдает накопленное тепло в окружающую среду. Хладагент, переходя в жидкое состояние, выделяет тепло.
- Компрессор – создает нужную разность давлений. Он засасывает пар хладагента из испарителя и передает на конденсатор.
- Терморегулирующий вентиль – поддерживает разность давлений.

Система отвода конденсата воды – может различаться в зависимости от разновидности устройства. [1]

Как известно, на холодильных установках можно получить определенное количество теплоты в зависимости от холодопроизводительности системы. В

большинстве случаев данное тепло используют для нагрева теплоносителя, который, например, направляют на обогрев грунта низкотемпературных камер.[2]

В Республике Беларусь уже реализована система использования данной теплоты (теплота паров нагнетания компрессорных агрегатов) для нагрева воды для нужд предприятия. Первая такая система установлена компанией GEA Baltics (предыдущее название GEA Grasso) в ОАО «Савушкин продукт», г. Брест. Данная система интегрирована в действующую аммиачную холодильную установку совокупной холодильной мощностью более 10 000 кВт. Система рекуперации тепла позволяет нагреть в теплое время года воду с 13 до 84 градусов в количестве 20 м куб./ч; в холодное время года нагревается 20 м куб./ч с 11 до 53 градусов. Расчетный срок окупаемости составил около двух лет (за счет экономии топлива на нагрев воды). По факту в результате внедрения данной системы и ее эксплуатации окупаемость инвестиций составила менее одного года. Предприятие ежегодно экономит топлива на сумму более 100 000 евро. Получив экономический эффект от данной системы рекуперации тепла, очередную аналогичную установку ОАО «Савушкин продукт» интегрирует в аммиачное холодильное оборудование в филиале (г. Столин) – оно на стадии монтажа. На сегодняшний день ОАО «Савушкин продукт» – пока единственное предприятие, установившее систему нагрева воды для нужд предприятия парами нагнетания от аммиачной холодильной установки.[2]

Под «промышленным холодом» подразумевают чаще всего системы холодоснабжения в пищевой промышленности. Также промышленное холодоснабжение используется в медицине и на фармацевтических предприятиях. Следующая область применения – кондиционирование воздуха в разнообразных помещениях для поддержания комфортной температуры в офисных центрах, супермаркетах, аэропортах, гостиницах и т. д.[3]

Заключение

Холодильные установки играют ключевую роль в экономике Беларуси, обеспечивая сохранность продуктов и поддержание необходимых условий в здравоохранении. Устойчивое развитие этой отрасли требует внедрения инновационных технологий и повышения энергоэффективности. Будущее холодильной техники в Беларуси связано с экологическими инициативами и государственной поддержкой.

Литература

1. Холодильное оборудование. Сферы применения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://tk-31.ru/info/articles/kholodilnoe-oborudovanie-sfery-primeneniya/ Дата доступа: 16.09.2024

2. Повышение эффективности холодильных установок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://produkt.by/storys/tekhnologii/kholod/povyshenie-effektivnosti-kholodilnykh-ustanovok Дата доступа: 16.09.2024

3. Промышленное холодоснабжение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vsm-climat.by/g946266-promyshlennoe-holodosnabzhenie Дата доступа: 16.09.2024

УДК 697.1

СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ
HEATING SYSTEMS FOR INDUSTRIAL BUILDINGS

А.С. Семененко
Научный руководитель – В.С. Королева, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Semenenko
Supervisor – V. Koroleva, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Основные методы отопления, их преимущества и недостатки, а также современные тенденции в этой области.*
Abstract: *The main methods of heating, their advantages and disadvantages, as well as current trends in this area.*
Ключевые слова: *отопление, промышленные здания, котельные, окружающая среда.*
Keywords: *heating, industrial buildings, boiler rooms, environment.*

Введение

Ключевой задачей, стоящей перед инженерами в современных условиях, является отопление промышленных зданий. Эффективное отопление не только обеспечивает комфортные условия для работы сотрудников, но и влияет на производственные процессы, безопасность и экономическую эффективность предприятия. Ведь неправильная организация отопления может привести к повреждению оборудования и сырья, что повлечет за собой большие финансовые затраты. Применение современных систем отопления позволяют не только экономить энергию, но и минимизировать неблагоприятное воздействие на окружающую среду.

Основная часть

В промышленных сооружениях применяются различные ключевые отопительные системы. К ним относится такие отопления как централизованное, автономное, воздушное, тепловое.

Централизованное отопление представляет собой систему, в которой теплоноситель, которым чаще является вода, нагревается в одной котельной и распределяется п всем зданиям через сеть трубопроводов. Данный подход значительно снижает затраты на эксплуатацию и позволяет эффективно использовать ресурсы. Однако такой подход требует больших первоначальных вложений на тепловые сети.

Автономным называется отопление здания с помощью собственного источника тепла. Это позволяет избежать затрат на прокладку магистральных трубопроводов, но требует больше ресурсов на обслуживание и эксплуатацию множества котельных. Кроме того, автономные системы могут быть менее эффективными с точки зрения использования топлива.

Воздушное отопление часто используется в производственных помещениях, где установка водяного отопления нецелесообразна из-за большой

высоты потолков. В данной системе воздух поступает с улицы, нагревается в тепловом узле до необходимой температуры и затем равномерно распределяется по помещению через изолированные вентиляционные каналы. Такая система нагрева чаще всего располагается в том же здании, в редких случаях может находится отдельно.

При проектировании системы отопления необходимо учитывать доступные источники топлива. Наиболее распространённые варианты включают: газ, дизельное топливо, уголь и возобновляемые источники энергии.

Наиболее доступным и популярным видом топлива является газ благодаря своей доступности и относительно невысокой стоимости. Однако необходимо соблюдать строгие меры безопасности, чтобы избежать риска утечки газа.

Наименьшее предпочтение отдается дизельному топливу и углю. В мире все чаще становится вопрос экологической безопасности, а применение данного топлива негативно сказывается на окружающей среде.

Самые экологически безопасные источники энергии это возобновляемые, к ним относятся солнечные коллекторы, использование биомассы и геотермальной энергии. Возобновляемые источники приобретают всё большую популярность за счет снижение углеродного следа предприятий и наиболее соответствуют современным экологическим нормам.

Заключение

Отопление промышленных объектов представляет собой непростую задачу, требующую всестороннего анализа и учета разнообразных аспектов. Выбор между централизованным и автономным отоплением и типом топлива должен основываться на специфике производства, доступности ресурсов и экономических расчетах. В условиях растущих требований к экологии и энергоэффективности важно стремиться к оптимизации систем отопления, что позволит не только снизить затраты, но и сделать вклад в устойчивое развитие промышленности.

Литература

1. Системы отопления промышленных объектов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.tris.by/otoplenie/dlya-promyshlennykh-obektov/. –Дата доступа: 31.08.2024.

2. Автономное отопление [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://realty.rbc.ru/news/6147b1dd9a794744b52c1493. – Дата доступа: 02.09.2024.

3. Отопление производственных помещений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://hogart.ru/helpful-information/otoplenie-proizvodstvennykh-pomeshcheniy/. – Дата доступа: 02.09.2024.

4. Воздушное отопление производственных помещений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://promtis.ru/poleznye_materialy/vozdushnoe-otoplenie-proizvodstvennykh-pomescheniy/. – Дата доступа: 03.09.2024.

5. Промышленное отопление: всё о монтаже и эксплуатации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://dzen.ru/a/ZW561mNJnWRXxqPD. – Дата доступа: 19.09.2024.

УДК 621.311.25

ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЭС
EFFICIENCY OF NUCLEAR POWER PLANTS

Д.В.Ридель
Научный руководитель – В.С. Королева, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
D. Ridel
Supervisor – V. Koroleva, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье рассматривается эффективности использования ТЭР на АЭС.*
Abstract: *This article examines the efficiency of using fuel and energy resources at nuclear power plants.*
Ключевые слова: *уран, ядерное топливо, экология*
Keywords: *fuel oil, uranium fuel, ecology.*

Введение

Ядерная энергетика – важнейшая отрасль глобальной энергетики, начавшая несколько десятков лет назад вносить свой заметный вклад в глобальное производство электроэнергии. Себестоимость атомной электроэнергии позволяет говорить о серьезной конкуренции с их стороны другим типам электростанции. Серьезным плюсом АЭС является отсутствие выбросов аэрозолей и парниковых газов в атмосферу.

Основная часть

Эффективность использования топливно-энергетических ресурсов на атомных электростанциях (АЭС) зависит от нескольких ключевых факторов:

- Коэффициент полезного действия (КПД): Современные АЭС имеют КПД около 33-37%. Это означает, что около трети энергии, выделяемой при делении ядер, преобразуется в электричество, а остальная часть теряется в виде тепла;
- Тип реактора: Разные типы реакторов имеют разные показатели эффективности. Например, реакторы с водой под давлением (PWR) и корпусные тяжеловодные реакторы (PHWR) считаются одними из самых эффективных;
- Повторное использование топлива: Некоторые страны, такие как Франция, активно перерабатывают отработавшее ядерное топливо, что позволяет извлекать уран и плутоний для повторного использования. 3. Это не только повышает эффективность использования ресурсов, но и снижает объем радиоактивных отходов;
- Технологические улучшения: Современные технологии позволяют улучшать процессы деления ядер и управления реакцией, что также способствует повышению эффективности;
- Управление отходами: Эффективное управление радиоактивными отходами играет важную роль в общей эффективности АЭС. Современные

методы переработки и хранения отходов помогают минимизировать их объем и потенциальное воздействие на окружающую среду;

- Экономия топлива: Использование более эффективных топливных сборок и улучшение технологий обогащения урана позволяют снизить расход топлива и увеличить его использование;
- Инновации в области безопасности: Современные системы безопасности и автоматизации позволяют более эффективно управлять реактором и предотвращать аварийные ситуации, что также способствует повышению общей эффективности;
- Международное сотрудничество: Обмен опытом и технологиями между странами помогает внедрять лучшие практики и инновации, что способствует повышению эффективности АЭС по всему миру;
- Модернизация существующих АЭС: Обновление и модернизация старых реакторов с использованием новых технологий могут значительно повысить их эффективность и безопасность. Это включает замену устаревшего оборудования, улучшение систем управления и внедрение новых методов охлаждения;
- Разработка новых типов реакторов: Исследования и разработки в области новых типов реакторов, таких как реакторы на быстрых нейтронах и ториевые реакторы, обещают более эффективное использование топлива и снижение объема радиоактивных отходов;
- Интеграция с возобновляемыми источниками энергии: АЭС могут работать в тандеме с возобновляемыми источниками энергии, такими как солнечные и ветровые электростанции, что позволяет более эффективно использовать энергетические ресурсы и снижать выбросы углекислого газа;
- Образование и подготовка кадров: Квалифицированные специалисты играют ключевую роль в эффективной эксплуатации АЭС. Инвестиции в образование и подготовку кадров помогают обеспечить высокий уровень профессионализма и безопасности на станциях.

Заключение

Для подведения итогов можно выделить что внедрение современных технологий и методов управления позволяет значительно повысить эффективность использования топливо-энергетических ресурсов, достичь более высокого КПД, переработанное и повторно использованное топливо позволяет не только снизить объемы радиоактивных отходов, но и повысить общую эффективность использования ресурсов что благоприятно сказывается на окружающей среде.

Литература

1. Перспективы ядерной энергетики в современном мире. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://habr.com/ru/articles/751484/?ssp=1&darkschemeovr=1&setlang=ru&cc=XL&safesearch=moderate – Дата доступа: 15.09.2024.

2. Атомная энергетика [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://aem-group.ru/mediacenter/informatoriy/atomnaya-energetika-v-mire.html – Дата доступа: 15.09.2024.

УДК 62-611

РЕЗЕРВНЫЕ ТОПЛИВНЫЕ ХОЗЯЙСТВА
RESERVE FUEL FACILITIES

А.В. Чернушевич, А.С. Лукашук, В.Д. Гиль
Научный руководитель – В.С. Королева, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Chernushevich, A. Lukashuk, V. Gil
Supervisor – V. Koroleva, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье сравниваются различные энергетические ресурсы в качестве резервного топлива.*
Abstract: *This article compares different energy resources as a reserve fuel.*
Ключевые слова: *мазут, печное топливо, СУГ, экология*
Keywords: *fuel oil, heating oil, LPG, ecology.*

Введение

Энергетическое оборудование, работающее в режиме постоянной нагрузки, могут более эффективно использовать ресурсы и снижать затраты на топливо и обслуживание. Поэтому для более эффективной работы предприятия необходимо поддерживать постоянную работу оборудования.

Основная часть

В реальной жизни могут случаться различные аварийные ситуации. Одной из таких может быть прорыв магистрального газопровода что приведет к прекращению снабжения топливом. Для возможности продолжения работы на предприятии предусматривается установка резервных топливных хозяйств. Основными видами топлива в таких случаях является: мазут, печное топливо и сжиженный газ.

Рассмотрим преимущества и недостатки резервных хозяйств на таких видах топлива.

Самый распространенным видом резервного топлива на территории Республики Беларусь является мазут. Это связано с его дешевизной. Но у мазута есть существенные недостатки: при попадании в почву почти не перерабатывается естественным путем и имеет особые условия хранения. Главной особенностью является то, что на его подогрев до 50 °С в отопительный период необходимо расходовать пар. Получается, что для содержания резервного топлива, нужно сжигать основное. На что может затрачиваться до 20% теплоты пара. Еще одной особенностью мазута является его расслоение при длительном хранении, из-за чего появляется необходимость его перемешивания на что затрачивается дополнительная электроэнергия.

В западных странах все большую популярность набирают сжиженные углеводородные газы (СУГ) в виде резервного топлива. Они представляют собой смесь легких углеводородов бутан и пропан. Сжиженные газы дешевле и намного экологичнее мазута и печного топлива. Большим преимуществом является то что отсутствует необходимость подогрева газов в отопительный

период. Так же есть возможность мгновенного перехода с природного газа на СУГ из-за одинаковых свойств топлива и типа горелки. Из недостатков можно отметить необходимость наличия специальных резервуаров для хранения под высоким давлением.

Печное топливо представляет собой нефтепродукт, который производится из дизельных фракций вторичной перегонки. Имеет более высокую текучесть при низких температурах в сравнении с мазутом, что позволяет экономить на электроэнергии для насосов. Главным преимуществом является низкая стоимость в сочетании с высокой теплотворной способностью что позволяет сделать выбор в сторону печного топлива. Проблемным моментом при использовании этого топлива является загрязнение фильтров парафином.

Заключение

Таким образом выбор резервного топлива требует тщательного анализа как экономических, так и экологических факторов. Мазут предоставляет привлекательные условия с точки зрения стоимости, однако его недостатки делают его менее привлекательным в современных условиях. С сжиженными углеводородными газами ситуация иная: они становятся все более предпочтительными благодаря своей экологичности и легкости в использовании. Печное топливо, имея свои плюсы в виде экономичности и высокой теплотворной способности, также сталкивается с проблемами, связанными с загрязнением. Грамотный выбор резервного топлива может стать залогом успешной деятельности предприятия в условиях нестабильности.

Литература

1. Альтернативные виды топлива [Электронный ресурс]/Альтернативные виды топлива. -Режим доступа: https://ecoportal.su/public/industry/view/1261.html. – Дата доступа: 15.09.2024.

2. Особенности печного топлива [Электронный ресурс]/ Особенности печного топлива - Режим доступа: https://gazpetrol.ru/news/news_post/osobennosti-pechnogo-topliva. – Дата доступа: 15.09.2024.

УДК 621.182

ГАЗОВЫЕ КОТЕЛЬНЫЕ МАЛОЙ МОЩНОСТИ
LOW-CAPACITY GAS BOILERS

В.А. Колончук
Научный руководитель – В.С. Королева, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
V. Kolonchuk
Supervisor – V. Koroleva, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной научной работе рассматриваются преимущества и недостатки котельных установок малой мощности, работающих на газу, которые играют ключевую роль в различных отраслях промышленности. Исследование имеет анализ принципов работы котельных установок. Данное исследование направлено на повышение осведомленности о важности сбалансированного подхода к использованию котельных установок малой мощности в различных сферах деятельности.*

Abstract: *This research paper discusses the advantages and disadvantages of small capacity gas boiler plants, which play a key role in various industries. The study analyzes the operating principles of boiler plants. This study aims to raise awareness of the importance of a balanced approach to the use of small capacity boiler plants in various fields of activity.*

Ключевые слова: *котельные установки, эффективность, газ, энергозатраты, мощность.*

Keywords: *boiler installations, efficiency, gas, energy costs, power.*

Введение

Котельные установки представляют собой важные элементы теплоэнергетических систем и используются в различных областях. Котельные установки представляют собой сложные системы, в которых взаимодействует множество компонентов, направленных на производство и передачу тепловой энергии. Принцип работы котельных установок основан на превращении топлива в тепловую энергию с помощью процесса сжигания.

Основная часть

Рассмотри преимущества котельных установок малой мощности, работающих на газу. Они имеют следующие особенности:

- Обеспечивают автономность в системе отопления и горячего водоснабжения. Оборудование не зависит от внешних факторов, к примеру, сбои в электроснабжении. Это обеспечивает непрерывную работу даже в условиях отключения электроэнергии;
- Газовый котел характеризуется производительным КПД. Это обусловлено эффективностью горения природного газа, использующегося в качестве топлива. Происходит полноценное сгорание, обеспечивая преобразование топлива в тепловую энергию;
- Также достоинство приборов заключается в компактности, это делает их

выгодным решением для установки в маленьких по размерам помещениях. Компактные габариты позволяют интегрировать приспособления в различные архитектурные стили, сохраняя пространство в доме;

– Благодаря автоматическим датчикам и надежным механизмам эта разновидность оборудования обеспечивает удобство в использовании даже для непрофессионалов.

Котельные установки функционируют на основе циклического процесса, превращая химическую энергию топлива в тепловую, которая затем используется для различных нужд, таких как отопление или производство горячей воды.

Теперь рассмотрим некоторые недостатки систем малой мощности с газовыми котлами:

– Перед тем как подбирать котел, первым шагом будет запрос разрешения у местных органов или служб, которые отвечают за строительство и безопасность;
– Газовые приборы, в том числе котлы, требуют периодического технического обслуживания и регулярных проверок, чтобы избежать возможных сбоев;
– Этот вид оборудования при монтаже нуждается в соблюдении требований к помещению, где он будет установлен. Необходимо, чтобы вентиляция хорошо работала;
– Необходимость дымохода и автоматического блока контроля

Заключение

При схожем устройстве газовые котлы имеют разный принцип работы, который определяет их энергоэффективность и производительность. Традиционные или конвекционные работают по принципу нагрева теплоносителя за счет сгорания газа. Вода нагревается быстро, но в процессе работы часть тепловой энергии вместе с продуктами горения попадает в дымоход, т.е. растрачивается впустую. Поэтому традиционные котлы при 100% потреблении топлива дают КПД 80 – 90%. Конденсационные исключают потерю тепловой энергии благодаря прогонке водяного пара и продуктов горения дополнительно через теплообменник. В нем они охлаждаются, отдавая тепло теплоносителю. КПД газового котла для дома конденсационного типа максимально приближено к 100%, и газ на отопление и нагрев воды расходуется более экономично.

Литература

1. Преимущества и недостатки газовых котлов [Электронный ресурс] – Режим доступа:https://teplopoint.ru/index.php?route=revolution/revblog_blog&revblog_category_id=1&revblog_id=36 – Дата доступа: 25.08.2024.

2. Устройство и принцип работы газовых котлов [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.vseinstrumenti.ru/publication/chto-takoe-gazovye-kotly-ustrojstvo-i-printsip-raboty-1047/ –Дата доступа: 25.08.2024.

УДК 504.054

ПРОМЫШЛЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
INDUSTRIAL POLLUTION OF THE ENVIRONMENT

М.А. Грушко
Научный руководитель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
M. Grushko
Supervisor – I. Prokopenya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация**: В настоящее время промышленное производство становится все более важным в экономическом развитии многих стран. Однако, промышленный рост влечет за собой ухудшение качества окружающей среды. В этом докладе рассмотрим проблемы, связанные с промышленным производством и его влиянием на окружающую среду.*

***Abstract**: Industrial production is becoming increasingly important in the economic development of many countries. However, industrial growth entails environmental degradation. This report will examine the problems associated with industrial production and its impact on the environment.*

***Ключевые слова:** нормы, энергия, источник, экология, тепло.*

***Keywords:** standards, energy, source, ecology, warm.*

Введение

В работе рассматривается промышленное загрязнение окружающей сред, которое является одной из самых серьезных проблем современности. В результате промышленной деятельности выделяются вредные вещества, которые попадают в воздух, воду и почву, нанося непоправимый ущерб экологии и здоровью человека. Для решения этой проблемы необходим комплексный подход, включающий в себя строгое регулирование промышленной деятельности, внедрение чистых технологий и развитие возобновляемых источников энергии.

Основная часть

Промышленное загрязнение охватывает широкий спектр источников и видов загрязняющих веществ, которые попадают в воздух, воду и почву. К ним относятся выбросы парниковых газов, такие как диоксид углерода, метан и оксид азота, которые способствуют изменению климата и ухудшают качество воздуха. Также в результате промышленной деятельности в окружающую среду попадают токсичные химические вещества, такие как тяжелые металлы, пестициды и полихлорбифенилы (ПХБ), которые накапливаются в организмах животных и людей и вызывают серьезные заболевания.

Промышленное загрязнение имеет серьезные последствия для здоровья человека и экологии. Оно вызывает заболевания органов дыхания, рак, нарушения развития детей и других заболеваний. Кроме того, оно приводит к разрушению экосистем, снижению биоразнообразия и деградации почв.

Основными источниками промышленного загрязнения являются:

- Выбросы в атмосферу: промышленные предприятия выбрасывают в воздух твердые частицы, газы и пары, содержащие вредные примеси, такие как диоксид серы, оксиды азота, сажа, тяжелые металлы и другие токсичные вещества;
- Сбросы в водные объекты: промышленные отходы, содержащие химические вещества, нефтепродукты, пестициды, тяжелые металлы и другие вредные примеси, сбрасываются в реки, озера и моря, нанося ущерб водным экосистемам и здоровью человека;
- Загрязнение почвы: в результате сброса отходов производства на землю, применения пестицидов и удобрений, а также в результате промышленных аварий и катастроф, в почву накапливаются токсичные вещества, которые могут проникать в пищевую цепь и наносить вред здоровью человека;

Для снижения отрицательного влияния промышленного производства на окружающую среду, необходимо принимать определенные меры. Вот несколько из них:

- Использование чистых источников энергии. Промышленные предприятия могут использовать возобновляемые источники энергии, такие как солнечная и ветровая энергия, для снижения уровня выбросов парниковых газов.
- Повышение эффективности производственных процессов.
- Утилизация отходов. Промышленные предприятия могут использовать различные методы утилизации отходов, чтобы сократить их плохое влияние на окружающую среду.
- Ограничение выбросов в атмосферу. Предприятия могут использовать различные методы очистки выбросов, чтобы уменьшить количество вредных веществ, попадающих в атмосферу.
- Соблюдение законодательства. Государственные органы могут принимать законы и нормы, которые регулируют деятельность промышленных предприятий, чтобы снизить их негативное влияние на окружающую среду.

Промышленное производство потребляет огромное количество энергии. Это приводит к повышению уровня выбросов парниковых газов, таких как диоксид углерода, которые в свою очередь влияют на изменение климата. Кроме того, потребление энергии может привести к истощению природных ресурсов, таких как нефть, газ и уголь.

Заключение

Промышленное загрязнение окружающей среды является серьезной проблемой, требующей незамедлительного решения. Оно наносит непоправимый ущерб здоровью человека и экологии планеты, разрушает естественные экосистемы и приводит к изменению климата. Для решения этой проблемы необходим комплексный подход, который включает в себя строгое регулирование промышленной деятельности, внедрение чистых технологий и развитие возобновляемых источников энергии. Также важно повышать

экологическую сознательность населения и стимулировать развитие экологически чистых производств.

Литература

1. Промышленное производство и окружающая среда. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://laboratoria.by/stati/promyshlennoye-proizvodstvo-i-okruzhayushchaya-sreda/ - Дата доступа: 18.09.2024

2. Промышленное загрязнение окружающей среды. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studfile.net/preview/3267765/page:8/ - Дата доступа: 18.09.2024

УДК 621.311

ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ИНДИИ И ПЛАН ЕЕ РАЗВИТИЯ ДО 2070 ГОДА
CURRENT STATE OF INDIAN POWER SYSTEM AND ITS DEVELOPMENT PLAN UP TO 2070

А.В. Казейка, Д.Д. Казыро, А.П. Каменко
Научный руководитель – В.В. Янчук, ассистент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Kazeika, D. Kazyro, A. Kamenko
Supervisor – V. Yanchuk, Assistant
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В работе представлен анализ текущей структуры энергосистемы Индии, подчеркивающий ее многообразие и сложность. В работе рассмотрены ключевые проблемы, тормозящие стабильность и эффективность данного сектора, включая неравномерность распределения ресурсов и высокую зависимость от угля. На основании проецирования и анализа существующих проблем были приведены планы правительства Индии по модернизации и развитию энергосистемы, направленные на достижение её устойчивого развития и обеспечения нулевого уровня выбросов до 2070 года.*

Abstract: *The paper presents an analysis of the current structure of the Indian power system, emphasizing its diversity and complexity. The paper examines key issues that hinder the stability and efficiency of this sector, including uneven distribution of resources and high dependence on coal. Based on the projection and analysis of existing problems, the Indian government's plans for the modernization and development of the power system were presented, aimed at achieving its sustainable development and ensuring zero emissions by 2070.*

Ключевые слова: *энергосистема Индии, возобновляемые источники, зеленая энергетика.*

Keywords: *India's power system, renewable energy, green energy.*

Введение

Национальная сеть Индии – это высоковольтная энергопередающая система, соединяющая электростанции и ключевые подстанции с потребителями по всей стране. Национальная сеть управляется государственной компанией Power Grid Corporation of India и операционно координируется компанией Power System Operation Corporation. С установленной мощностью в 442 ГВт по состоянию на январь 2024 года, это одна из крупнейших синхронных систем в мире. [1]

Сеть функционирует на частоте 50 Гц, с допустимым диапазоном изменения частоты от 49,95 до 50,05 Гц, установленным 17 сентября 2012 года. Чтобы поддерживать этот диапазон, правительство Индии требует от штатов платить больше, когда частота снижается. В дополнение к внутренним соединениям, сеть имеет синхронные соединения с Бутаном и асинхронные соединения с Бангладеш, Мьянмой и Непалом. Также предложено подводное соединение со

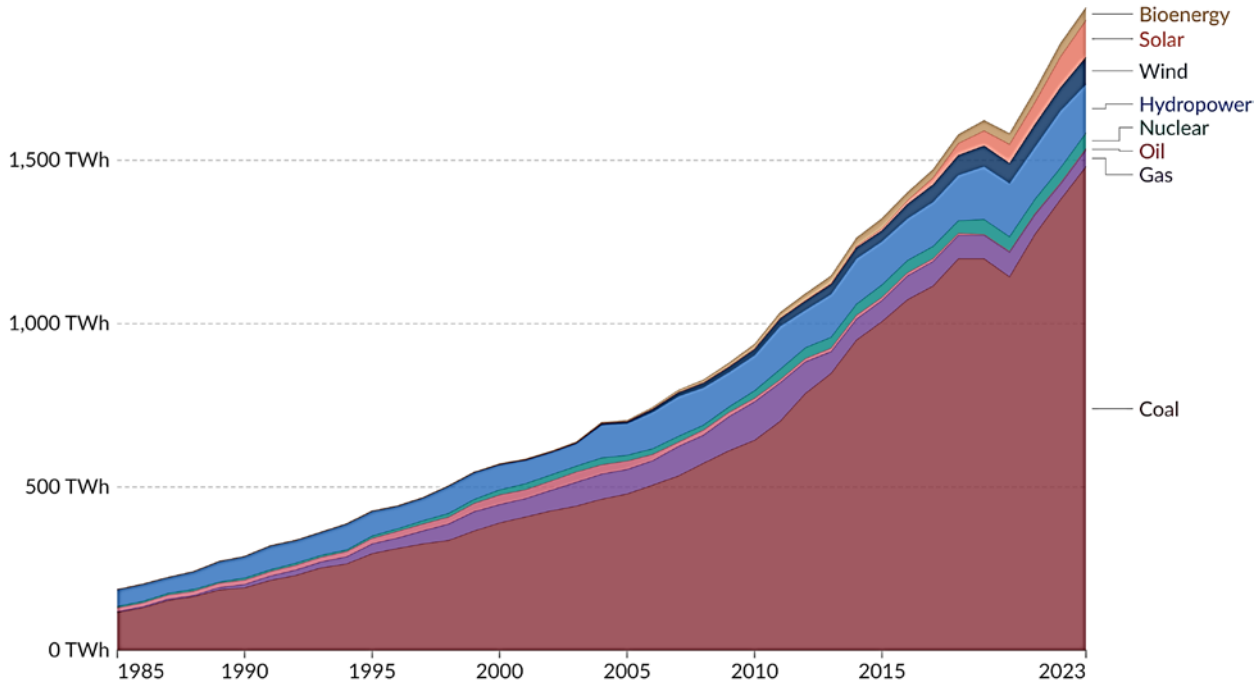
Шри-Ланкой и рассматривается создание соединения между Мьянмой и Таиландом для облегчения торговли электричеством среди стран BIMSTEC. [2]

Основная часть

В структуре установленных энергомощностей в Индии тепловые электростанции составляют 61,5%, гидроэлектростанции, включая малые, – 13,5%, ветряные электростанции – 10,3%, солнечные электростанции – 10,3%, установки на биомассе – 2,7%, атомные электростанции – 1,8%. В структуре ТЭС по видам топлива уголь занимает 86,4%, природный газ – 10,8%, дизельное топливо – 0,2%.

Среди крупнейших компаний, занимающихся генерацией электроэнергии в Индии, выделяются государственные National Thermal Power Corporation и National Hydroelectric Power Corporation. [3]

На рисунке 1 приведена основная структура энергопотребления Индии по источникам энергии.



TWh – ТВт·ч; Bioenergy – энергия боитоплива; Solar – солнечная энергия; Wind – ветряная энергия; Hydropower – гидроэнергия; Nuclear – ядерная энергия; Oil – мазут/дизельное топливо; Gas –природный газа; Coal – уголь

Рисунок 1 – Структура энергопотребления Индии по источникам энергии [4]

По состоянию на март 2024 года протяженность высоковольтных линий (66 кВ и выше) составляет 817 972 км, тогда как линий ниже 66 кВ – 14 077 053 км. Общая длина линий высокого напряжения (220 кВ и выше) позволяет создать квадратную матрицу площадью 266 км² (с сеткой со стороной 16,3 км), что обеспечивает близкое расположение линий – в среднем 8,15 км друг от друга. Это на 20% больше, чем, к примеру, в США (322 000 км для 230 кВ и выше), хотя индийская сеть передает значительно меньше энергии.

Распространение всех типов линий электропередачи (≥400 В) создает возможность формирования матрицы площадью 0,36 км², т. е. в среднем, по

крайней мере, одна линия электропередачи будет находиться на расстоянии 0,31 км от другой по всей территории страны. Но для будущей сети, в которой доминирует такая децентрализованная генерация энергии, как солнечная и ветровая энергия, ненаучное расширение электрической сети даст отрицательные результаты из-за парадокса Браеса (он гласит, что добавление дополнительных мощностей в сеть при условии, что двигающиеся по сети сущности сами выбирают свой маршрут, может снизить общую производительность). [5]

В настоящее время электроэнергетический сектор Индии сталкивается со многими проблемами, в их числе [6]:

- Имеет место дефицит подключения конечных потребителей к надежным источникам электроэнергии. Более 99% потребителей зависят от дизельных генераторов, которые вырабатывают до 80 миллиардов кВт·ч электроэнергии. Порядка 10 млн домохозяйств используют аккумуляторные источники бесперебойного питания в качестве резервных на случай сбоя;
- Энергоемкие отрасли, такие как металлургия и цементная промышленность, используют недорогую электроэнергию из сети (STOA) вместо строительства собственных ТЭС. Установленная мощность такого потребления составляет 53 ГВт. Использование сетевой электроэнергии позволяет избежать высокой стоимости собственного производства, но при этом усугубляет проблему, указанную выше;
- Угольные электростанции часто имеют завышенные показатели номинальных мощностей, которые выше фактических максимально непрерывных номинальных мощностей (MCR). Такие станции работают на 10-15% ниже заявленной мощности, что влияет на стабильность сетевого снабжения энергией;
- Несмотря на обилие ресурсов, электростанции часто испытывают нехватку угля. Проблемы с поставками являются результатом неэффективных методов добычи, коррупции и плохой инфраструктуры. Большая часть угля расположена в охраняемых лесах или на племенных землях, что затрудняет их разработку, ввиду чего почти весь уголь импортируется;
- Рост населения приводит к увеличению энергопотребления в городах, но среди граждан распространен миф о высокой стоимости энергоэффективных зданий, что препятствует их широкому внедрению;
- Политическая активность в результате катастрофы на Фукусиме негативно сказалась на развитии ядерного сектора, и практическая реализация атомных электростанций в стране не получила должного развития.

На основе перечисленных выше и иных проблем в энергетическом секторе, Индия поставила перед собой цель сократить выбросы углерода на 50% к 2030 году и достичь нулевого уровня выбросов во всей экономике к 2070 году. Это позволит решить часть проблем существующей энергосистемы за счет

внедрения энергоэффективных «зеленых» технологий по всей стране. Для этого была выработана политика устойчивой энергетики, которая определяет политику правительства по продвижению возобновляемых источников энергии и энергоэффективности, а также закон об энергосбережении, который уполномочивает центральное правительство определять схему торговли углеродными кредитами [7].

При этом Индия противостоит попыткам развитых экономик установить крайний срок для поэтапного отказа от ископаемого топлива и вместо этого выступает за переключение внимания на сокращение общих выбросов углерода с помощью «технологий снижения и смягчения последствий», при которых идет параллельное улучшение энергоэффективности существующих ископаемых и внедрение новых неископаемых способов получения энергии.

По состоянию на 2024 год мощность генерации электроэнергии от нетрадиционных возобновляемых источников энергии (энергия солнца, ветра, геотермальная энергия) достигла 100 ГВт и 46 ГВт от традиционной возобновляемой энергии (гидроэлектростанции), порядка 50 ГВт проектов находятся в стадии разработки, а 27 ГВт выставлены на тендер.

Если говорить о существующих положениях развития «зеленой» энергетики в стране, то преобладающими являются ветряная и солнечная энергия.

Потенциал гидроэнергетики Индии оценивается примерно в 125 ГВт при коэффициенте нагрузки 60%. Установленная мощность гидроэлектростанций по состоянию на март 2024 года составляла 46 ГВт.

В 2021 году потенциал ветроэнергетики Индии на суше оценивался в 302 ГВт на высоте 100 м и 696 ГВт на высоте 120 м. Индия занимает четвертое место в мире по установленной мощности ветрогенераторов, которая на август 2023 года составляла 44 ГВт. Потенциал морской ветроэнергетики Индии равен 112 ГВт на расстоянии до 50 м от береговой линии и 195 ГВт на расстоянии до 1000 м. [8]

Сектор солнечной энергетики в Индии обладает огромным потенциалом, однако большая часть этого потенциала остается неиспользованной. Ежегодно на территорию Индии падает около 5000 трлн кВт·ч солнечного излучения, среднесуточный потенциал составляет 0,25 кВт·ч/м². На март 2024 года установленная мощность солнечных электростанций составляла 82 ГВт, позволив Индии занять третье место в мире по данному показателю.

Для солнечных электростанций требуется около 2 гектаров земли на 1 МВт мощности, что сопоставимо с угольными и гидроэлектростанциями. Использовав 1% территории Индии (около 32000 км²), можно установить станции мощностью 1,33 млн МВт. В Индии имеется более 8% неплодородных земель, которые идеально подходят для этих целей. [9]

Основной недостаток солнечной энергии заключается в ее выработке только днем, что создает проблемы ночью и в пасмурное время. Этот недостаток можно устранить, используя гидроаккумулирующие электростанции.

Заключение

Можно сделать вывод, что развитие сектора энергетики Индии до 2070 года ожидается как динамичное и многоуровневое. Страна стремится к переходу на

устойчивые источники энергии, что включает в себя значительное увеличение доли возобновляемых источников. Инвестиции в чистые технологии, а также развитие инфраструктуры для хранения и распределения энергии будут ключевыми факторами этого процесса. При этом важной задачей остается улучшение энергетической безопасности и доступности энергии для всех слоев населения.

Литература

1. Central Electricity Authority of India [Электронный ресурс] / All India Installed Capacity of Utility Power Stations. – Режим доступа: https://cea.nic.in/reports/monthly/installedcapacity/2020/installed_capacity-06.pdf. – Дата доступа: 04.10.2024.

2. Financial Express [Электронный ресурс] / BIMSTEC needs a ‘power tool’ here’s why it is time for a green energy revolution. – Режим доступа: https://www.financialexpress.com/opinion/bimstec-needs-a-power-tool-heres-why-it-is-time-for-a-green-energy-revolution/494732/. – Дата доступа: 04.10.2024.

3. ЦДУ ТЭК [Электронный ресурс] / Электроэнергетика Индии. – Режим доступа: https://www.cdu.ru/tek_russia/articles/6/1131/. – Дата доступа: 04.10.2024.

4. Our world in data [Электронный ресурс] / Electricity production by source, India. – Режим доступа: https://ourworldindata.org/grapher/electricity-prod-source-stacked?tab=chart&country=~IND. – Дата доступа: 04.10.2024.

5. Braess, D. Über ein Paradoxon aus der Verkehrsplanung / D. Braess. – Hamburg, 1968. – 268 s.

6. KPMG [Электронный ресурс] / Power Sector in India: White paper on Implementation Challenges and Opportunitie. – Режим доступа: https://www.kpmg.de/docs/PowerSector_2010.pdf. – Дата доступа: 04.10.2024.

7. BBC [Электронный ресурс] / COP26: India PM Narendra Modi pledges net zero by 2070. – Режим доступа: https://www.bbc.com/news/world-asia-india-59125143. – Дата доступа: 04.10.2024.

8. Indian wind turbine manufacturers association [Электронный ресурс] / Installed capacity of wind power projects in India. – Режим доступа: http://www.indianwindpower.com/news_views.php. – Дата доступа: 04.10.2024.

9. WAAREE [Электронный ресурс] / 5 MW Solar Power Energy Plant in India: Profit, Cost & Land Requirement. – Режим доступа: https://waaree.com/blog/5-mw-solar-power-plant-in-india. – Дата доступа: 04.10.2024.

УДК 621.183

ПРЕДОХРАНИТЕЛНЫЕ КЛАПАНА
SAFETY VALVES

П.Д. Кагочкин, А.С. Ганжа
Научный руководитель – В.С. Королева, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
P. Kagochkin, A. Hanzha
Thesis advisor – V. Koroleva, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье рассмотрены предохранительные клапана, методика их расчета и применение.*
Abstract: *This article discusses safety valves, their calculation methods and application.*
Ключевые слова: *предохранительный клапан, устройство, расчет, пропускная способность.*
Keywords: *safety value, device, calculation, throughput.*

Введение

После выработки теплоты в энергоцентрах возникает необходимость передачи этой энергии потребителям. Для этих целей используют теплоагенты под высоким давлением, что обуславливается более высоким энергетическим потенциалом теплоносителя в единице объема, необходимостью преодоления сопротивления, подающего и обратного трубопроводов (противодавление), экономичностью и т.д. Любой теплоноситель при высоком давлении представляет опасность для обслуживающего персонала. Прорыв такого трубопровода вне зависимости от теплоносителя может привести к травмам и смертям. С целью предотвращения несчастных случаев предусматривают установку предохранительных клапанов.

Основная часть

Выбор предохранительного клапана основывается на сравнении аварийного расхода и расчета пропускной способности теплоносителя через ПК. Максимальная величина аварийного расхода должна быть меньше суммарной пропускной способности всех клапанов, установленных на трубопроводе. После чего по каталогам выбирается клапан конкретного производителя с заданными геометрическими размерами.

Аварийный расход представляет собой отношение теплопроизводительность котла к теплоте фазового перехода теплоносителя. Пропускная способность ПК определяется по методике ГОСТ 12.2.085-2017.

Расчет производится по следующему алгоритму:

- Анализ возможных сценариев аварийных ситуаций (определение причин повышения давления);
- Определение фазового состояния теплоносителя на входе в ПК и выявление причин образования двухфазной смеси;
- Расчет сценария аварийной ситуации, определение минимально

необходимого расхода сбрасываемого продукта и его характеристик (состава, давления, температуры);

– Определение методики расчета пропускной способности ПК, включая определение режима течения, вычисление пропускной способности, расчет необходимой площади седла;
– Определение величины противодавления линии аварийного сброса.

В качестве модели предохранительного клапана выступает штуцер, который рассматривается как идеальное сопло. На основе этой модели сначала определяется расход через клапан для процесса без теплообмена с окружающей средой (адиабатический процесс) и потери на гидравлическое трение (изоэнтропное течение). При этом также пренебрегают:

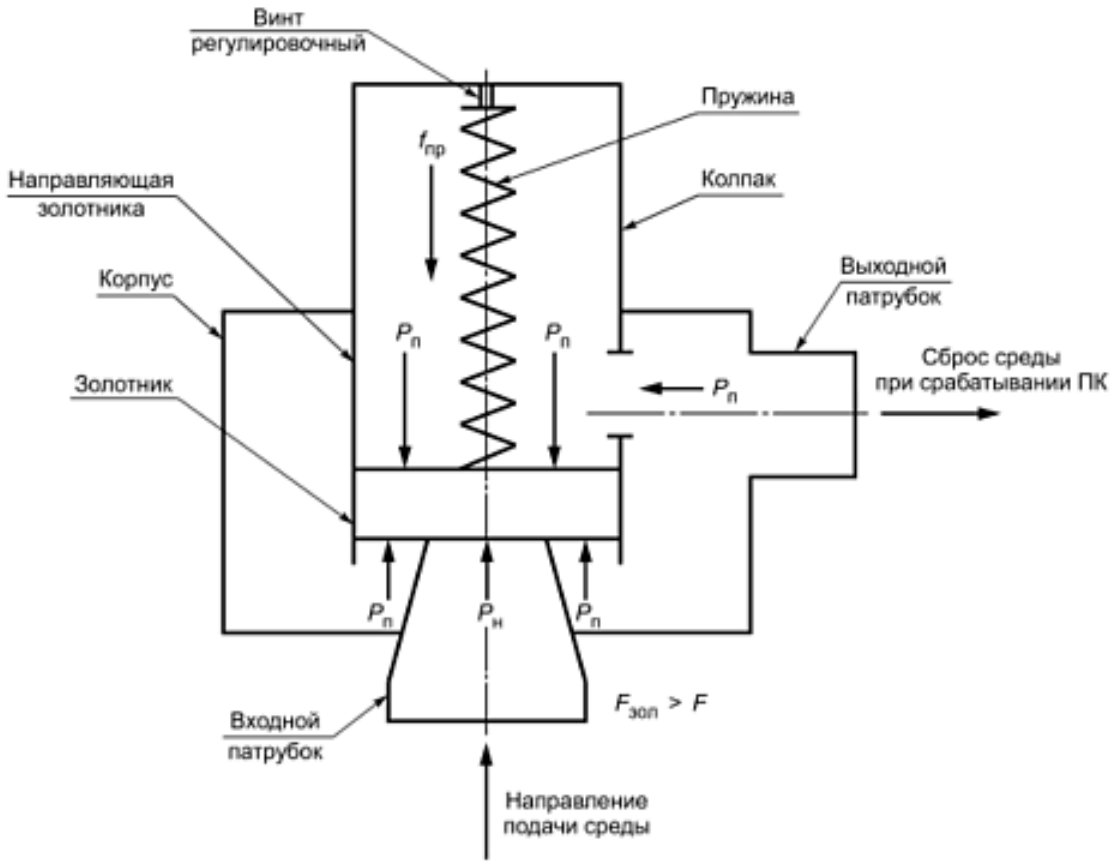
– гидростатическими потерями, связанными с разницей в высотах между входным и выходным патрубками клапана;
– различием скоростей потока среды перед входным и за выходным патрубком клапана.

С целью учета реальных условий, влияющих на происходящие внутри клапана процессы (изменения полей давлений, температур, изменение фазового состояния) результат расчетной пропускной способности, определенное по данной модели, корректируют коэффициентами.

При определении расчетной пропускной способности нужно учитывать конструкцию ПК. Принципиальный вид типового пружинного редохранительного клапана представлен на рисунке 1. Статические давления и направления движения среды на рисунке 2.



Рисунок 1 – Разрез предохранительного клапана



F – площадь седла; $F_{зол}$ – площадь золотника; $F_{порш}$ – площадь верхней части поршня; $F_{сил}$ – эффективная площадь сильфона; $P_н$ – давление настройки; $P_п$ – противодавление; $f_{пр}$ – усилие пружины.

Рисунок 2 – Схема устройства типового клапана

Типовой ПК состоит из главного колпака, который имеет золотник (поршень) и внешний корпус. Давление теплоносителя компенсируется противодавлением сбросного трубопровода, а также установленной в колпаке пружиной. Усилие, создаваемое пружиной, меняется регулировочным винтом. Сбрасываемая среда отводится в отдельно стоящие баки с возможностью повторного использования.

Заключение

Применение предохранительных клапанов необходима для достижения безопасной эксплуатации любого оборудования под высоким давлением. Их использование позволяет безвредно для обслуживающего персонала оборудования и самого оборудования избегать аварийных ситуаций.

Литература

1. Арматура трубопроводов [Электронный ресурс]/ арматура трубопроводов – Режим доступа: https://armatura-truboprovodnaya.ru/files/-----12.2.085-2017----------.----------.pdf – Дата доступа: 17.10.2024.

2. Предохранительные устройства [Электронный ресурс]/ предохранительные устройства – Режим доступа: https://scanref.ru/upload/iblock/a66/a662ceef0d1e8cf5a6aea8bec7007cb6.pdf – Дата доступа: 27.09.2024.

УДК 628.316

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТОЧНЫХ ВОД В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ: ВОЗМОЖНОСТЬ И ОГРАНИЧЕНИЯ
USING WASTEWATER AS AN ENERGY SOURCE: POSSIBILITIES AND LIMITATIONS

А.И. Тишкова, Н.В. Савко
Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Tishkova, N. Savko
Supervisor – V. Romanko, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Рассматриваются возможности и ограничения использования сточных вод в качестве источника энергии. Сточные воды, содержащие органические вещества и другие ресурсы, могут быть преобразованы в биогаз, тепло или осмотическую энергию, что открывает перспективы для устойчивого развития и снижения экологической нагрузки. В работе анализируются различные технологии, такие как анаэробное сбраживание и термический гидролиз, а также их эффективность и экономическая целесообразность. Однако наряду с возможностями существуют и значительные ограничения, включая качество сточных вод, высокие технологические затраты, регулярные препятствия и необходимость в развитой инфраструктуре.*

Abstract: *The possibilities and limitations of using wastewater as an energy source are considered. Wastewater containing organic matter and other resources can be converted into biogas, heat or osmotic energy, which opens up prospects for sustainable development and reducing environmental load. The paper analyzes various technologies, such as anaerobic digestion and thermal hydrolysis, as well as their efficiency and economic feasibility. However, along with the possibilities, there are also significant limitations, including wastewater quality, high process costs, regular obstacles and the need for developed infrastructure.*

Ключевые слова: *сточные воды, источник энергии, анаэробное сбраживание, термический гидролиз, вторичные воды.*

Keywords: *wastewater, energy source, anaerobic digestion, thermal hydrolysis, secondary water.*

Введение

Сточные воды, которые часто принимают за отходы, содержат ценные органические вещества, необходимые питательные вещества и богатые энергией соединения. Несмотря на негативное восприятие, ежедневно в мире образуются миллионы кубометров сточных вод, что делает их огромным резервуаром неиспользованных ресурсов для производства возобновляемой энергии. Признание сточных вод ценным ресурсом, а не обременительным побочным продуктом не только способствует экологической устойчивости, но и открывает многообещающие экономические возможности.

Основная часть

Снижение энергозатрат является сегодня ключевым приоритетом не только для предприятий по очистке сточных вод и водохозяйственных организаций, но и для всего мира. В сточных водах содержится в девять раз больше органических веществ, тепловой и кинетической энергии, чем требуется для очистки воды. Мы используем энергию для очистки воды, которая сама по себе является источником энергии. Потребление энергии всеми элементами такой системы должно быть оптимизировано.

Для извлечения энергии из сточных вод применяются различные процессы, каждый из которых использует свой механизм, преобразующий органические вещества в полезную энергию. Рассмотрим различные методы: анаэробное сбраживание, биомасса и её обработка, термический гидролиз.

Анаэробное сбраживание.

Анаэробное сбраживание – это биологический процесс, протекающий в отсутствие кислорода, в котором участвуют различные консорциумы микроорганизмов, разлагающих органические вещества в сточных водах.

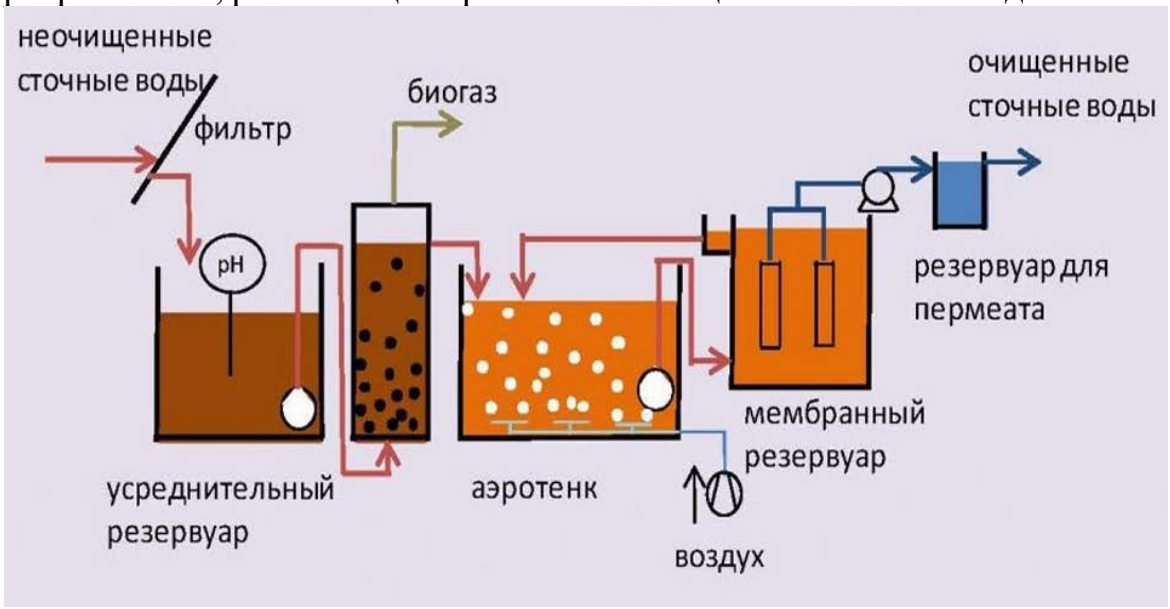


Рисунок 1 – Анаэробная система очистки

Эти микроорганизмы, включая бактерии и археи, управляют сложной серией биохимических реакций, которые преобразуют сложные органические соединения в более простые молекулы. Ключевым моментом этого процесса является микробиологическое расщепление органических веществ с получением ряда побочных продуктов, в первую очередь биогаза.

Биогаз, основной продукт анаэробного сбраживания, представляет собой газообразную смесь, состоящую в основном из метана и углекислого газа, а также небольшого количества других газов, таких как сероводород и азот. Этот универсальный источник энергии имеет большой потенциал для различных применений и является устойчивой альтернативой традиционному ископаемому топливу. В частности, содержание метана в биогазе делает его идеальным кандидатом для использования в качестве топлива для нужд отопления, промышленных процессов и производства электроэнергии.

Обезвоживание осадка.

Избыточный ил, образующийся на очистных сооружениях, в данный момент можно считать, как отход, однако он является перспективным источником энергии. Рассмотрим топливный потенциал осадка с энергетической точки зрения. Он может быть использован для обезвоживания вместо традиционного ископаемого топлива. Энергетический потенциал осадка зависит от его состава и содержащейся в нем жидкости. Исследования показали, что за счет его использования можно сэкономить 30-40 % энергии, потребляемой на очистных сооружениях. Энергетический потенциал обезвоженного осадка составляет около 13 МДж.

Таблица 1 – Энергетический потенциал

	кДж/кг сухого вещества	**1 кг сырья в МДж**
Обезвоженный ил	3 200	13
Дерево	3 780	16
Отходы из домашнего хозяйства	2 200	9
Уголь	8 000	33

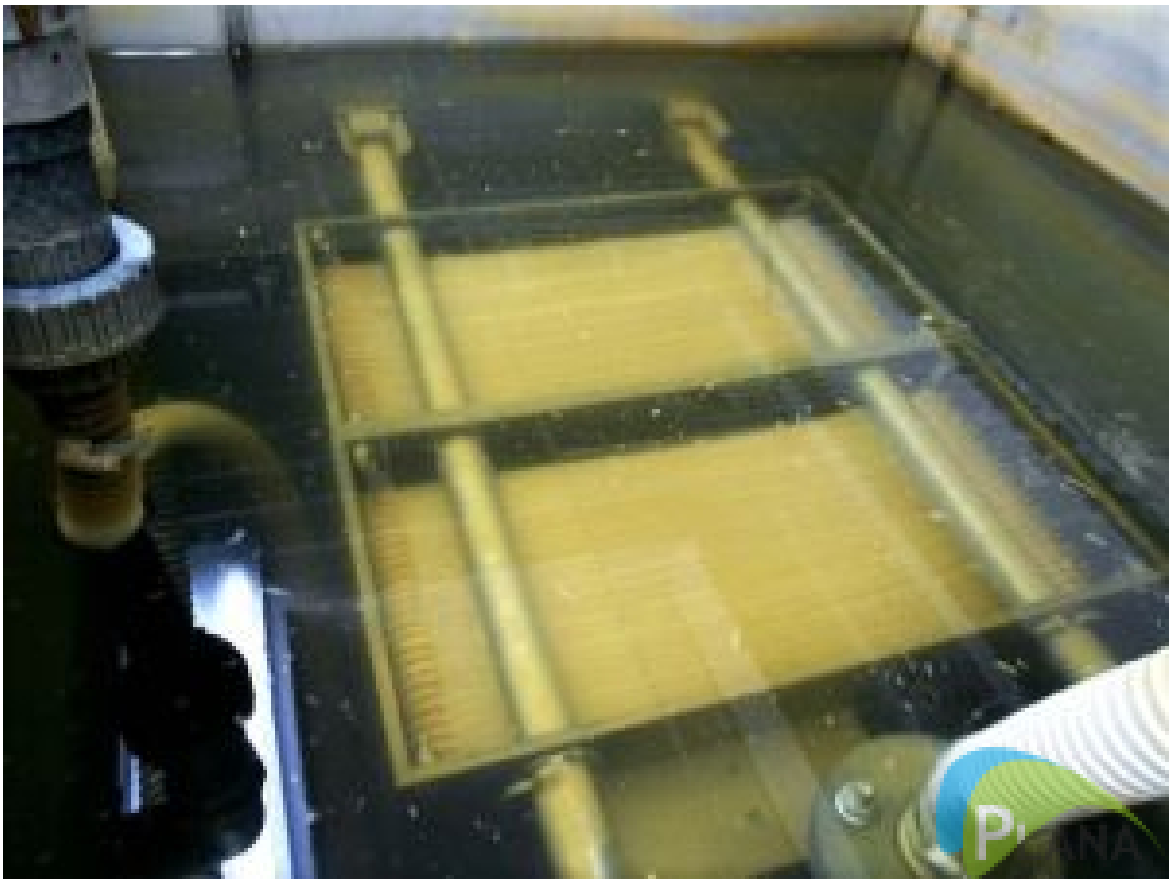


Рисунок 2 – Технология MBR (Membrane Bio Reactor)

Технология MBR (Membrane Bio Reactor) используется для применение полимерных ультра- или микрофильтрационных мембранных блоков для эффективного разделения иловодяной смеси. MBR-секция может быть одновременно как аэробным биореактором, так и фильтром-отстойником. На этих же мембранах происходит и окончательная очистка воды.

Анаэробное сбраживание уменьшает количество твердых частиц в сточных водах за счет использования энергии, содержащейся в органических веществах, и обеспечивает конкретный путь к энергетической самодостаточности.

Термический гидролиз.

Термический гидролиз обеспечивает беспрецедентное извлечение энергии из органических соединений в сточных водах.

Органические соединения в сточных водах подвергаются воздействию высоких температур и давления, которые запускают реакции гидролиза, расщепляющие сложные молекулы до более простых форм. Термическое разложение подготавливает микроорганизмы к эффективному расщеплению органических веществ в последующих процессах очистки.

Термический гидролиз ускоряет процесс расщепления органических веществ, ускоряя последующие процессы, такие как анаэробное сбраживание. В результате повышается биодоступность осадка, увеличивается производство биогаза и достигается максимальное извлечение энергии из сточных вод.

Благодаря термическому гидролизу можно уменьшить количество осадка и повысить общую эффективность процесса. В этой технологии выделение стойких соединений облегчает эксплуатационные проблемы и позволяет повысить экологичность систем очистки сточных вод.

Происходит смена подхода, когда сточные воды рассматриваются уже не как отходы, а как ценный ресурс, который может быть использован для производства возобновляемой энергии. Этот сдвиг демонстрирует изменения в управлении окружающей средой и свидетельствует о том, что присутствует неиспользованный потенциал очистных сооружений для устойчивого производства энергии в промышленности.

Заключение

Таким образом внедряя инновационные технологии, такие как анаэробное сбраживание, обезвоживание осадка и термический гидролиз водоканалы по всему миру превращают свои объекты в центры повышения энергоэффективности. У каждой из этих технологий есть свои достоинства, например, у анаэробного сбраживания производство биогаза, снижение объема отходов, снижение выбросов парниковых газов; у обезвоживания осадков экономия на утилизации, улучшение качества осадков, снижение риска загрязнения; у термического гидролиза эффективное разложение органических веществ, производство биогаза, увеличение доступности питательных веществ. Таким образом, внедрение рассмотренных технологий в промышленность является важным направлением для достижения устойчивого будущего.

Литература

1. Энергия сточных вод [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vatten.ru/knowns/energiya-stochnykh-vod/ Дата доступа: 18.09.2024.

2. Энергия сточных вод [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.asio.cz/ru/p/80.energiya-stochnykh-vod Дата доступа: 18.09.2024.

3. Вторичное использование сточных вод [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3290. Дата доступа: 18.09.2024

УДК 621.18-9

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ОСНОВНЫХ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ОПТИМАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ПАРОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

METHODOLOGY FOR STUDYING THE INFLUENCE OF THE MAIN OPERATING PARAMETERS ON THE OPTIMAL VALUES OF FEEDWATER TEMPERATURE OF COGENERATION STEAM TURBINE UNITS

Н.С. Волкович, А.О. Закиров, П.А. Дымков
Научный руководитель – З.Б. Айдарова, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
N. Volkovich, A. Zakirau, P. Dymkov
Supervisor – Z. Aidarova, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация**: Влияние режимных параметров на оптимальную температуру питательной воды.*
***Abstract**: Influence of operating parameters on the optimum feedwater temperature.*
***Ключевые слова:** температура питательной воды, турбина, противодавление, регенеративный отбор.*
***Keywords:** feedwater temperature, turbine, backpressure, regenerative extraction.*

Введение

Теплофикационные паротурбинные установки играют ключевую роль в современном энергетическом секторе, обеспечивая эффективное преобразование тепловой энергии в электрическую и тепловую. В условиях растущих требований к энергоэффективности и экологической безопасности, оптимизация режимных параметров этих установок становится особенно актуальной. Оптимальные значения температуры питательной воды напрямую влияют на термодинамические процессы в установках, что, в свою очередь, определяет их общую эффективность и надежность. Неправильный выбор температуры может привести к снижению КПД, увеличению расхода топлива и повышению выбросов вредных веществ в атмосферу. В данной статье будет рассмотрена методика исследования этого влияния

Основная часть

Оптимальному значению температуры питательной воды соответствует максимум выработки электроэнергии на тепловом потреблении

Рассмотрим простейшую теплофикационную турбоустановку (рис. 1). Обозначим расход питательной воды (расход пара на турбину) через – 1, расход пара в отбор – $a_{\text{отб}}$, а расход в противодавление – $a_{\text{к}}$. Тогда

$$a_{\text{отб}} + a_{\text{к}} = 1 \quad (1)$$

$$a_{\text{отб}} \cdot h_{\text{отб}} + a_{\text{к}} \cdot h'_{\text{к}} = 1 \cdot h_{n\text{в}}, \quad (2)$$

где $h_{отб}$, $h'_к$, $h_{пв}$ – теплосодержание пара отбора, его конденсата по состоянию за турбиной и питательной воды.

Работой сжатия в питательном насосе пренебрегаем. Решение уравнений (1) и (2) позволят записать:

$$a_{отб} = \frac{h_{пв} - h'_к}{h_{отб} - h'_к} \tag{3}$$

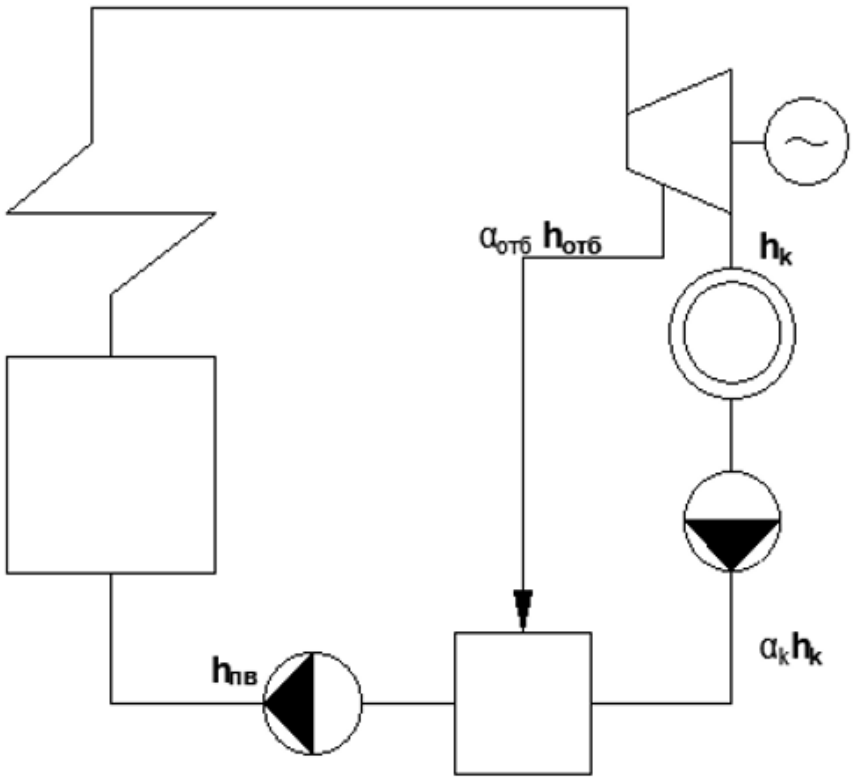


Рисунок 1 – Принципиальная схема простейшей теплофикационной установки с одним регенеративным отбором пара и противодавлением

Величина удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении для простейшей ТПТУ (см. рис. 1) может быть определена из выражения:

$$W_э = \frac{h_о - h_к}{h_{отб} - h'_к} + \frac{\frac{a_{отб}}{1 - a_{отб}} \cdot (h_o - h_{отб})}{h_к - h'_к}, \tag{4}$$

где $h_о$, $h_к$ – теплосодержание пара перед и за турбиной.

Решая совместно уравнения (4) и (5) получим:

$$W_э = \frac{h_о - h_к}{h_к - h'_к} + \frac{h_{пв} - h'_к}{h_{отб} - h_{пв}} \cdot \frac{h_о - h_{отб}}{h_к - h'_к} \tag{5}$$

При фиксированных начальных и конечных параметрах пара значения $h_о$, $h_к$ и $h'_к$ в уравнении (5) будут постоянны. Из этого следует, что первое слагаемое в уравнении (5) будет постоянно и при оптимизации значения $h_{пв}$ его можно не учитывать, тогда можно записать:

$$W'_э = \frac{h_{пв} - h'_к}{h_{отб} - h_{пв}} \cdot \frac{h_о - h_{отб}}{h_к - h'_к} \tag{6}$$

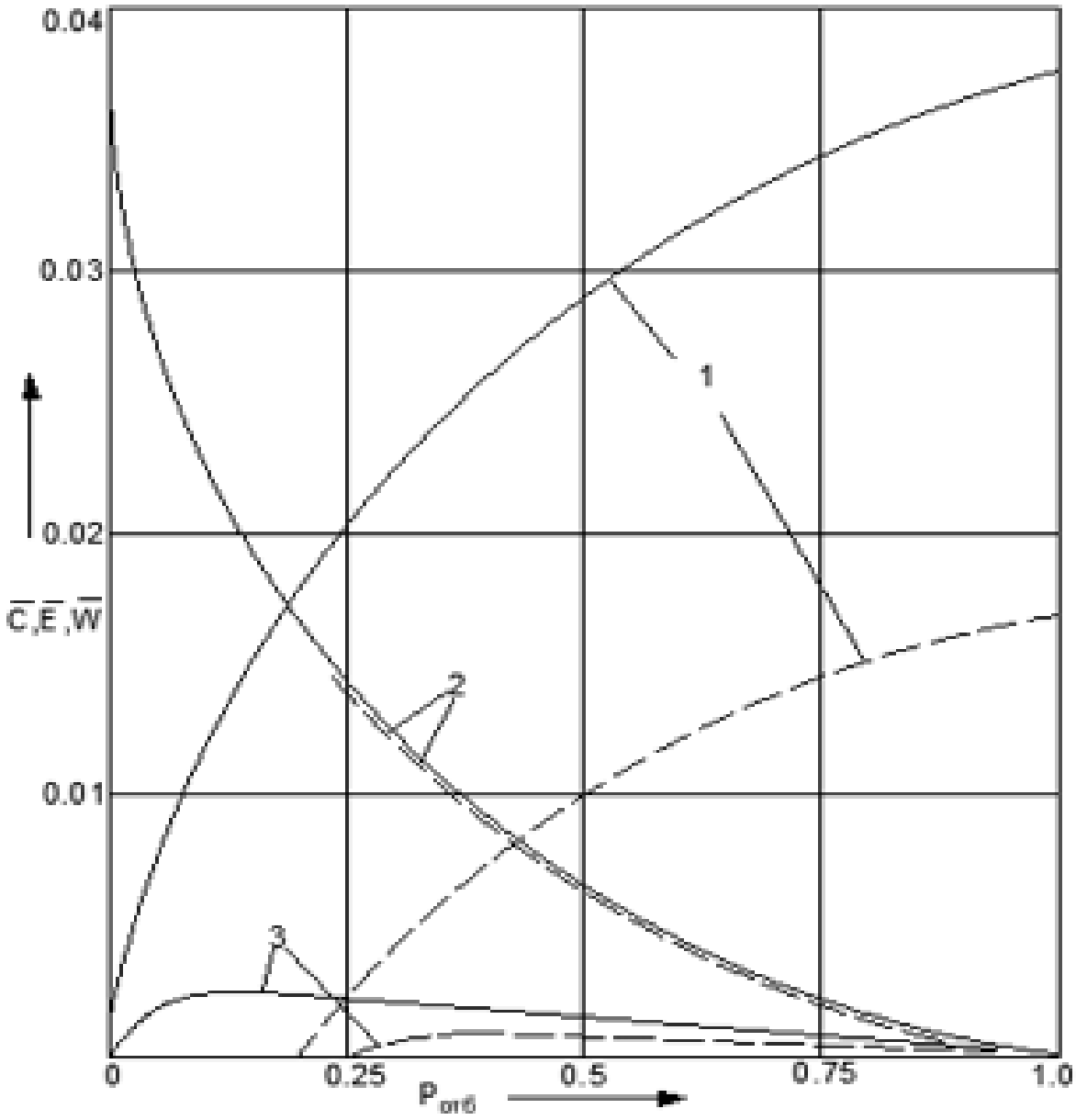


Рисунок 2 – Изменение сомножителей в выражении 6 для противодавления (сплошные) и (пунктир): 1-первого (С), 2- второго (Е): 3 – величины W'

Выражение (6) справедливо для любых начальных и конечных параметров пара турбоустановки с одним регенеративным отбором в противодавление для простейшей ТПТУ. Анализ уравнения (6) показывает, что первый сомножитель в знаменателе содержит теплоту конденсации пара отбора. Ей величина остаётся практически постоянной в широком диапазоне изменения давления пара в регенеративном отборе – $P_{\text{отб}}$ Числитель же первого сомножителя возрастает с ростом температуры питательной воды или же давления в регенеративном отборе, что определяет, в целом, рост правого сомножителя в уравнении (6). Очевидно, второй сомножитель в уравнении (6) с ростом $P_{\text{отб}}(t_{\text{пв}})$ уменьшается. Из этого следует, что W' имеет оптимум при изменении $P_{\text{отб}}$ или для

фиксированных начальных и конечных параметров цикла ТПТУ существует оптимум температуры питательной воды

Заключение

Значения $t_{пв}^{опт}$ растут с ростом величины противодавления. Важным представляется и «размытый» характер зависимости оптимума при повышении противодавления

Литература

1. Балабанович В.К., Чиж В.А. Разработка и внедрение технических решений по организации нерегулируемого отбора пара повышенного давления от турбин ПТ-60-130/13 Гродненский ТЭЦ-2 и корректировка их нормативных характеристик /Научн. отчет БПИ, 1990, с. 31.

2. Калафати Д.Д. Применение турбин с противодавлением как перспективное направление повышения эффективности малых и средних ТЭЦ. – Теплоэнергетика, 1992, № 10, с. 50-60.

УДК 644.62

БЛОЧНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ ПУНКТЫ
BLOCK HEATING POINTS

П.Д. Кагочкин, А.С. Ганжа
Научный руководитель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
P. Kagochkin, A. Hanzha
Supervisor – I. Prokopenya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье рассмотрены блочные тепловые пункты, их состав и разработка.*
Abstract: *This article discusses block heating units, their composition and development.*
Ключевые слова: *блочный тепловой пункт, теплообменник, регулятор, клапан.*
Keywords: *block heating unit, heat exchanger, regulator, valve.*

Введение

Современное строительство и развитие инфраструктуры требуют эффективных и надежных систем теплоснабжения. Блочные тепловые пункты (БТП) становятся одним из наиболее оптимальных решений, обеспечивающим централизованное отопление и горячее водоснабжение в многоэтажных жилых и общественных зданиях. В условиях стремительного роста городов и увеличения потребностей в энергоресурсах, БТП предлагают гибкие возможности для интеграции возобновляемых источников энергии и инновационных технологий, что делает их важным элементом в процессе создания устойчивых и экономически эффективных энергетических систем.

Основная часть

Проектирование индивидуальных тепловых пунктов (ИТП) может осуществляться двумя способами. Заказчик проекта самостоятельно выбирает и заказывает требуемое оборудование монтаж которого производится на месте. Такой способ сопряжен с большими затратами по времени на монтаж, а также на повышенные риски брака, т.к. сборка всех компонентов производится непосредственно в подвале строящегося здания. Второй способ подразумевает сразу заказ блочного теплового пункта. БТП представляет собой готовое изделие, состоящее из всех необходимых элементов ИТП собранных и жестко закрепленных на одной раме. БТП состоит из следующих основных блоков:

- блок ввода-учета (теплосчетчики, отключающая арматура);
- блок ГВС;
- блок отопления;
- блок системы вентиляции;
- блок подпитки;
- блок повысительных и циркуляционных насосов;
- блок регулирование;
- распределительный узел

Сборка БТП производится на заводе изготовителя теплового пункта индивидуально с учетом размеров помещения, там же проводятся пуско-наладочные работы, что является преимуществами.

Таким образом применение БТП позволяет:

– Снизить затраты на создание теплового пункта;
– Уменьшить занимаемую площадь помещения;
– Сократить срок монтажа и пусконаладочных работ;
– Упростить дальнейшую модернизацию (автоматизацию) инженерных систем зданий.

Процесс производства блочных тепловых пунктов состоит из нескольких этапов. На основании индивидуальных требований заказчика (с учетом параметров тепловой сети и систем теплопотребления, конфигурации помещения и п.р.) производится разработка принципиальной схемы, подбор оборудования. Далее осуществляется изготовление БТП на собственной производственной площадке производителя. Конечным этапом является предоставление готового БТП, паспорта и руководства по эксплуатации заказчику (рис. 1).

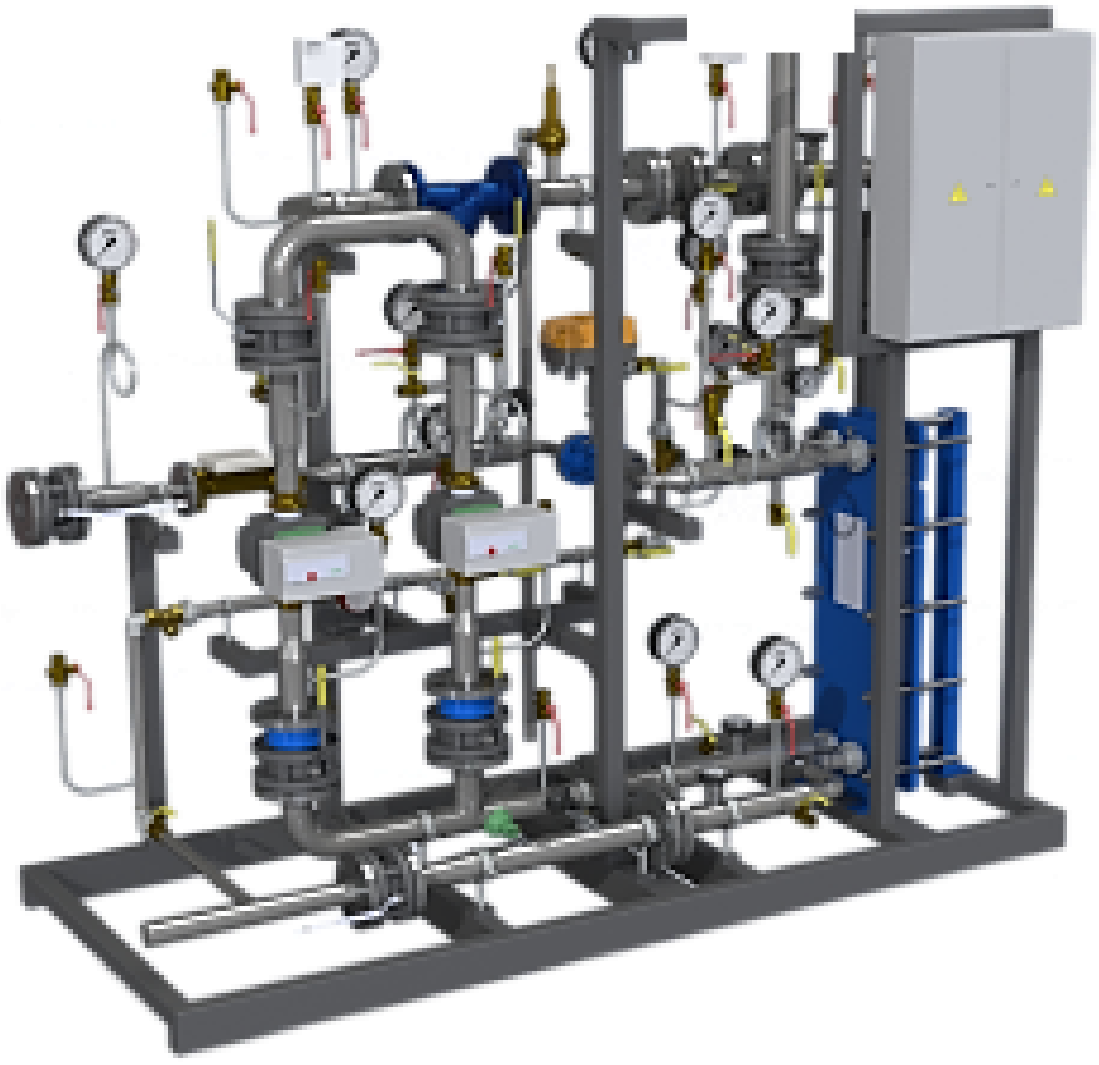


Рисунок 1 – Блочный тепловой пункт

Состав БТП может варьироваться в зависимости от нужд. Принципиальные элементы:

- пластинчатые теплообменники;
- регулирующие и обратные клапана;
- регуляторы давления;
- контрольно-измерительные приборы (КИПы);
- модули (шкафы) управления.

Визуальное представление БТП компании «Теплосила» представлен на рисунке.

Заключение

Блочные тепловые пункты обладают высокой степенью адаптивности и могут быть легко интегрированы в существующие сети отопления. Это открывает возможности для их применения в самых различных климатических условиях и различных типах зданий, что делает их универсальным инструментом для теплоснабжения. Внедрение систем дистанционного мониторинга и анализа данных позволяет не только оперативно выявлять и устранять проблемы, но и прогнозировать потребности в тепле, что значительно повышает надежность и уровень обслуживания тепловых сетей.

Литература

1. Блочные тепловые пункты [Электронный ресурс] / блочные тепловые пунктым – Режим доступа: https://teplo-sila.com/produkciya/blochnye-teplovye-punkty1 – Дата доступа: 23.11.2024.

2. Теплосила [Электронный ресурс] / Теплосила – Режим доступа: https://teplo-sila.com/ – Дата доступа: 23.11.2024.

УДК 621.165.73

ПРИНЦИП РАБОТЫ И КОНСТРУКЦИИ ТУРБИНЫ ТЕСЛЫ
PRINCIPLE OF OPERATION AND DESIGN OF TESLA TURBINE

Д.И. Барановская
Научный руководитель – Ю.П. Ярмольчик, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
D. Baranovskaya
Supervisor – Yu. Yarmolchick, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В статье рассматривается принцип работы и конструкция гидротурбины Теслы.*
Abstract: *The article discusses the operating principle and design of the Tesla hydraulic turbine.*
Ключевые слова: *турбина, пограничный слой, крутящий момент, пластины, вязкость жидкости, энергоэффективность.*
Keywords: *turbine, boundary layer, torque, plates, fluid viscosity, energy efficiency.*

Введение

Турбина Теслы представляет собой уникальное устройство, которое использует принцип динамического потока жидкости для преобразования энергии. В отличие от традиционных турбин, основанных на лопатках и механических частях, в этой турбине используются гладкие диски, между которыми происходит движение рабочей жидкости. Это позволяет значительно снизить трение, отказаться от часто меняемых в результате износа лопаток и повысить эффективность работы устройства.

Основная часть

Турбина Теслы работает по принципу пограничного слоя, отклоняясь от традиционного взаимодействия жидкости с поверхностями лопаток. Эта нестандартная конструкция приводит к высокоскоростному двигателю с низким крутящим моментом , что может ограничить его применение по сравнению с обычными устройствами. Тем не менее, Тесла предвидел его потенциальное использование в транспортных средствах и других весьма практичных приложениях, выходящих за рамки обычных границ того, что мы обычно связываем с такими устройствами [1]. Рабочая жидкость в турбине Теслы вращает диск посредством адгезии пограничного слоя и вязкого трения. Адгезия - обратимая термодинамическая работа сил, направленных на разделение двух контактирующих между собой гетерогенных тел. Описывается уравнением Дюпре [2]:

$$W_a = \sigma_{13} + \sigma_{12} - \sigma_{23}, \quad (1)$$

где W_a – обратимая работа адгезии на границе раздела фаз;
σ_{13} – поверхностная энергия на границе твёрдая поверхность-газ (ТГ);
σ_{12} – поверхностная энергия на границе жидкость-газ (ЖГ);

σ_{23} – поверхностная энергия на границе твёрдая поверхность-жидкость (ТЖ).

Прочность адгезионных контактов зависит от слабых взаимодействий на границе поверхностей, а также от формы контакта. Контакты начинают разрываться от края, далее разрыв идёт к центру контакта пока не достигнет критической конфигурации, в результате действия которой происходит полный разрыв контакта.

Важной характеристикой движущейся среды является ее вязкость. Чтобы проиллюстрировать влияние вязкости, порождающей силу сопротивления, рассмотрим две большие параллельные друг другу пластины А и В (рис. 1), неподвижные относительно друг друга. Распределение скоростей рабочего тела между пластинами также показано соответствующими стрелками. Естественно, поток начнет увлекать за собой обе пластины. Распределение градиента скоростей в потоке будет следующим: у поверхности обеих пластин скорость потока будет минимальна, а посередине – максимальна.[3]

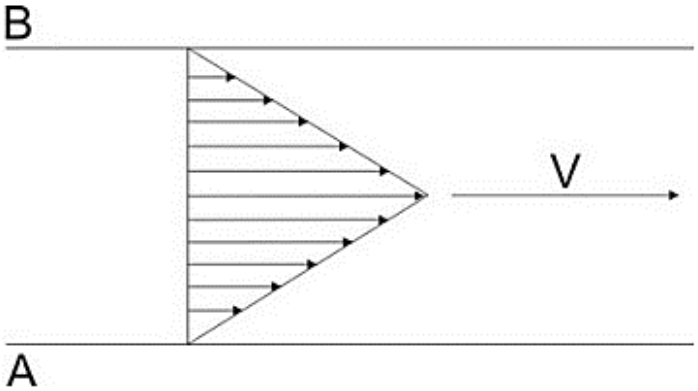


Рисунок 1 – Распределение градиента скоростей течения при неподвижных пластинах А и В

Чем меньше расстояние между пластинами и больше их площадь, тем больше сила вязкого трения, тем меньше «проскальзывания» газа между плоскостями, и тем сильнее поток увлекает за собой плоскости. Рабочее тело (газ или жидкость) подается под давлением через сопло. Получив ускорение в сопле, поток движется спиралеобразно между дисками, увлекая за собой ротор, и выходит через окна в центральной части дисков. Одно из преимуществ данной конструкции – ламинарность потока. Нет завихрений и турбулентных образований, которые снижают эффективность. [3].

Конструкция включает в себя две впускные трубы, одна из которых подключается к воздушному шлангу. Любой из этих двух входов может служить источником входного сигнала. Внутри корпуса роторные диски надежно закреплены и соединены болтами, все они соединены с внешним корпусом через общий вал. Например, при использовании в качестве насоса, вал соединяется с двигателем. Между дисками существует узкий воздушный зазор, через который проходит воздух, вызывая вращение дисков (рис. 2). Этот воздушный зазор может вызывать движение молекул воздуха по поверхностям дисков. Входной воздух может выходить в атмосферу через 4-5 отверстий, расположенных в передней и задней крышках. Стратегическое расположение этих отверстий создает вихри, заставляя воздух быстро расширяться. Этот ускоренный поток

воздуха оказывает существенное тяговое усилие на диски, заставляя их вращаться с исключительно высокой скоростью. Размеры зазоров дисков играют решающую роль в конструкции и эффективности турбины. Оптимальный размер зазора определяется окружной скоростью дисков, что имеет решающее значение для поддержания эффективности зазорного слоя.[1]

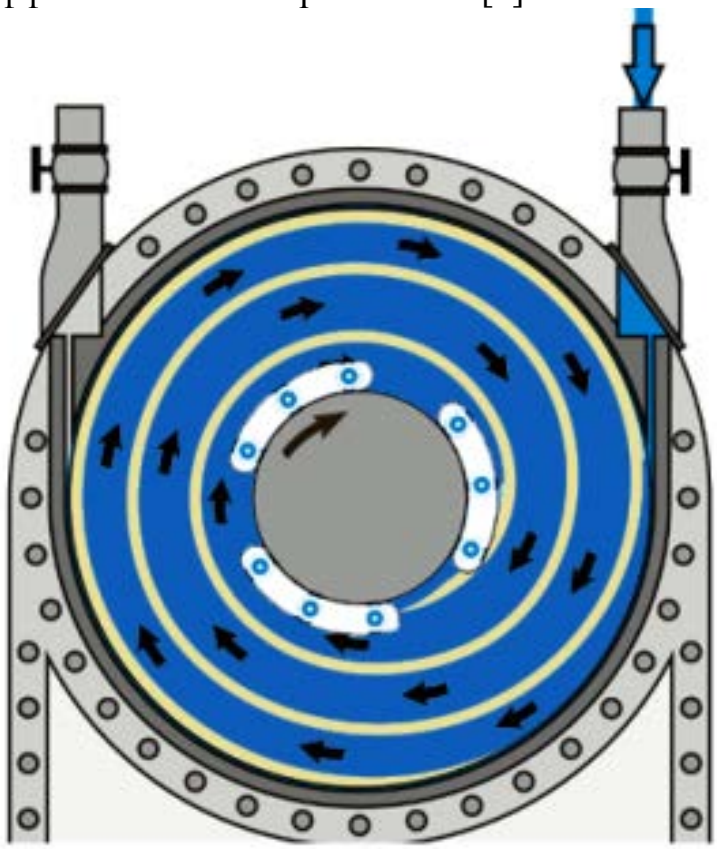


Рисунок 2 – Траектория движения рабочего тела

Сама турбина выглядит следующим образом:



Рисунок 3 – Турбина Теслы

В настоящее время турбины Тесла не имеют распространения в промышленных масштабах, но существуют люди, планирующие дать толчок развитию турбомашинам Тесла, которые проектируют и эксплуатируют агрегаты. Нет сомнений, что многие результаты проведённых исследований не опубликовываются. Достоверные экспериментальные результаты трудно найти потому, что самих экспериментальных данных имеется крайне ограниченное количество. Предполагается, что это связано с тем, что наибольший интерес к разработке турбины Тесла связан с желанием коммерциализировать турбину, тем самым искажая экспериментальную информацию.[4]

Заключение

Потенциал турбины Тесла в области возобновляемых источников энергии и энергоэффективных технологий достаточно велик. Современные исследования и разработки могут открыть новые горизонты для применения этого устройства в энергетике и не только. Она является не только свидетельством гениальности Никола Теслы, но и представляет собой перспективное направление для будущих исследований и инноваций в области энергетики.

Литература

1. Tesla Turbine- Know Definition, Diagram, Parts, Working, Efficiency, Calculations, and Uses [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://testbook.com/mechanical-engineering/tesla-turbine-definition-construction-and-types – Дата доступа: 05.11.2024

2. Доломатов М.Ю. Адгезия и фазовые переходы в сложных высокомолекулярных системах. – Уфа, 2001. – 42 с.

3. Разработка и изготовление физической модели турбины Тесла [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/55319/1/tmuenin_2017_050.pdf – Дата доступа: 05.11.2024

4. Оценка эффективности турбины Тесла [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/55320/1/tmuenin_2017_051.pdf – Дата доступа: 05.11.2024

УДК 662.951

АНАЛИЗ ПОТРЕБЛЕНИЯ ТОПЛИВА МОДУЛИРУЕМОЙ И ОДНОСТУПЕНЧАТОЙ ГОРЕЛОК
ANALYSIS OF FUEL CONSUMPTION OF MODULATED AND SINGLE-STAGE BURNERS

Н.В. Рачковский, Д.В. Самандык
Научный преподаватель – Ю.П. Ярмольчик, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
N. Rachkovsky, D. Samanduk
Supervisor – Yu. Yarmolchick, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация**: Предметом исследования данной статьи является сравнение потребления топлива при применении двух способов регулирования мощности горелок и сравнительная оценка их эффективности.*
***Abstract**: The subject of this article is a comparison of fuel consumption when using two methods of regulating burner power and a comparative assessment of their efficiency.*
***Ключевые слова**: потребление топлива, анализ, эффективность .*
***Keywords**: artificial intelligence, electrical engineering, expert system.*

Введение

В современных системах отопления и промышленных процессах сжигание топлива играет ключевую роль в обеспечении эффективности и надежности работы оборудования. Горелки, как основные устройства, отвечающие за процесс сжигания, имеют разнообразные конструкции, принципы работы, способы регулирования мощности, что влияет как на их производительность, экономичность и удобство эксплуатации, так и на стабильность работы, износ и другие эксплуатационные характеристики огнетехнических теплогенераторов.

В данной работе приведен сравнительный анализ удельного потребления топлива при применении модулируемой горелки и горелки с одноступенчатым управлением.

Целью данной работы является сравнения относительной эффективности горелок с двумя типами регулирования мощности – модулируемой и одноступенчатой. Изучение сравнительных характеристик горелок позволит более точно определить их область применения и оптимальные условия использования. Результаты исследования могут быть полезны как для специалистов в области отопительных технологий, так и для конечных пользователей, стремящихся оптимизировать свои системы сжигания топлива.

Основная часть

Анализируя график, можем разбить его на 3 части, то есть на 3 различные функции.

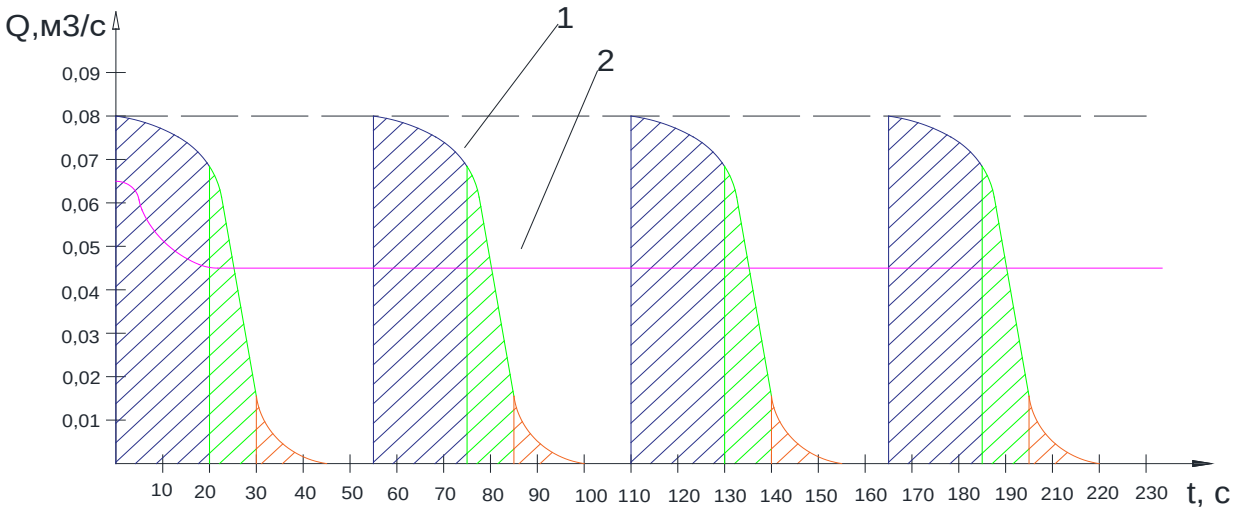


Рисунок 1 – График потребления топлива модулируемой (2) и одноступенчатой горелок (1)

Определение параметра k.

На первом отрезке кривой (участок синего цвета) рассчитаем расход топлива по обратной экспоненциальной функции:

$$f(x) = 1 - e(-x) \quad (1)$$

Для этого участка функция будет выглядеть следующим образом:

$$Q(t) = 0.08 \cdot (1 - \exp(-k(t - 10))) \quad (2)$$

Для определения параметра k по графику можно увидеть, что на 20-й секунде расход составляет 0.065 м³/с. Подставим это значение в уравнение:

$$Q(20) = 0.08 \cdot \left(1 - \exp\left(-k(20 - 10)\right)\right) = 0.068$$

Решим это уравнение для k:

$$0.068 = 0.08 \cdot (1 - \exp(-10k)) \gg$$

$$\frac{0.068}{0.08} = 1 - exp(-10k) \gg$$

$$exp(-10k) = 1 - \frac{0.068}{0.08} = 1 - 0.85 = 0.15$$

Теперь возьмем натуральный логарифм обеих сторон:

$$-10k = ln\,(0.15)$$

В итоге параметр k равен:

$$k = \frac{-\ln(0.15)}{10} \approx 0.0733$$

Расход топлива на интервале от 0 до 20 секунд.

Определим функцию расхода топлива на интервале от 0 до 20 секунд:

$$Q(t) = 0.08 \cdot \left(1 - \exp\left(-0.0733(t - 10)\right)\right), 0 \le t \le 20$$

Интегрирование для расчета расхода.

Рассчитаем расход топлива за первые 20 секунд:

$$W_1 = \int_0^{10} \frac{0.08}{10tdt} + \int_{10}^{20} Q(t)dt \quad (3)$$

Интеграл на первом интервале (от 0 до 10 секунд):

$$W_1 = \int_0^{10} \frac{0.08}{10tdt} = ([\frac{0.08}{20}\ t^2])_0^{10} = \frac{0.08}{20(100)} = 0{,}4\ \text{м}^3/\text{с}$$

Интеграл на втором интервале (от 10 до 20 секунд). Для интегрирования функции $Q(t)$:

$$W_1^{(2)} = \int_{10}^{20} 0.08(1 - \exp(-0.0733(t-10)))dt$$

Разделим интеграл:

$$W_1^{(2)} = \int_{10}^{20} 0.08dt - \int_{10}^{20} 0.08 \cdot \exp(-0{,}0733(t-10))dt$$

Первый интеграл:

$$\int_{10}^{20} 0.08dt = 0.08 \cdot (20-10) = 0.08 \cdot 10 = 0.8\ \text{м}^3/\text{с}$$

Второй интеграл можно решить с помощью подстановки:

– пусть $u = t - 10$,

– тогда $du = dt$,

и пределы интегрирования изменяются с $t = 10$ на $u = 0$, а с $t = 20$ на $u = 10$. Получим итоговую формулу:

$$W_1^{(2)} = -0.08 \int_0^{10} e^{(-0.0733u)}du$$

Решим этот интеграл:

$$\int_0^{10} e^{-au}du = \frac{-1}{ae^{-au}}, \text{ где а} = 0.0733:$$

$$W_1^{(2)} = -0.08([\frac{-1}{0{,}0733}e^{(-0.0733u)})]_0^{10} = -0.08([\frac{-1}{0.0733} \cdot e^{(-0{,}733)} - e^0)] =$$

$$= -0.08([\frac{-1}{0.0733} \cdot e^{(-0{,}733)} - 1)]$$

Теперь подставим значения: $e^{(-0.733)} \approx 0.4804$:

$$W_1^{(2)} = -0.08([\frac{-1}{0.0733} \cdot (0.4804 - 1)]) = 0.08 \cdot 1 - \frac{0.4804}{0.0733} = 0.08 \cdot \frac{0.5196}{0.0733}$$

$$= 0.08 \cdot 7.0917 \approx 0.5673\ \text{м}^3$$

Общий расход топлива за первые 20 секунд.

Сложим оба результата:

$$W_1 = W_1^{(1)} + W_1^{(2)} = 0.4 + 0.5673 \approx 0.9673 \text{ м}^3$$

Итог Таким образом, общий расход топлива за первые 20 секунд составляет примерно 0.9673 м³.

Интервал от 20 до 30 секунд.

На этом интервале (участок зеленого цвета) расход топлива изменяется линейно от 0.068 м³/с до 0.015 м³/с. Линейная функция может быть записана в виде:

$$Q(t) = mt + b \quad (4)$$

Для нахождения коэффициентов m (наклон) и b (свободный член), используем два известных значения. В момент времени $t = 20$ секунду:

$$Q(20) = 0.068 \frac{\text{м}^3}{c}.$$

В момент времени $t = 30$ секунду:

$$Q(30) = 0.015 \frac{\text{м}^3}{c}.$$

Находим наклон m:

$$m = Q(30) - \frac{Q(20)}{30} - 20 = 0.015 - \frac{0.068}{30} - 20 = \frac{-0.053}{10} = -0.0053$$

Теперь подставим одно из значений, чтобы найти b. Используем значение в момент времени $t = 20$:

$$0.065 = -0.0053 \cdot 20 + b \gg$$
$$b = 0.065 + 0.13 = 0.195$$

Таким образом, функция расхода топлива на интервале от 20 до 30 секунд:

$$Q(t) = -0.0053t + 0.195, \ 20 \leq t < 30$$

Расчет расхода топлива на интервале от 20 до 30 секунд.

Вычислим расход топлива за этот интервал:

$$W_1 = \int_{20}^{30} Q(t)dt = \int_{20}^{30} (-0.0053t + 0.195)dt \quad (5)$$

Разделим интеграл:

$$W_1 = \int_{20}^{30} -0.0053tdt + \int_{20}^{30} 0.195tdt$$

Первый интеграл:

$$\int_{20}^{30} -0.0053tdt = -0.0053 \cdot \left(\left[\frac{t^2}{2}\right)\right]_{20}^{30} = -0.0055 \cdot \left(\left(\frac{30^2}{2} - \frac{20^2}{2}\right)\right)$$
$$= -0.0053 \cdot \left(\left(\frac{900}{2} - \frac{400}{2}\right)\right) = -0.0053 \cdot (450 - 200)$$
$$= 0.0053 \cdot 250 = -1.325 \text{ м}^3$$

Второй интеграл:

$$\int_{20}^{30} 0.195dt = 0.195 \cdot (30 - 20) = 0.195 \cdot 10 = 1.95$$

Теперь сложим оба результата:

$$W_1 = -1.325 + 1.95 = 0.625 \text{ м}^3$$

Интервал от 30 до 45 секунд.

На данном интервале (участок оранжевого цвета) расход топлива изменяется по экспоненциальной функции от 0.015 м³/s до 0 м³/s. Экспоненциальная функция представлена в следующем виде:

$$Q(t) = Q_0 e^{-kt} \quad (6)$$

где Q_0 = 0.015 м³/s, а k – это константа, которую нужно определить.

Известно, что в момент времени t = 45 с, расход топлива должен быть равен нулю. Поскольку экспоненциальная функция стремится к нулю, мы можем выбрать k так, чтобы это соответствовало значению на конце интервала. Находим значение в момент времени t=45 с:

$$Q(45) = Q_0 e^{-k(45-30)} = 0 \frac{\text{м}^3}{c}.$$

Поскольку экспонента никогда не равна нулю, мы можем просто использовать значение на t=30 с: Используем уравнение для нахождения значения: В момент времени t=30 с:

$$Q(30) = Q_0 e^{-k(30-30)} = Q_0 = 0.015 \frac{\text{м}^3}{c}.$$

Мы можем принять k = (ln(2))/15, чтобы достигнуть значения нуля к моменту времени t=45 с. Таким образом, функция будет иметь вид:

$$Q(t) = 0.015e^{\left(\frac{-\ln(2)}{15(t-30)}\right)}, \qquad 30 < t < 45.$$

Расчет расхода топлива на интервале от 30 до 45 секунд.

Вычислим расход топлива за этот интервал:

$$W_2 = \int_{30}^{45} Q(t)dt = \int_{30}^{45} 0.015e^{\left(\frac{-\ln(2)}{15(t-30)}\right)}dt$$

Используем замену переменной:

пусть: $u = t - 30$, тогда $du = dt$, пределы интегрирования изменяются с $t = 30$ на $u = 0$, а с $t = 45$ на $u = 15$.

Тогда интеграл приобретает вид:

$$W_2 = \int_0^{15} 0.015e^{\left(\frac{-\ln(2)}{15u}\right)}du = 0.015 \cdot \left(\left[\frac{-15}{\ln(2)}e^{\left(\frac{-\ln(2)}{15u}\right)}\right)\right]_0^{15}$$

$$= 0.015 \cdot \frac{(-15)}{\ln(2)\,(e^{-1} - e^{0})} = 0.010 \cdot \frac{(-15)}{\ln(2)(e^{-1} - e^{0})}$$

Значение $e^{-1} \approx 0.367879$, подставляем значения:

$$W_2 = 0.015 \cdot \frac{(-15)}{\ln(2)\,(0.367879 - 1)} = 0.015 \cdot \frac{(-15)}{0.693147 \cdot (-0.632121)}$$

$$= 0.015 \cdot 15 \cdot \frac{0.632121}{0.693147} = 0.015 \cdot 13.682 = 0.2052 \text{ м}^3.$$

Общий расход топлива.

Сложим результаты для обоих интервалов:

– расход от 0 до 20 секунд $\Rightarrow W_1 \approx 0.9673$ м^3 (участок синего цвета)

– расход от 20 до 30 секунд $\Rightarrow W_2 \approx 0.625$ м^3 (участок зеленого цвета),

– расход от 30 до 45 секунд $\Rightarrow W_3 \approx 0.2052$ м^3 (участок оранжевого цвета).

Общий расход топлива составляет:

$$\mathrm{W}_{\text{общий}}^{\text{цикл}} = \mathrm{W}_1 + \mathrm{W}_2 + W_3 = 0.9673 + 0.625 + 0.2052 \approx 1.7975 \text{ м}^3.$$

Итог Общий расход топлива за указанные интервалы составляет примерно 1.7975 м³. В данном исследовании анализ проводится на промежутке 450 с, то есть за это время горелка с одноступенчатым регулированием совершит 8 циклов

Суммарное потребление газа будет равно:

$$W_{\text{общий}} = 1.7975 \text{ м}^3 \cdot 8 = 14.388 \text{ м}^3.$$

Расход топлива от 0 до 20 секунд модулируемой горелки.

Здесь расход уменьшается экспоненциально от 0.065 м³/с до 0.045 м³/с. Расход газа от 20 до 450 секунд на данном участке графика расход остается постоянным на уровне 0.045 м³/с.

Для расчета расхода на этом этапе, мы можем использовать формулу экспоненциального затухания.

Обозначим:

– $Q_0 = 0.065 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$ – начальный расход,

– $Qf = 0.045 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$ – конечный расход,

$t_f = 20$ с – время, за которое происходит изменение. Функция расхода может быть представлена в виде:

$$Q(t) = Q_0 + (Q_f - Q_0) \cdot \left(\left(1 - e^{-\lambda t)}\right)\right) \quad (7)$$

где λ – коэффициент затухания. Чтобы найти λ, мы можем использовать конечное время:

$$Q_f = Q_0 + (Q_f - Q_0) \cdot (1 - e^{-\lambda t_f}) \quad (8)$$

Подставим значения:

$$0.045 = 0.065 + (0.045 - 0.065) \cdot \left(1 - e^{(-20\lambda)}\right).$$

Решим это уравнение для нахождения λ:

$$0.045 - 0.065 = (0.045 - 0.065) \cdot (1 - e^{(-20\lambda)}) =>$$
$$-0.020 = -0.020 \cdot (1 - e^{(-20\lambda)}).$$

Это уравнение верно при $e^{(-20\lambda)} = 0$, что невозможно, поэтому мы можем просто взять среднее значение расхода на этом интервале:

$$Q_{\text{ср}} = Q_0 + \frac{Q_f}{2} = 0.065 + \frac{0.045}{2} = 0.055 \ \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Общий расход за первые 20 секунд:

$$Q_1 = Q_{\text{ср}} \cdot t_f = 0.055 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \cdot 20\ c = 1.1\ \text{м}^3$$

Расход газа от 20 до 450 секунд.

На этом этапе расход остаётся постоянным на уровне 0.045 м^3/с. Время составляет $450 - 20 = 430$ с. Рассчитаем общий расход за этот интервал:

$$Q_2 = Q_f \cdot t = 0.045 \ \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \cdot 430\ \text{с} = 19.35\ \text{м}^3$$

Общий расход топлива.

Теперь сложим оба этапа, чтобы получить общий расход топлива:

$$Q_{total} = Q_1 + Q_2 = 1.1\text{м}^3 + 19.35\text{м}^3 = 20.45\text{м}^3$$

Заключение

Анализируя два графика потребления топлива модулируемой и одноступенчатой горелки, делаем неоднозначный вывод по математическим расчетам. Экономия топлива при одноступенчатом регулировании составила 29.7% относительно модулируемой горелки

Причиной неоднозначного вывода – неспособность найти мануалы потребления топлива данных горелок. Модулируемая горелка может изменять диапазон изменения мощности в пределах от 10% до 100%. Анализ данного графика проводился при постоянной мощности.

Литература

1. Сравнение ступенчатых и модулируемых горелок [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://staroruspribor.ru/articles/view/71.htm Дата доступа: 16.11.2024

2. Газовые горелки. Иссерлин А. С. 1996 [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://books.totalarch.com/gas-burners Дата доступа: 16.11.2024.

УДК 621.3.082.73

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПЬЕЗОЭНЕРГЕТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ
PROSPECTS FOR DEVELOPMENT OF PIEZOENERGY IN THE REPUBLIC OF BELARUS

В.А. Кочетков
Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
V. Kochetkov
Supervisor – T. Petrovskay, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Исследование анализирует перспективы развития пьезоэнергетики в Беларуси. Рассмотрены различные технологии преобразования механической энергии в электрическую с использованием пьезоэлектрических материалов. Определены ключевые направления применения пьезоэнергетики и разработаны рекомендации по ее развитию, включая создание научных центров и поддержку инноваций.*

Abstract: *The research explores the potential of piezoelectric energy in Belarus. It investigates various technologies for converting mechanical energy into electricity using piezoelectric materials. Key applications of piezoelectric energy are identified and recommendations for fostering its development, such as establishing scientific centers and promoting innovation, are provided.*

Ключевые слова: *пьезоэнергетика, преобразование энергии, возобновляемая энергия, энергоэффективность, инновационные технологии.*

Keywords: *piezoelectric energy, energy conversion, renewable energy, energy efficiency, innovative technologies.*

Введение

Пьезоэлектрическая энергетика имеет огромный потенциал для развития в энергетике будущего. Пьезоэлектрические технологии могут быть использованы для создания устройств, которые могут генерировать электроэнергию из механических воздействий, таких как вибрации, давление и тепловые колебания и удары. Одним из перспективных направлений развития пьезоэлектрической энергетики может стать увеличение эффективности и энергоемкости пьезоэлектрических материалов. Это позволит создавать более эффективные и долговечные устройства, способные генерировать больше энергии.

Основная часть

Пьезоэлектрический эффект обусловлен деформацией элементарных кристаллических ячеек и сдвигом подрешеток относительно друг друга при механических деформациях. Поляризованность при небольших механических деформациях пропорциональна их величине. Пьезоэффект возникает в кварце, сегнетовой соли и некоторых других кристаллах.

Напряжение, вырабатывающееся в следствии прямого пьезоэлектрического эффекта выражено формулой:

$$U_{\text{в}} = Pl\text{g}_{33}, \quad (1)$$

где P – давление, приложенное каплей в момент падения, Па;
g_{33} – электрический коэффициент напряжения, В·м/Н;
l – толщина пьезоэлемента, мм.

Институт высоких технологий и пьезотехники ЮФУ НКТБ [1] опубликовал на своем сайте таблицу значений различных параметров пьезоэлектрических материалов, одним из которых является электрический коэффициент напряжения – g_{33}.

Высоким электрическим коэффициентом напряжения обладают сегнетомягкие материалы, в частности цирконат-титанат свинца 19.

Для нахождения давления, приложенного каплей в момент падения, воспользуемся формулой:

$$P = \frac{F}{S}, \quad (2)$$

где F – сила, с которой падала капля, Н;
S – площадь падения, м^2.

Для нахождения силы, с которой падала капля, воспользуемся формулой:

$$F = mg, \quad (3)$$

где m – масса тела, кг;
g – гравитационная постоянная, м/с^2.

Для нахождения массы капли, воспользуемся формулой:

$$m = V\rho, \quad (4)$$

где ρ – плотность вещества, кг/м^3;
V – объем вещества, м^3.

Для нахождения объема капли, воспользуемся формулой:

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3, \quad (5)$$

где r – радиус окружности, м.

Для нахождения площади капли в момент падения, воспользуемся формулой:

$$S = 4\pi r^2, \quad (6)$$

Для нахождения общего объема дождевой воды на 1 м^2, выпадающего за месяц, воспользуемся формулой:

$$M = Sh, \quad (7)$$

где M – общий объем дождевой воды на 1 м^2;
S – площадь поверхности, м^2;
h – суммарное месячное количество осадков, м.

Для нахождения количества дождевых капель воды на 1 м^2, выпадающего за месяц, воспользуемся формулой:

$$\frac{M}{v}(\text{капли}) = n\ (\text{капли}), \qquad (8)$$

где v (капли) – объем капли, м^3;

n (капли) – месячное количество капель на м^2, шт.

Для нахождения напряжения, вырабатываемого из дождевых капель воды на 1 м^2, выпадающего за месяц, воспользуемся формулой:

$$Ueo = n\ (\text{капли})Ue, \qquad (9)$$

где Ueo – общее напряжение, В;

Ue – напряжение, созданное от одной капли воды, В.

Из записанных формул возможно выразить общее выходящее напряжение:

$$Ueo = \frac{M\rho lg33}{S}. \qquad (10)$$

Из уравнения получаем следующие данные, которые сведем в таблицу.

Таблица 1 – Результаты расчета

Ie (A)	Ue (мВ)	R (KOm)	P (мВт)	P_0 (мВт)
3	0,02	150	0,06	54

Заключение

Проведенное исследование открывает новые горизонты для развития пьезоэнергетики в Беларуси. Несмотря на достигнутые результаты, необходимо продолжить исследования в области создания новых материалов и технологий, а также расширять сферу применения пьезоэлектрических устройств. Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение экономических аспектов развития пьезоэнергетики, а также на оценку ее социального и экологического воздействия.

Литература

1. Зибров В.А., Тряпичкин С.А., Соколовская О.В. Пьезогенератор в устройстве структурного мониторинга водопроводных сетей [Электронный ресурс]: научный журнал «Инженерный вестник Дона». – Режим доступа: http://www.ivdon.ru/. Дата доступа: 11.02.2024.

2. Пальчевская А.А. Пьезогенераторы, пьезоэлектрика как альтернативный источник энергии / Белорус. нац. технич. ун-т [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rep.bntu.by/. Дата доступа: 13.02.2024.

СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК МАЛОЙ МОЩНОСТИ (ОТ 300 ДО 1000кВТ)

Е.М. Алехнович, И.Д. Бутько

Научный руководитель – Ринговский И.А., ассистент

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ

И.С. Сидоренко

Научный руководитель – И.А. Ринговский, ассистент

ИННОВАЦИОННЫЕ СХЕМЫ НА ОСНОВЕ МИКРОСХЕМ К155 И К561

И.Г. Черенкевич

Научный руководитель – Л.И, Новикова, старший преподаватель

РАЗВИТИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ТЕХНОЛОГИИ АККУМУЛЯТОРОВ

Т.И. Гуринов

Научный руководитель – Л.И. Новикова, старший преподаватель

ДИАГНОСТИКА НОРМАЛЬНОЙ РАБОТЫ ОТДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ АВТОМОБИЛЯ. CAN-ШИНА

И.Д. Ветров

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель

РОЛЬ БОЛЬШИХ ДАННЫХ В РАЗВИТИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИНДУСТРИИ

Н.С. Махов

Научный руководитель – Е.Н. Савкова, к.т.н., доцент

ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНАЯ ОДЕЖДА: ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И ИННОВАЦИИ

А.С. Будаев, К.М. Ясевич

Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент

ПРОБЛЕМА ПЕРЕНАСЕЛЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

А.И. Телевич, К.С. Корнеева

Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Н.Е. Вилюха

Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент

ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Н.И. Жук

Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ МИССИЙ: ОТ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ ДО РАДИОИЗОТОПНЫХ ИСТОЧНИКОВ

М.Р. Горбатовский

Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

А.П. Буйвид, А.А. Долгий

Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПИТАНИЯ РАДИОАППАРАТУРЫ

А.Д. Гак

Научный руководитель – Д.А. Ахремчук, ассистент

НАНОТЕХНОЛОГИИ В СВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ
ДИЗЕЛЬ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ (ПЕРЕДВИЖНАЯ)

П.А. Жарский

Научный руководитель – Д.А. Ахремчук, ассистент

СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ СТАНКОВ С ЧПУ

А.Н. Волков

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель

ОПТИЧЕСКИ ПЕРЕКЛЮЧАЕМЫЕ ФОТОННЫЕ БЛОКИ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЕ ДЛЯ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

К.Е. Латышенко, Н.В. Гарбузов

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель

ДАТЧИКИ ДВИЖЕНИЯ И ДАТЧИКИ ПРИСУТСТВИЯ

А.А. Мисько

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель

РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ. РЕНТГЕНОВСКИЕ ТРУБКИ

Н.В. Дейко

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель

УМНАЯ СИСТЕМА БЕЗОПАСНОСТИ

А.А. Якушева

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель

ПЬЕЗОЭЛЕМЕНТЫ

А.В. Борисенко

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель

МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТЬ ЕДИНИЦ ТЕПЛОВЫХ ВЕЛИЧИН

А.В.Лебёдкина, А.С. Лефтерова

Научный руководитель – Е.Н. Савкова, к.т.н., доцент

ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

М.В. Шугаев, С.М. Поляк
Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель

УДК 621.3

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК МАЛОЙ МОЩНОСТИ (ОТ 300 ДО 1000КВТ)
PROSPECTS FOR THE USE OF GAS TURBINES LOW-POWER INSTALLATIONS (FROM 300 TO 1000 KW)

Е.М. Алехнович, И.Д. Бутько
Научный руководитель – Ринговский И.А., ассистент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
E. Alehnovich, I. Butko
Supervisor – I. Rynhouski, Assistant
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Данная работа рассматривает перспективы использования ГТУ малой мощности в различных секторах, включая энергетику, промышленность и коммунальное хозяйство. Основное внимание уделяется экономическим и экологическим преимуществам, таким как высокая эффективность, низкие выбросы вредных веществ и возможность работы на различных видах топлива.*
Abstract: *The work examines the prospects for the use of small-capacity gas turbine units (GTU) in various sectors, including energy, industry, and municipal services. It focuses on the economic and environmental advantages, such as high efficiency, low emissions of harmful substances, and the ability to operate on various types of fuel.*
Ключевые слова: *газотурбинные установки (ГТУ), энергетика, эффективность, экономические аспекты, безопасность, промышленность.*
Keywords: *gas turbine units (GTU), energy, efficiency, economic aspects, safety, industry.*

Введение

Рынок малой генерации все больше набирает популярность. С каждым годом спрос растет всё больше. Данная тенденция объясняется своей надежностью, скоростью ввода в эксплуатацию и низкими расходами на выработку электроэнергии. В научной статье рассмотрены перспективы использования газотурбинных установок малой мощности и где они могут использоваться.

Основная часть

Газотурбинные установки малой мощности (ГТУ) (рис. 1) представляют собой эффективные решения для генерации электроэнергии и тепла. Они обладают рядом технических характеристик, которые делают их привлекательными для различных применений. ГТУ малой мощности имеют диапазон электрической мощности от 300 до 1000 кВт, что позволяет использовать их как в бытовых, так и в промышленных условиях [2].

ГТУ малой мощности используются для выработки электроэнергии в удаленных и труднодоступных районах, где нет доступа к централизованным электросетям.Они обеспечивают автономное энергоснабжение для небольших населенных пунктов и объектов [1].

На производственных предприятиях ГТУ служат резервными источниками энергии, обеспечивая бесперебойное электроснабжение в случае аварий на

внешних сетях. Это особенно важно для критически важных производств, где перебои в электроснабжении могут привести к значительным убыткам.

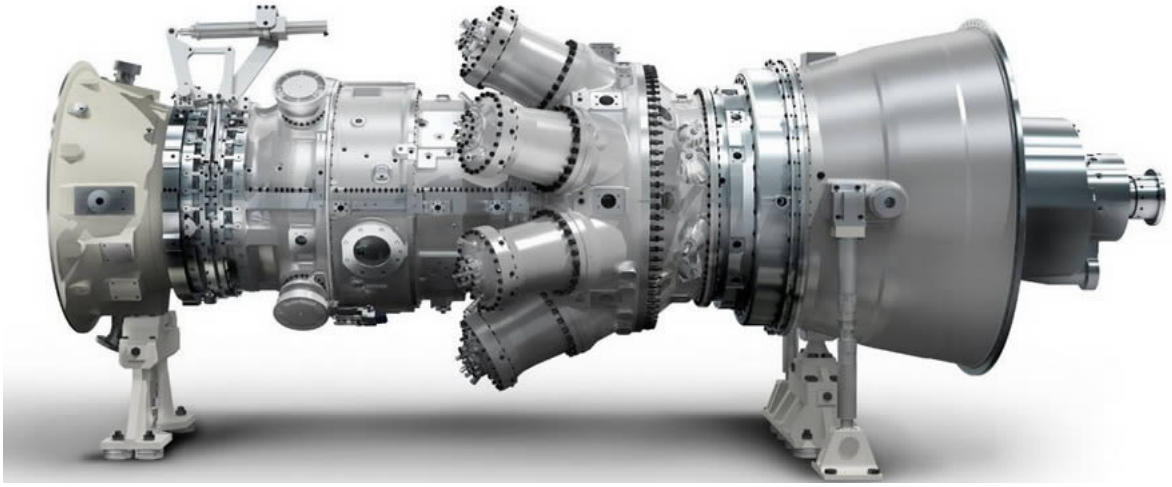


Рисунок 1 – Газотурбинная установка малой мощности

Газотурбинные установки используются для централизованного и децентрализованного теплоснабжения. Они могут работать в режиме когенерации, что позволяет одновременно вырабатывать электроэнергию и тепло, повышая общую эффективность системы.

В аграрном секторе ГТУ могут использоваться для обеспечения электроэнергией теплиц, оранжерей и других объектов, требующих стабильного энергоснабжения. ГТУ малой мощности имеют перспективы применения в авиации, особенно для легких летательных аппаратов и беспилотников, что может снизить зависимость от дорогих авиационных бензинов. Так же ГТУ малой мощности могут использоваться и в транспортных средствах (рис. 2), что позволяет повысить эффективность и снизить выбросы в окружающую среду [1].

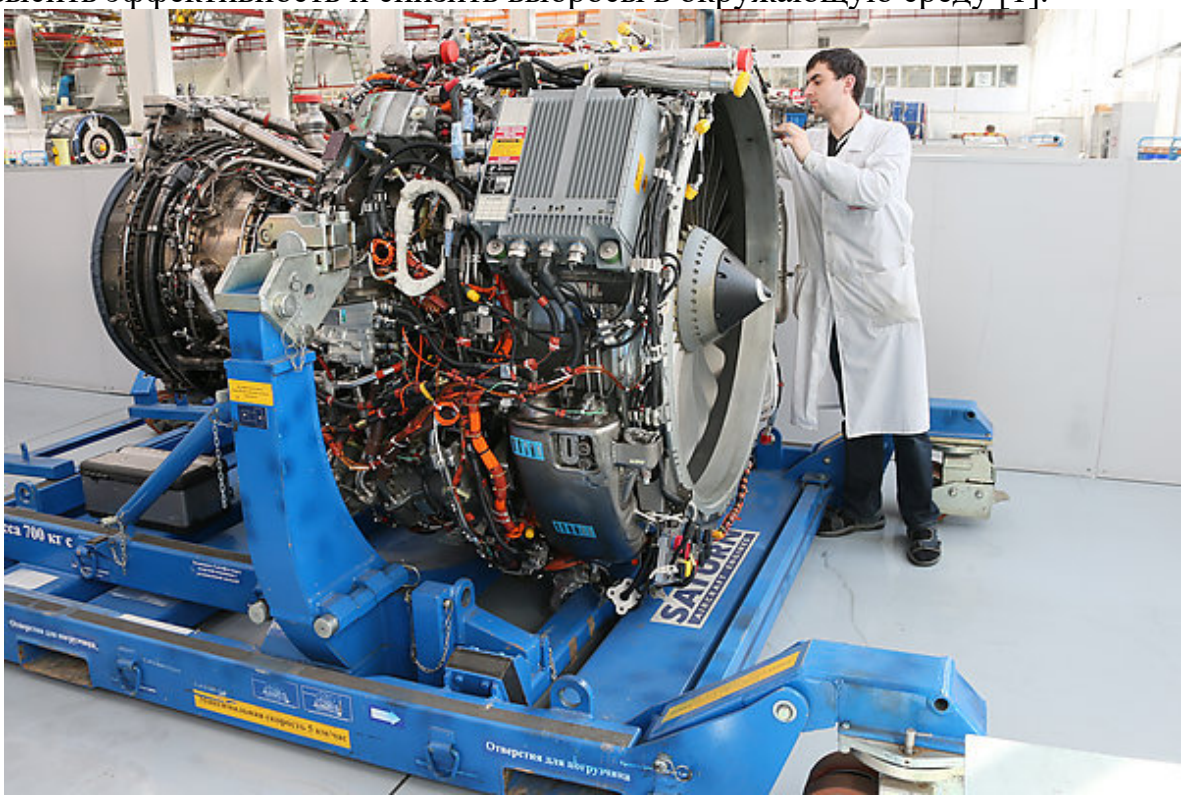


Рисунок 2 – Корабельная газовая турбина

КПД современных газотурбинных установок может достигать 39% и выше, что делает их более эффективными по сравнению с традиционными источниками энергии [2]. ГТУ малой мощности имеют компактные размеры, что позволяет устанавливать их в ограниченных пространствах, например, в помещениях, аналогичных размерам большого шкафа. ГТУ отличаются низким уровнем выбросов вредных веществ, таких как NOx, что делает их более экологически чистыми по сравнению с дизельными генераторами. Это связанно с конструктивным решением и использованием различных видов топлива, включая природный газ, дизельное топливо и даже альтернативные источники, такие как биогаз. Так же Газотурбинные установки работают с низким уровнем шума и вибрации. Это их и делает удобным для использования в вышеперечисленных сферах.

Согласно прогнозам, доля распределенной энергетики может вырасти с 8% до 20% к 2025 году [2]. Это связано с растущими темпами спроса на газ по сравнению с другими видами топлива и масштабными планами промышленных потребителей по созданию собственных мощностей. ГТУ малой мощности обеспечивают более низкие тарифы на электроэнергию по сравнению с централизованными сетями, что делает их экономически привлекательными для потребителей. Кроме того, возможность работы в режиме когенерации позволяет значительно снизить срок окупаемости установок за счет утилизации тепловой энергии. ГТУ малой мощности могут быть легко интегрированы в существующие энергетические системы. Их способность работать в различных климатических условиях и при изменяющихся нагрузках делает их универсальным решением для многих секторов.

Заключение

Газотурбинные установки малой мощности (ГТУ) представляют собой перспективное решение для обеспечения энергетических потребностей в условиях растущего спроса на электроэнергию и необходимости снижения углеродных выбросов. Их высокая эффективность, низкие выбросы вредных веществ и возможность работы на различных видах топлива делают ГТУ привлекательными для применения в различных секторах, включая энергетику, промышленность и коммунальное хозяйство [1].

Экономические аспекты использования ГТУ также играют важную роль, так как они обеспечивают более низкие тарифы на электроэнергию и сокращают сроки окупаемости за счет работы в режиме когенерации. Кроме того, поддержка со стороны государства и развитие инновационных технологий способствуют дальнейшему распространению и внедрению газотурбинных установок [1].

Таким образом, ГТУ малой мощности могут стать ключевым элементом в переходе к устойчивым и эффективным энергетическим системам, способствуя не только экономическому развитию, но и улучшению экологической ситуации.

Литература

1. Сайт «Электро-2025» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.elektro-expo.ru. – Дата доступа: 21.10.2024.

2. Журнал «Промышленные и отопительные КОТЕЛЬНЫЕ И МИНИ-ТЭЦ №2(47)2018» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://aqua-therm.ru. – Дата доступа: 21.10.2024.

УДК 621.3

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ
PROSPECTS FOR THE USE OF NEURAL NETWORKS IN THE ENERGY SECTOR

И.С. Сидоренко
Научный руководитель – И.А. Ринговский, ассистент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
I. Sidorenko
Supervisor – I. Rynhouski, Assistant
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Статья рассматривает перспективы использования нейронных сетей в энергетическом секторе, подчеркивая их роль в повышении эффективности и устойчивости энергосистем. Описаны ключевые направления применения нейронных сетей, включая прогнозирование спроса на электроэнергию, оптимизацию работы энергетических сетей, интеграцию возобновляемых источников энергии, управление умными сетями и потреблением. Выделены преимущества нейронных сетей в анализе данных в реальном времени и возможности их использования для автоматизации и повышения надежности энергетической инфраструктуры.*

Abstract: *The article examines the prospects for the use of neural networks in the energy sector, emphasising their role in improving the efficiency and resilience of power systems. Key applications of neural networks are described, including electricity demand forecasting, power grid optimisation, renewable energy integration, smart grid and consumption management. The advantages of neural networks in analysing real-time data and the possibilities of using them to automate and improve the reliability of energy infrastructure are highlighted.*

Ключевые слова: *нейронные сети, спрос, кибербезопасность, умные сети, цифровизация, данные, искусственный интеллект.*

Keywords: *neural networks, demand, cybersecurity, smart grids, digitalisation, data, artificial intelligence.*

Введение

Энергетический сектор сталкивается с новыми вызовами, такими как рост спроса на электроэнергию, интеграция возобновляемых источников и повышение устойчивости к климатическим и технологическим рискам. Одним из ключевых инструментов для решения этих задач становится искусственный интеллект (ИИ), в частности, нейронные сети. Эти технологии способны обрабатывать огромные объемы данных, выявлять скрытые закономерности и оптимизировать процессы в энергосистемах. Внедрение нейронных сетей открывает перспективы повышения эффективности управления энергопотоками, улучшения надежности электросетей и снижения затрат в условиях меняющихся энергетических потребностей. В этой статье рассмотрим ключевые направления, в которых нейронные сети могут изменить энергетику.

Основная часть

Прогнозирование спроса на электроэнергию. Прогнозирование спроса – это одна из самых важных задач в энергетике, поскольку позволяет операторам более эффективно управлять производством и распределением энергии. Традиционные методы прогнозирования основаны на статистических моделях, которые могут не учитывать нелинейные зависимости и сложные взаимосвязи в данных. Нейронные сети, особенно рекуррентные (RNN) и долгосрочная кратковременная память (LSTM), могут анализировать исторические данные о потреблении, учитывать внешние факторы (температуру, экономическую активность) и предсказывать будущее потребление с высокой точностью.

Оптимизация работы энергетических сетей. Управление распределением энергии в электрических сетях требует постоянного контроля за состоянием оборудования, балансом между производством и потреблением, а также координации между различными источниками энергии. Нейронные сети могут использоваться для оптимизации этих процессов, снижая затраты и повышая надежность сетей. Например, с помощью нейронных сетей можно автоматизировать управление генерацией электроэнергии на основе данных в реальном времени, что помогает предотвратить перегрузки и аварии.

Интеграция возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Возобновляемые источники энергии, такие как солнечные и ветровые электростанции, характеризуются непостоянством генерации энергии. Прогнозирование их производительности – это сложная задача, особенно с учетом изменений погоды и других факторов. Нейронные сети способны обучаться на данных о производительности ВИЭ и метеорологических данных, предоставляя точные прогнозы генерации. Это помогает операторам энергосистемы более эффективно интегрировать возобновляемые источники в энергосеть, минимизируя перебои и колебания в поставках.

Управление умными сетями (Smart Grids). Умные сети, или Smart Grids, становятся важной частью современной энергетики, предоставляя операторам возможность управлять распределением энергии в реальном времени с использованием данных от датчиков и IoT-устройств. Нейронные сети могут анализировать эти данные, выявлять аномалии и оптимизировать управление потоками энергии. Например, с их помощью можно быстро обнаруживать утечки и неисправности в сети, что снижает риски аварий и сокращает потери энергии.

Управление потреблением энергии (Demand Response). В условиях роста стоимости электроэнергии и нагрузки на сети программы управления спросом (Demand Response) становятся все более востребованными. Нейронные сети могут анализировать данные о поведении потребителей и предлагать оптимальные решения для управления их потреблением. Это позволяет сглаживать пики нагрузки, снижать затраты для потребителей и повышать стабильность энергосистемы.

Оптимизация работы электростанций. Эффективная работа электростанций, особенно тепловых, зависит от множества факторов, таких как температура, давление, расход топлива и т.д. Нейронные сети могут

анализировать данные от оборудования и прогнозировать потенциальные сбои, что помогает в планировании технического обслуживания и снижении времени простоя. Кроме того, нейронные сети могут помогать оптимизировать параметры работы электростанции для достижения максимальной эффективности с минимальными затратами топлива и выбросами.

Кибербезопасность энергетических систем. С ростом цифровизации энергетических систем увеличивается и риск кибератак. Нейронные сети, в частности, глубокие нейронные сети (DNN), могут анализировать трафик данных и обнаруживать аномалии, которые могут указывать на кибератаки. Это позволяет улучшить защиту критически важных объектов энергетической инфраструктуры.

Заключение

Нейронные сети открывают перед энергетическим сектором множество перспектив, связанных с повышением эффективности, надежности и устойчивости энергосистем. Их использование в прогнозировании спроса, управлении распределительными сетями, интеграции возобновляемых источников энергии и других областях может существенно изменить современную энергетику, сделав её более гибкой и устойчивой к внешним факторам. В будущем можно ожидать еще более широкого внедрения нейронных сетей в энергетику по мере развития технологий и накопления данных.

Литература

1. Liu, Y., & Zhang, H. (2018). Deep learning applications in smart grid: A review. Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, 6(5), 928–937.

2. Hong, T., & Fan, S. (2016). Probabilistic electric load forecasting: A tutorial review. International Journal of Forecasting, 32(3), 914-938.

УДК 621.3

ИННОВАЦИОННЫЕ СХЕМЫ НА ОСНОВЕ МИКРОСХЕМ К155 И К561
INNOVATIVE CIRCUITS BASED ON K155 AND K561 CHIPS

И.Г. Черенкевич
Научный руководитель – Л.И, Новикова, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
I. Cherenkevich
Supervisor – L. Novikova, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В статье рассмотрены схемы управления гирляндами, приведены разнообразные подходы к созданию освещения с использованием микросхем низкой степени интеграции, таких как К155 и К561, описан переключатель одной гирлянды и двойной гирлянды, схемы с светодиодами и отличие от ламп. Приведены условия для последовательного подключения к источнику постоянного напряжения.*

Abstract: *The article discusses garland control schemes, provides various approaches to creating lighting using low-integration chips such as K155 and K561, describes the switch of a single garland and a double garland, circuits with LEDs and the difference from lamps. The conditions for serial connection to a constant voltage source are given.*

Ключевые слова: *микросхема, резистор, симисторный регулятор мощности, транзистор, диод, сопротивление, светодиод.*

Keywords: *chip, resistor, triac power regulator, transistor, diode, resistance, LED.*

Введение

Ранее такие устройства создавали радиолюбители, и схемы их часто появлялись в специализированных журналах, преимущественно в номерах за ноябрь. Однако из-за задержек в публикации, которые порой доходили до месяца, к празднику Новый год можно было успеть собрать лишь «мигалку» предыдущего года [1].

Основная часть

В качестве элементной основы в проекте были использованы микросхемы с низким уровнем интеграции, в основном К155 и К561, а также их версии. В качестве примера можно упомянуть схему из журнала «Радио» № 11 за 2002 год, одной из наиболее интересных считалась схема с названием «Музыкальные гирлянды». Этот проект включает в себя счетчик типа К561ИЕ16 (DD2), который управляет четырьмя гирляндами светодиодов через ключи на микросхеме DD3 и транзисторы VT4…VT7.

Генерация звуковых сигналов осуществляется с помощью микросхемы музыкального синтезатора УМС8-01, которая ранее использовалась для озвучивания детских игрушек и музыкальных звонков. В данном же издании и статье представлены ещё несколько схем того же автора, уже использующих мигающие светодиоды, а также расчёты для светодиодных гирлянд. В журнале «Радио» № 11 за 1995 год была опубликована схема «Автомат плавного

управления гирляндой», разработанная А. Чумаковым, который реализует последовательное плавное включение и выключение гирлянды с возможностью регулировки скорости через управляющий блок (рис. 1).

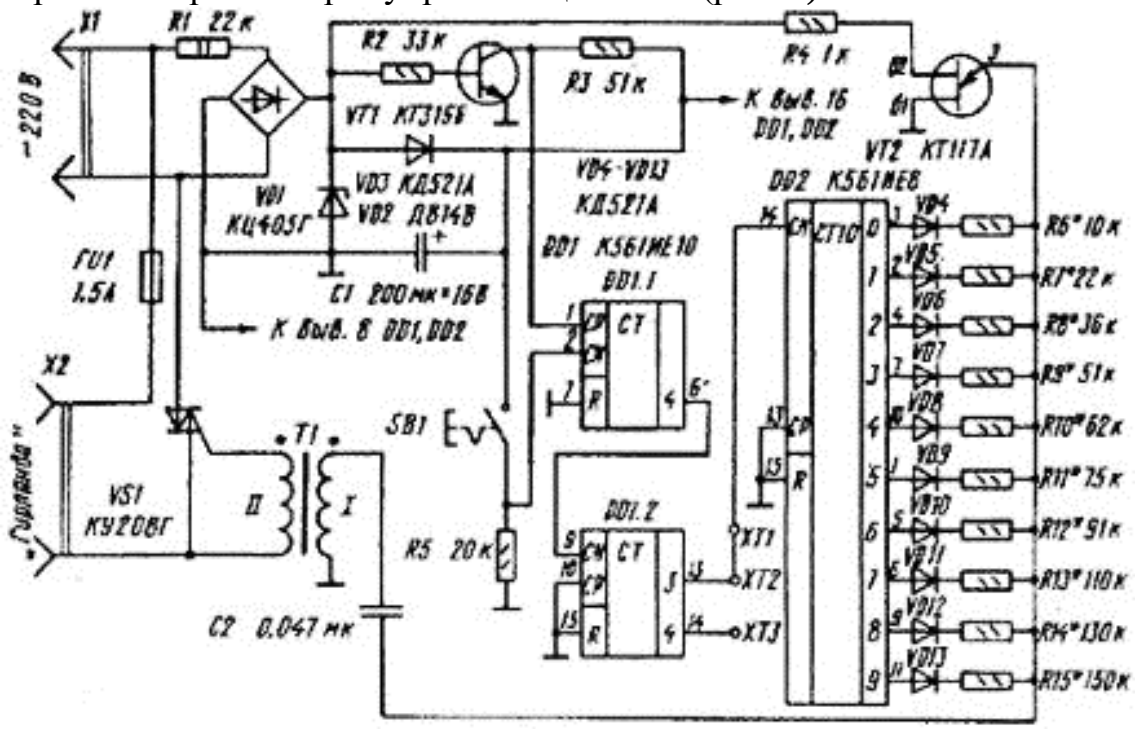


Рисунок 1 – Схема автомата плавного управления гирляндой

Схема демонстрирует симисторный регулятор мощности, основанный на двухбазовом транзисторе КТ117А. В отличие от классического метода, где скорость заряда конденсатора регулируется вручную с использованием переменного резистора, в данной конструкции регулирование осуществляется с помощью переключения отдельных резисторов, что реализуется с применением счётчика-дешифратора К561ИЕ8. Также для сравнения представлена схема фазового регулятора мощности, использующая двухбазовый транзистор КТ117 (рис. 2).

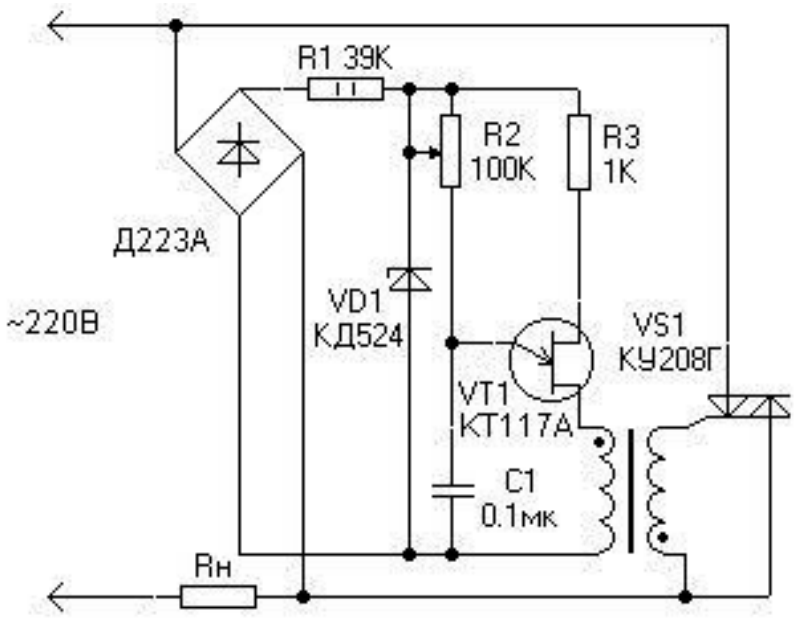


Рисунок 2 – Схема фазового регулятора мощности

Переключатель гирлянды. В некоторых случаях на рождественской елке используют лишь одну гирлянду с электрическими лампочками. Тем не менее, даже в такой ситуации можно добиться более эффектного светового оформления, если лампочки будут мигать. Чтобы это осуществить, гирлянду нужно подключить к сети через специальные адаптеры (рис. 3).

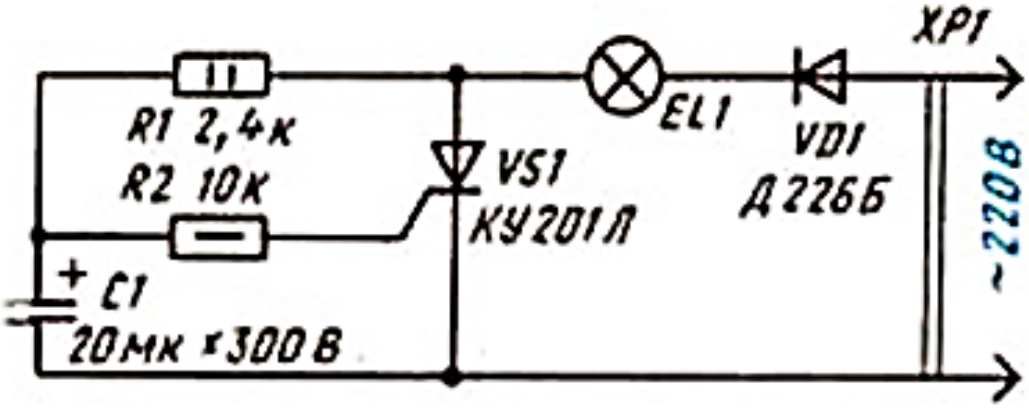


Рисунок 3 – Принципиальная схема. Переключатель одной гирлянды

Сразу после подключения вилки XP1 к электросети начинает происходить зарядка конденсатора C1. В этот момент гирлянда EL1 не горит. По мере увеличения заряда конденсатора его напряжение возрастает. Как только этот уровень достигает критического значения, тринистор VS1 открывается, и процесс освещения гирлянды ELI начинается.

Конденсатор затем разряжается через резистор R1 и активированный тринистор, который вскоре закрывается, что приводит к выключению гирлянды. Этот цикл зарядки конденсатора повторяется. Гирлянда может быть как заводского, так и самодельного исполнения, включающая последовательно соединенные лампы, рассчитанные на общее напряжение 220…250 В и ток не более 0,4 А. При использовании более мощной гирлянды потребуется замена диода Д226Б на Д242Б, а также использование тринистора КУ202Л–КУ202Н. Резисторы – МЛТ-0,5 (R2) и МЛТ-2 (R1), конденсатор – К50-3 или аналогичный с напряжением не ниже указанного на схеме.

Частота мигания зависит от емкости конденсатора и сопротивления резисторов, а для более гладкой регулировки частоты можно заменить R2 комбинацией постоянного резистора 6,8 кОм и переменного сопротивления 68 кОм [2].

Переключатель двойной гирлянды. На новогодней елке обычно применяют лампы от двух гирлянд. В такой ситуации создается переключатель, который поочередно включает одну или другую гирлянду в сеть. Управление двумя гирляндами также возможно с использованием ранее упомянутого тринисторного переключателя, при условии, что вторая гирлянда подключена параллельно к тринистору (рис. 4).

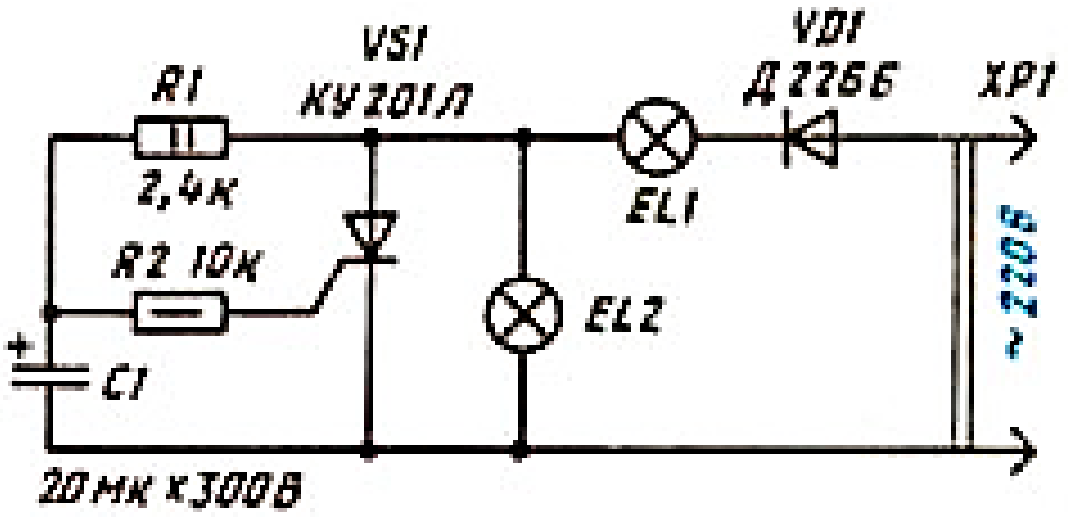


Рисунок 4 – Принципиальная схема

Если гирлянды EL1 и EL2 потребляют один и тот же ток, то при закрытом тринисторе они будут светить наполовину. Когда тринистор открывается, гирлянда EL1 загорится на полную мощность, в то время как EL2 погаснет. Выбирая, к примеру, гирлянду EL1 с гораздо большим потреблением тока по сравнению с EL2, можно добиться их последовательного включения. При открытом тринисторе будет светиться гирлянда EL1. Когда тринистор закрыт, гирлянды соединятся последовательно, но благодаря большему сопротивлению EL2 напряжение в основном будет падать на ней. Схемы с светодиодами имеют свои особенности по сравнению с лампами. В отличие от лампы накаливания, светодиод должен питаться постоянным током, а не постоянным напряжением. Поэтому любые цепи с светодиодами должны включать стабилизатор тока или токоограничивающий элемент, например, резистор. При подключении нескольких светодиодов последовательно к источнику постоянного напряжения необходимо выполнить два основных условия

$$N * U_{LED} < U_C \quad (1)$$

$$I = \frac{U_C}{N*U_{LED}/I_{LED}} + R < I_{LED} \quad (2)$$

где N – количество светодиодов в цепочке, шт;
U_{LED} – номинальное падение напряжения на светодиоде, В;
U_C – напряжение сети (230 В):
I_{LED} – номинальный ток одного светодиода, А;
I – общий ток в цепи гирлянды, А;
R – сопротивление балластного резистора, Ом.

Параллельное соединение светодиодов чаще всего используется в гирляндах, работающих от батарей или от адаптеров для постоянного тока, подключенных к сетевым розеткам. В данной конфигурации схема подключения полностью напоминает параллельное соединение стандартных ламп, но важно, чтобы каждый светодиод имел свой собственный резистор для обеспечения стабильной работы (рис. 5).

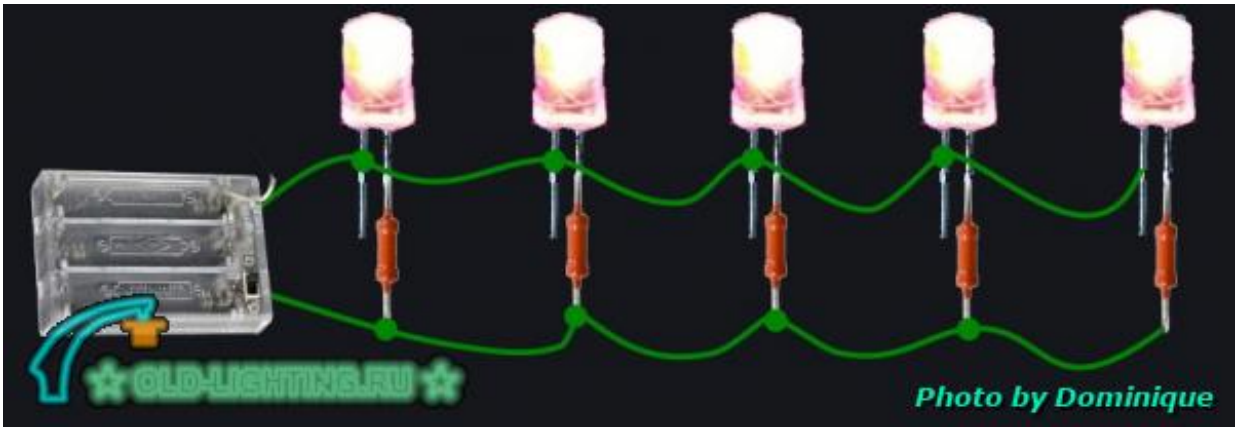


Рисунок 5 – Схема включения с балластным резистором

Согласно представленной схеме, нарастающая разница между напряжением аккумулятора и рабочим напряжением светодиодов будет приводить к увеличению совокупных потерь на балластных резисторах.

Заключение

Микросхемы К155 и К561 применяются для формирования различных временных интервалов и сигналов, а также для управления порядком включения светодиодов. Оба типа микросхем отличаются низким уровнем энергопотребления. Производители гирлянд стремятся сделать напряжение батареи как можно более соответствующим номинальному напряжению светодиодов (обычно в пределах 3–3,6В). В некоторых гирляндах, работающих на батарейках, могут игнорировать установку резисторов, что приводит к тому, что ограничение тока осуществляется за счёт внутреннего сопротивления батареи, что недопустимо. Это может вызывать более быстрое расходование заряда аккумулятора, а также приводить к перегрузке и повреждению отдельных светодиодов.

Литература

1. Журнал «Радио» 2002 г. № 11 [Электронный ресурс] / – Режим доступа: https://www.radiolub.ru/page/zhurnal-radio-2002-11. – Дата доступа: 30.09.2024.

2. Радиоэлектроника, схемы и программы для радиолюбителей [Электронный ресурс] / – Режим доступа: https://radiostorage.net/tags/гирлянда. – Дата доступа: 30.09.2024.

УДК 621.311

РАЗВИТИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ТЕХНОЛОГИИ АККУМУЛЯТОРОВ
DEVELOPMENT AND PROSPECTS OF BATTERY TECHNOLOGY

Т.И. Гуринов
Научный руководитель – Л.И. Новикова, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
T. Gurinov
Supervisor – L. Novikova, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Исследование истории, принципов функционирования и перспектив развития аккумуляторов, анализ ключевых этапов развития аккумуляторов, от первого свинцово-кислотного аккумулятора до современных литий-ионных, описание основных компоненты и процессов зарядки и разрядки, проведение анализа литий-ионных аккумуляторов и обзор новых типов аккумуляторов, таких как твердотельные, на основе натрия, графена и металл-воздуха, выведение подходов к оптимизации аккумуляторов.*

Abstract: *Study of the history, principles of operation and prospects of battery development, analysis of key stages of battery development, from the first lead-acid battery to modern lithium-ion batteries, description of the main components and charging and discharging processes, analysis of lithium-ion batteries and review of new types of batteries, such as solid-state, sodium-based, graphene-based and metal-air batteries, derivation of approaches to battery optimization.*

Ключевые слова: *аккумуляторы, принципы функционирования, перспективы, технологии, энергонакопление, устройства.*

Keywords: *batteries, principles of operation, perspectives, technologies, energy storage, devices.*

Введение

Целью данной работы является исследование истории, принципов функционирования и перспектив развития аккумуляторов, а также анализ современных и будущих технологий в этой области. Аккумуляторы играют ключевую роль в современных технологиях, обеспечивая накопление и хранение электрической энергии. Их развитие и усовершенствование позволяют создавать более эффективные и компактные устройства, такие как мобильные телефоны, ноутбуки, электромобили и другие.

Для достижения цели работы были рассмотрены следующие аспекты:

- bстория изобретения: ,ыли выявлены ключевые этапы развития аккумуляторов, начиная с первого свинцово-кислотного аккумулятора и заканчивая современными литий-ионными аккумуляторами;
- принципы функционирования: описаны основные компоненты аккумуляторов и процессы зарядки и разрядки, что позволяет лучше понять их функционирование;
- современные технологии: проведен анализ литий-ионных аккумуляторов, их преимуществ и недостатков, что позволяет оценить их

текущее состояние и перспективы.

– перспективные технологии: обзор новых типов аккумуляторов показал, что они имеют высокий потенциал для будущего использования, но им еще предстоит преодолеть множество технических и экономических препятствий.

Развитие аккумуляторов продолжает оставаться важной областью исследований и разработок. Уменьшение размеров аккумуляторов и увеличение их емкости является одним из ключевых направлений разработок в области энергонакопления. Это позволит создать более компактные и эффективные устройства, такие как мобильные телефоны, ноутбуки, электромобили и другие. Существует несколько подходов к уменьшению размеров аккумуляторов и увеличению их емкости, включая использование новых материалов для электродов и электролитов, оптимизацию структуры электродов, использование новых конструкций аккумулятора и улучшение систем управления аккумулятором.

Аккумулятор – это электрохимическое устройство, которое способно накапливать и хранить электрическую энергию, преобразуя её в химическую энергию, и затем преобразовывать её обратно в электрическую энергию при необходимости. Аккумуляторы также известны как вторичные источники питания, потому что они могут быть перезаряжены и использованы повторно, в отличие от первичных источников питания, таких как батарейки, которые не могут быть перезаряжены и должны быть заменены после исчерпания [1].

Аккумулятор состоит из одной или нескольких электрохимических ячеек, каждая из которых содержит два электрода: положительный (катод) и отрицательный (анод), разделенных электролитом. Электролит – это вещество, которое проводит электрический ток в виде ионов, а не электронов. Когда аккумулятор заряжается, электрический ток проходит через ячейку, вызывая химическую реакцию, в результате которой электроны перемещаются от одного электрода к другому, накапливаясь на отрицательном электроде. Этот процесс называется электролизом. Когда аккумулятор разряжается, химическая реакция протекает в обратном направлении, и электроны перемещаются от отрицательного электрода к положительному, создавая электрический ток.

Основная часть

В 1859 году французский физик Гастон Планте изобрел первый аккумулятор, который он назвал «свинцово-кислотным» (рис. 1). Это был первый вторичный химический источник тока, который можно было перезаряжать. Свинцово-кислотный аккумулятор состоял из двух свинцовых пластин, погруженных в раствор серной кислоты. Одну пластину называли положительной, а другую отрицательной. Во время разряда химическая реакция между свинцом и серной кислотой создавала электрический ток. Во время заряда процесс происходил в обратном направлении, и аккумулятор восстанавливал свою энергию. Свинцово-кислотные аккумуляторы были крайне тяжелыми и громоздкими, но они были надежными и имели хорошую емкость [2].



Рисунок 1 – Внешний вид первого аккумулятора в истории

В 1881 году французский инженер Камиль Альфонс Фор изобрел более легкий и мощный аккумулятор, который он назвал «никель-железным». Никель-железный аккумулятор состоял из никелевой и железной пластин, погруженных в раствор щелочи. Он был более дорогим, чем свинцово-кислотный аккумулятор, но имел более высокую плотность энергии и мог выдерживать больше циклов зарядки и разрядки.

В 1899 году шведский химик Вальдемар Юнгнер изобрел «никель-кадмиевый» аккумулятор, который был еще более легким и мощным, чем никель-железный. Никель-кадмиевый аккумулятор состоял из никелевой и кадмиевой пластин, погруженных в раствор щелочи. Он имел высокую плотность энергии и мог выдерживать ещё большее количество циклов зарядки и разрядки.

В 1970-х годах был изобретен «литий-ионный» аккумулятор, который сейчас является одним из самых популярных типов аккумуляторов и используется повсеместно. Литий-ионный аккумулятор имеет высокую плотность энергии, низкий вес и не требует эффекта памяти. Он широко используется в электронике, электромобилях и других устройствах.

Литий-ионный аккумулятор состоит из одной или нескольких электрохимических ячеек, каждая из которых содержит три основных компонента: положительный электрод (катод), отрицательный электрод (анод) и электролит [3]. Положительный электрод обычно изготавливается из лития

кобальта оксида (LiCoO2), лития никеля кобальта марганца оксида (LiNiMnCoO2) или лития железофосфата (LiFePO4), в то время как отрицательный электрод обычно изготавливается из графита.

Электролит – это жидкость или гель, который проводит электрический ток в виде ионов лития. Когда аккумулятор заряжается, электрический ток проходит через ячейку, вызывая химическую реакцию, в результате которой литий ионы перемещаются из положительного электрода в отрицательный электрод, накапливаясь там. Этот процесс называется интеркаляцией. Когда аккумулятор разряжается, химическая реакция начинает протекать в обратном направлении, и литий ионы перемещаются из отрицательного электрода в положительный электрод, создавая электрический ток, то такой процесс называется деинтеркаляцией.

Литий-ионные аккумуляторы имеют множество преимуществ по сравнению с другими типами аккумуляторов. Они имеют высокую плотность энергии, высокое напряжение, низкое внутреннее сопротивление и низкий уровень саморазряда. Благодаря этим особенностям, литий-ионные аккумуляторы могут хранить больше энергии в меньшем объеме и весе, а также предоставляют больше энергии на единицу времени, выдают большой ток при высоких нагрузках и могут хранить энергию в течение длительного периода времени без существенной потери емкости. Однако литий-ионные аккумуляторы также имеют некоторые недостатки. Они чувствительны к высоким температурам, которые могут вызвать их перегрев и повреждение, а также чувствительны к перезаряду и глубокому разряду, которые могут уменьшить их срок службы. Кроме того, литий-ионные аккумуляторы могут представлять опасность взрыва или пожара, если они повреждены или неправильно используются [4].

В настоящее время ведутся активные исследования и разработки новых типов аккумуляторов, которые могут превзойти существующие технологии по характеристикам и стоимости. Давайте рассмотрим несколько крайне перспективных типов энергонакопителей.

Твердотельные аккумуляторы: Этот тип аккумулятора использует твердое вещество в качестве электролита вместо жидкости или геля. Твердотельные аккумуляторы могут иметь более высокую плотность энергии, более длительный срок службы и более высокий уровень безопасности по сравнению с традиционными литий-ионными аккумуляторами. В январе 2024 года компания QuantumScape представила твердотельный аккумулятор, который может заряжаться до 80% от общего объёма всего за 15 минут и имеет более высокую плотность энергии, чем существующие современные литий-ионные аккумуляторы.

Аккумуляторы на основе натрия: при производстве такого аккумулятора используется натрий вместо лития, в качестве основного материала для хранения энергии. Натрий является более доступным и дешевым материалом, чем литий, и может быть использован для создания более дешевых и эффективных аккумуляторов. В начале апреля 2024 года компания Faradion представила аккумулятор на основе натрия, который может иметь срок службы до 10 лет и стоить на 30% дешевле, чем существующие литий-ионные аккумуляторы.

Аккумуляторы на основе графена: такой тип аккумулятора использует графен – углеродный материал, состоящий из одного слоя атомов, в качестве основного материала для электродов (рис. 2). Графен имеет высокую проводимость и может увеличить плотность энергии аккумулятора. Помимо этого, ведутся исследования в области использования графена в качестве сверхпроводника, открытие подобного типа можно было бы сравнить с открытием транзисторов, и всё это из-за свойств материала, который используется в их производстве. В феврале 2023 года компания Skeleton Technologies начала выпуск аккумуляторов на основе графена, который может заряжаться всего лишь за несколько секунд и иметь более высокую мощность, чем существующие литий-ионные аккумуляторы.

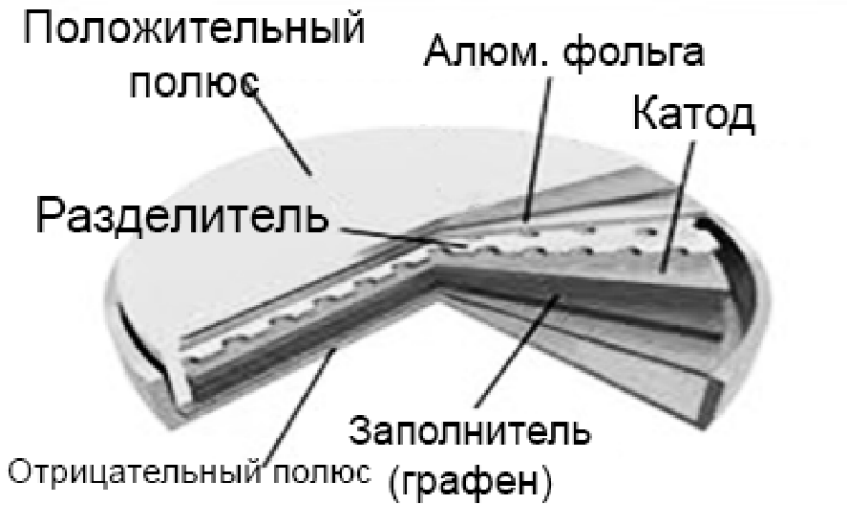


Рисунок 2 – Схематическое устройство аккумулятора на базе графена

Аккумуляторы на основе металл-воздуха: Этот тип аккумулятора использует металл (обычно цинк или литий) в качестве одного из электродов, и воздух в качестве другого электрода. Аккумуляторы на основе металл-воздуха могут иметь достаточно высокую плотность энергии, поскольку они используют кислород из воздуха в качестве одного из основных материалов для хранения энергии. Считается, что аккумулятор такого типа способен обеспечить автомобиль электроэнергией на расстояние до 1600 километров.

Эти новые типы аккумуляторов имеют высокий потенциал в дальнейшем использовании, но им еще предстоит преодолеть множество технических и экономических препятствий, прежде чем они станут широко доступными и конкурентоспособными на рынке.

Заключение

Уменьшение размеров аккумуляторов и увеличение их емкости является одним из ключевых направлений разработок в области энергонакопления. Это позволит создать более компактные и эффективные устройства, такие как мобильные телефоны, ноутбуки, электромобили и другие. Существует несколько подходов к уменьшению размеров аккумуляторов и увеличению их емкости.

Первым способом, рассмотренным ранее, является использование новых материалов для электродов и электролитов. Например, использование графена, наноуглерода, кремния и других материалов может увеличить площадь поверхности электродов и улучшить электрохимическую активность, что приводит к увеличению емкости аккумулятора.

Второй способ увеличения емкости аккумулятора заключается в оптимизации структуры электродов. Использование наноструктур может увеличить площадь поверхности электродов им улучшить проводимость, что приводит к увеличению емкости аккумулятора. Кроме того, использование тонких слоев материала для электродов может уменьшить размеры аккумулятора и увеличить его плотность энергии.

Третий способ позволяет уменьшить размеры аккумулятора и увеличить его емкость. Суть способа лежит в использовании новых конструкций аккумулятора. Например, использование спиральных или слоистых конструкций может уменьшить размеры аккумулятора и увеличить его плотность энергии. Использование в производстве электроники микро- или наноаккумуляторов может позволить создать намного более компактные и эффективные устройства.

Четвёртым способом является улучшение систем управления аккумулятором. Использование более эффективных алгоритмов зарядки и разрядки может улучшить эффективность аккумулятора и продлить его срок службы. Помимо этого, использование систем мониторинга и диагностики может помочь обнаружить и устранить неисправности в аккумуляторе, что также может улучшить его эффективность и продлить срок службы.

Подводя итоги, аккумуляторы продолжают оставаться важной областью исследований и разработок, и их усовершенствование до сих пор является и будет являться перспективным направлением и будет способствовать дальнейшему развитию технологий и улучшению нашего качества жизни.

Литература

1. Можаев, В. Н. Электрооборудование тракторов, автомобилей и комбаинов. – Л.: Колос, 1970. – 256 с.

2. Боровских, Ю. И. Стартерные аккумуляторные батареи / Ю. И. Боровских, Ю. П. Чижков; под общ. ред. Ю. П. Чижкова. – М.: Фонд «За экономическую грамотность», 1997. – 157 с.

3. Боровских, Ю. И. Электрооборудование автомобилей. – К.: Высшая школа, 1988. – 167 с.

4. Дасоян, М. А. Стартерные аккумуляторные батареи: устройство, эксплуатация, ремонт. – М.: Транспорт, 1991. – 255 с.

УДК 629.331

ДИАГНОСТИКА НОРМАЛЬНОЙ РАБОТЫ ОТДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ АВТОМОБИЛЯ. CAN-ШИНА
DIAGNOSTICS OF NORMAL OPERATION OF INDIVIDUAL UNITS CAR. CAN BUS

И.Д. Ветров
Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
E. Vhetrov
Supervisor – G. Mikhaltsevich, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В статье описывается устройство, принцип работы CAN-шины и ее применение в автомобилестроении и диагностике.*
Abstracr: *The article describes structure and working principle of CAN bus, it's application in automotive industry and diagnosis.*
Ключевые слова: *CAN-шина, CAN-протокол, диагностика.*
Keywords: *CAN bus, CAN protocol, diagnosis.*

Введение

Современные автомобили оснащены большим количеством электроники: датчики, элементы управления, исполнительные устройства, системы комфорта. Вся информация с автомобиля поступает в электронный блок управления (ЭБУ), который, основываясь на входящих сигналах, регулирует и контролирует работу электронных систем.

Информация в ЭБУ должна поступать своевременно и не быть искаженной, так как от этого зависит работа всего автомобиля. Изначально все модули и датчики соединяли проводами, однако с ростом их числа это стало нерелевантным решением, так как длина проводов в автомобиле стала достигать сотен метров.

CAN (англ. Controller Area Network) – стандарт промышленной сети, ориентированный, прежде всего, на объединение в единую сеть различных исполнительных устройств и датчиков. CAN разработан компанией Robert Bosch GmbH в 1986 году и в настоящее время широко распространён в промышленной автоматизации, технологиях домашней автоматизации («умного дома»), автомобильной промышленности и многих других областях.

Основная часть

В автомобилях CAN-шины подключаются посредством дифференциального кабеля, состоящего из пары линий: CAN_H (Can-High) и CAN_L (Can-Low), обеспечивая обмен сигналами между устройствами [1]:

- быстрая CAN-линия силовой установки функционирует с максимальной скоростью 500 кбит/с, соединяя блоки управления в двигателе и трансмиссии;
- медленная «Комфорт»-канал передает данные до 100 кбит/с для взаимодействия компонентов системы «Комфорт» с другими системами

автомобиля;

– также имеется CAN-линия информационно-управляющей сети, работающая на скорости до 100 кбит/с и обеспечивающая связь между разными сервисными блоками. Каждый модуль подключен к CAN-шине и может передавать и получать сигналы (рис. 1). На концах CAN-шины находятся резисторы сопротивлением 120 Ом, которые служат для четкого считывания дифференциального сигнала с шины и предотвращения его искажения вследствие отражения.

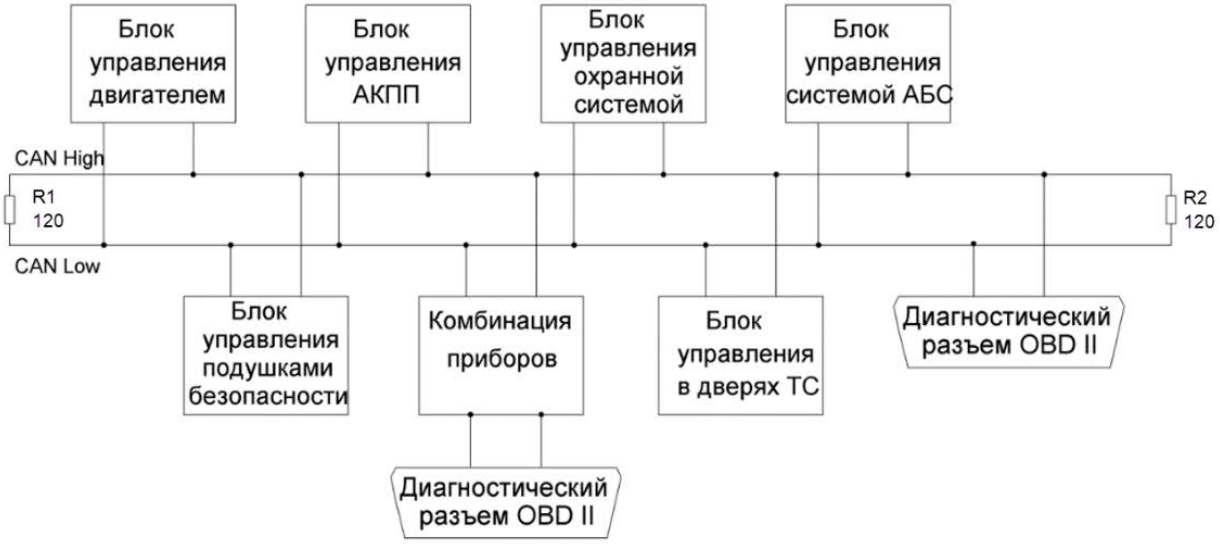


Рисунок 1 – Схема CAN-шины

Напряжение на CAN_H изменяется от 2,5 до 3,5 В, а на CAN_L – от 2,5 до 1,5 В. Это позволяет избежать ошибок в сигналах, когда появляются сильные электронные помехи, так как при использовании двух проводов значения будут изменится на обоих, следовательно, их разность останется прежней и сигнал не исказится. Помимо этого, CAN_H и CAN_L представляют собой витую пару, что позволяет им работать вблизи других электронных приборов, не создавая электронного шума.

CAN-шина может находиться в двух состояниях (рис. 2): рецессивное (логическая 1) и доминантное (0). При одинаковом напряжении на CAN_H и CAN_L состояние рецессивное (холостой ход), при напряжении 1,5 В на CAN_L и 3,5 В на CAN_H, то есть разности в 2 В – доминантное.

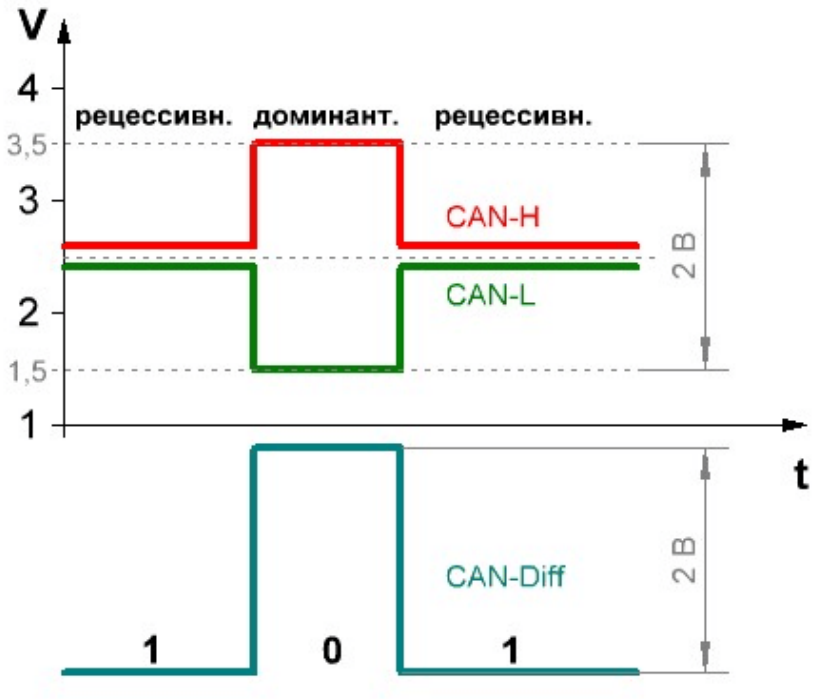


Рисунок 2 – Состояния CAN-шины

Модули отправляют и получают кадры с информацией, которые предоставляют всю необходимую информацию (рис. 3).

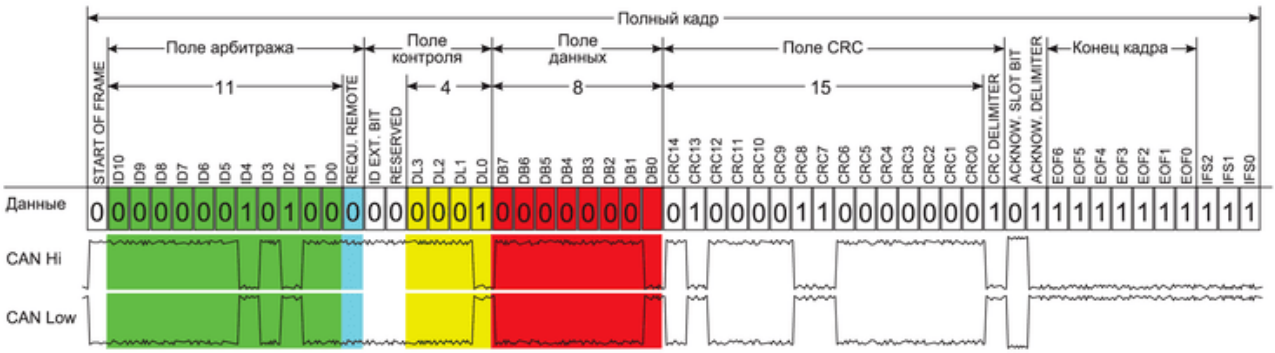


Рисунок 3 – Кадр CAN-шины

Первый бит кадра (SOF – Start Of Frame) всегда доминантный логический ноль. Он выводит шину из состояния холостого хода и начинает передачу данных.

Дальше следует арбитражное поле. Его основное назначение - выбор узла для доступа к трансляции по шине данных. Учитывая последовательность передачи информации (бит за битом и кадры), каждому узлу приходится ожидать своей очереди на отправку в сеть, но при этом они непрерывно анализируют активность по шине. Идентификационные метки сообщений служат для ранжирования их значимости. Узел с наименьшим идентификатором считается наиболее приоритетным и первым получает доступ к передаче данных. В синхронный момент времени все узлы начинают рассылать свои кадр-идентификаторы по шине. Параллельно, каждый новый бит на шине анализируется всеми участниками сети. Пока идентичные биты от всех блоков совпадают - процесс идет гладко. Однако при возникновении конфликта (когда разные узлы одновременно пытаются передать различные значения) в действие

вступает механизм арбитража. В силу того, что сигнал 0 является доминантным над 1 рецессивным, побеждает и получает контроль тот блок, чей идентификатор имеет наименьшее числовое значение среди всех одновременно активных узлов.

Следующий бит Remote Transmission Request (RTR). Это бит запроса. Он определяет какого типа будет сообщение: Dataframe, когда вещающий блок сообщает информацию или Remote frame, когда передающий блок запрашивает информацию.

Дальше следует поле Control, в котором первый бит ID extension. Если в нем будет логический ноль, то будет использоваться стандартный 11-битный идентификатор, а если логическая единица, то расширенный 29-битный. Биты DL3 – DL0 в поле Control используется для определения заранее количества байтов, которые будут передаваться в следующем поле Data. Чтобы не передавать лишние биты и сократить время фрейма, тем самым увеличив скорость передачи данных. По этой же причине по-умолчанию используется 11-битный идентификатор, чтобы без надобности не тратить время на лишние 18 бит.

В поле Data находится самая полезная информация, которую нужно передать (обороты, температура, давление и т.д.). Ради передачи этой информации и строится весь фрейм. Это поле может составлять от 1 до 8 байт, то есть от 8 до 64 бит.

Следующее поле это контрольная сумма CRC (Cyclic Redundancy Check). Представляет собой значение, вычисленное по определенной формуле, на основе битов из предыдущих полей. То есть все эти биты обрабатываются определенным алгоритмам в блоке-отправителе. Результат этой отработки записывается в поле контрольной суммы кадра. После этого уже блок-получатель повторно вычисляет контрольную сумму CRC таким же алгоритмом, но уже на базе полученной информации. Если каждый из битов был распознан правильно, то контрольная сумма у блока-получателя будет такой же, как и у блока-отправителя. В этом случае данные считаются переданными без ошибок. Если же контрольная сумма не сходится, распознается ошибка передачи данных и полученная информация игнорируется.

Следующим идет бит подтверждения ACK (Acknowledge). Узел-отправитель выставляет в нем рецессивное состояние, но узел-получатель перебивает его доминантным в случае успешного приема, тем самым подтверждая передачу сообщения. Отправитель проверяет наличие бита подтверждения и повторно передает сообщение, если подтверждение не было обнаружено. Наличие бита подтверждения на шине не означает, что любой из предполагаемых адресатов получил сообщение.

Дальше идут 7 бит поля End of Frame (EOF). Это конец кадра, представляющий собой последовательность рецессивных сигналов, после которого кадр завершается, и шина снова переходит в состояние холостого хода.

Размены секций кадра могут изменяться в зависимости от версии шины, но таков принцип отправки и принятия сообщений в электронной системе автомобиля согласно CAN-протоколу.

В 2012 году Bosch выпустили новое поколение CAN FD (Flexible Data-Rate) – гибкая скорость передачи данных [2]. С усложнением электронной системы авто даже классическая шина CAN перестала быть достаточным решением, что послужило причиной создания CAN FD. Сообщение нового поколения имеет измененную структуру (рис. 4).

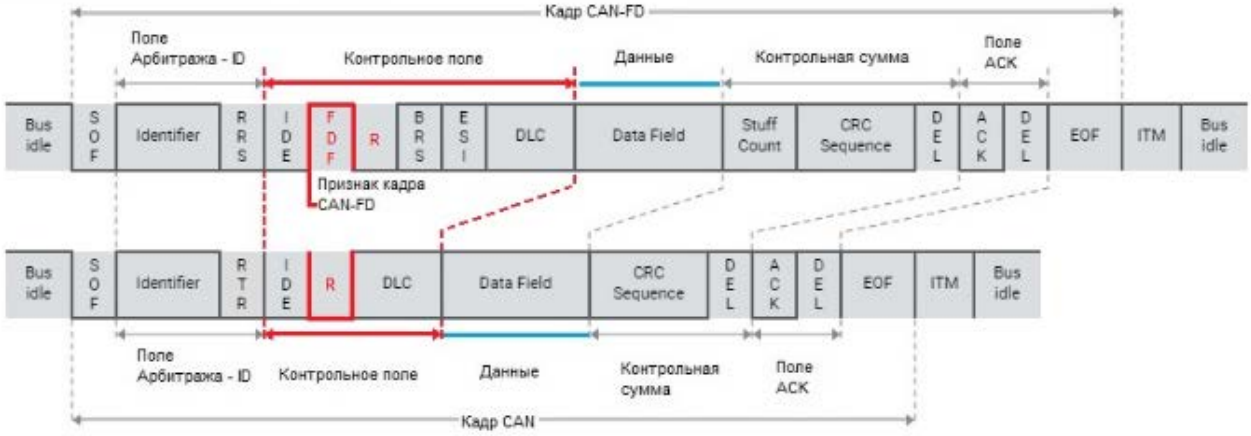


Рисунок 4 – Кадры CAN и CAN FD

Добавляя FDF бит, который принимает значение 0 при обычной шине CAN, и 1 – при использовании CAN FD. BRS бит определяет скорость передачи данных: 1 – обычная скорость, 0 – высокая. ESI представляет собой дополнительной предупреждение об ошибках и принимает значение равно 0, если отправитель в активном состоянии ошибки, и 1 – если в пассивном. Поле данных в расширено до 64 байт, вместо 8.

Таким образом, CAN FD увеличивает скорость передачи данных и делает ее вариативной от 1 до 8 Мбит/с в зависимости от топографии; увеличивает объем данных в сообщении до 64 байт; улучшает нахождение и проверку ошибок для исправной работы. Более того, CAN FD совместима с классической CAN, что сильно облегчает обслуживание и производство, ведь не требуется полностью переделывать уже существующие отлаженные процессы.

В 2022 была разработана CAN XL, которая увеличить скорость передачи данных до 20 Мбит/с, в зависимости от топографии, а объем самих данных – до 2046 байт. К тому же CAN XL способна работать с Ethernet. Каждое поколение имеет зарезервированный бит в своем сообщении, который принимает рецессивное или доминантное значение в зависимости от версии, что оставляет возможность для внедрения новых CAN шин даже в уже существующие системы.

CAN-шина объединяет электронную систему автомобиля, через нее производится диагностика транспортных средств [3]. При исправной системе, если CAN-шина передает информацию, напряжение на CAN_H должно изменяется от 2,5 до 3,5 В, а на CAN_L – от 2,5 до 1,5 В. На разъеме OBD-2 (On-Board Diagnostics) 6 и 14 пины служат для подключения к CAN-шине (рис. 5).

При классической схеме сопротивление на шине должно быть 60 Ом, так как там включены 2 резистора по 120 Ом параллельно. Однако необходимо изучить электронную схему автомобиля, который диагностируется перед

измерением сопротивления, так как в OBD-2 может быть подключен только один резистор.

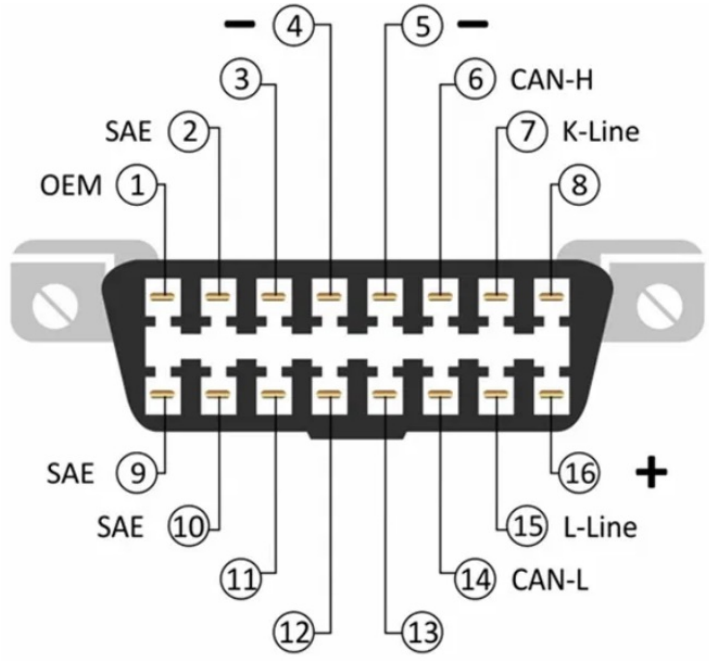


Рисунок 5 – OBD-2 разъем

При классической схеме сопротивление на шине должно быть 60 Ом, так как 2 резистора на 120 Ом подключены параллельно. Однако необходимо изучить электронную схему автомобиля, который диагностируется перед измерением сопротивления, так как OBD-2 может быть подключен и к только одному резистору.

Заключение

Таким образом, CAN-шина стала мировым стандартом в автомобилестроении и не только, она применяется также и в машиностроении и кораблестроении. Это решение позволяет использовать постоянно усложняющиеся системы современного транспорта, не ухудшая при этом других характеристик. CAN-шина также предоставляет доступ к удобному и быстрому диагностированию техники, улучшая качество обслуживания транспортных средств.

Если раньше диагностика электронной системы автомобиля было сложной задачей, и отличалась, для каждого транспортного средства, то сегодня это значительно облегчается использованием единого протокола и унифицированных решений.

Литература

1. elm3 [Электронный ресурс]/ CAN-шина. Просто и понятно – Режим доступа: https://elm3.ru/wiki/can-shina – Дата доступа: 20.09.2024

2. emqx [Электронный ресурс]/ CAN Bus: What Is It and How Does It Work – Режим доступа: https://www.emqx.com/en/blog/can-bus-how-it-works-pros-and-cons#what-is-can-bus – Дата доступа: 20.09.2024

3. Galileosky [Электронный ресурс]/ Принципы работы с CAN-шиной – Режим доступа: https://base.galileosky.com/articles/#!docs-publication/can-bus-basic-principles – Дата доступа: 20.09.2024

УДК 004.67:620.9

РОЛЬ БОЛЬШИХ ДАННЫХ В РАЗВИТИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИНДУСТРИИ
THE ROLE OF BIG DATA IN THE DEVELOPMENT OF ENERGYINDUSTRY

Н.С. Махов
Научный руководитель – Е.Н. Савкова, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
N. Makhau
Supervisor – Y. Saukova, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной работе рассматриваются основные пути применения технологий больших данных как в традиционных энергосистемах, так и в некоторых перспективных моделях их развития.*
Abstract: *This article describes general implementations of the Big Data technologies in traditional energy systems and several models of their future development.*
Ключевые слова: *большие данные, энергетика, устойчивое развитие, анализ данных.*
Keywords: *big data, energy engineering, sustainable development, data analysis.*

Введение

Неотъемлемой частью современного мира и человеческой цивилизации на текущем ее этапе развития является информация. На сегодняшний день на планете осталось очень немного мест, где комфортная жизнь человека как части социума все еще возможна без постоянного получения, анализа и создания таких объемов информации и данных, которые еще несколько столетий назад невозможно было даже представить. По оценкам экспертов, за последние три года человечество создало 90% данных за всю свою историю, а в последующие пять лет объем производства информации удвоится. Разумеется, в подобных условиях все больше и больше сфер, особенно в области высоких технологий, начинают внедрять технологии обработки данных и выделять ресурсы для создания и модернизации подобной инфраструктуры. Одну из важнейших ролей в данном процессе, безусловно, занимают решения в сфере «больших данных».

Основная часть

«Большие данные» (от англ. «Big Data», далее - БД) [1] – структурированные и неструктурированные данные огромных объёмов и значительного многообразия, эффективно обрабатываемые горизонтально масштабируемыми программными инструментами. Данный термин получил широкое распространение после упоминания К. Линчем в журнале «Nature» в 2008 году. Именно конец 2000-х годов можно назвать отправной точкой в науке о БД, т. к. начавшаяся в данный период повсеместная имплементация «электронной коммерции» с одной стороны и дальнейшее развитие информационных технологий в промышленной индустрии сыграли неотъемлемую роль в становлении данной дисциплины. На сегодняшний день большие данные - это

как сама информация, получаемая в больших и постоянно растущих объемах, так и обобщенное название для широкого спектра средств, обеспечивающих ее получение, хранение, анализ и обработку. Важнейшими характеристиками и отличительными особенностями больших данных являются «три V»: объём (от англ. «volume», в смысле величины физического объёма), скорость («velocity» в смыслах как скорости прироста, так и необходимости высокоскоростной обработки и получения результатов), многообразие («variety», в смысле возможности одновременной обработки различных типов структурированных и полуструктурированных данных).

Безусловно, с началом повсеместной автоматизации и внедрения средств цифрового мониторинга и управления сфера больших данных не могла обойти стороной и такую наукоемкую индустрию, как энергетика [2]. Высокая комплексность и разветвленность систем, а также использование большого количества сложных приборов и оборудования в электро- и теплоэнергетики обуславливают широкое поле возможностей для имплементации средств больших данных. Тем не менее, такая картина в энергетической индустрии наблюдалась не всегда.

Долгое время энергетика в целом и электроэнергетика в частности оставалась узкоспециализированной областью, главной задачей которой было обеспечение работы больших промышленных предприятий и корпоративных клиентов. Частные домовладения, ввиду неразвитости в сравнении с современными показателями электротехнической промышленности редко пользовались электрической энергией в значительных объемах. Лишь с началом второй половины XX века, когда стремительное развитие технологий в электротехнике и электросвязи позволило производить широкий спектр различных электроприборов бытового назначения, доля жилищного сектора в структуре энергетических предприятий начала постепенно увеличиваться и со временем дошла до сегодняшних превалирующих значений. Разумеется, такая смена вектора работы индустрии на более «мелких» потребителей повлекла за собой значительное разветвление и усложнение систем распределения энергии. Сегодняшние электрические и тепловые сети даже в небольшом районе тянутся на сотни километров и включают в себя десятки единиц различного оборудования и подсистем. Как раз для мониторинга, контроля и анализа данных и режимных параметров всего этого оборудования выгодно использовать механизмы больших данных.

Не последнюю роль в усложнении и развитии энергетических систем играет внедряемая сегодня повсеместно децентрализованная или распределенная энергетика [3]. Распределенная энергетика – концепция развития энергетической индустрии, подразумевающая строительство потребителями источников энергии компактных размеров или мобильной конструкции и распределительных сетей, производящих тепловую и электрическую энергию для собственных нужд, а также направляющих излишки в общую сеть (рис. 1).

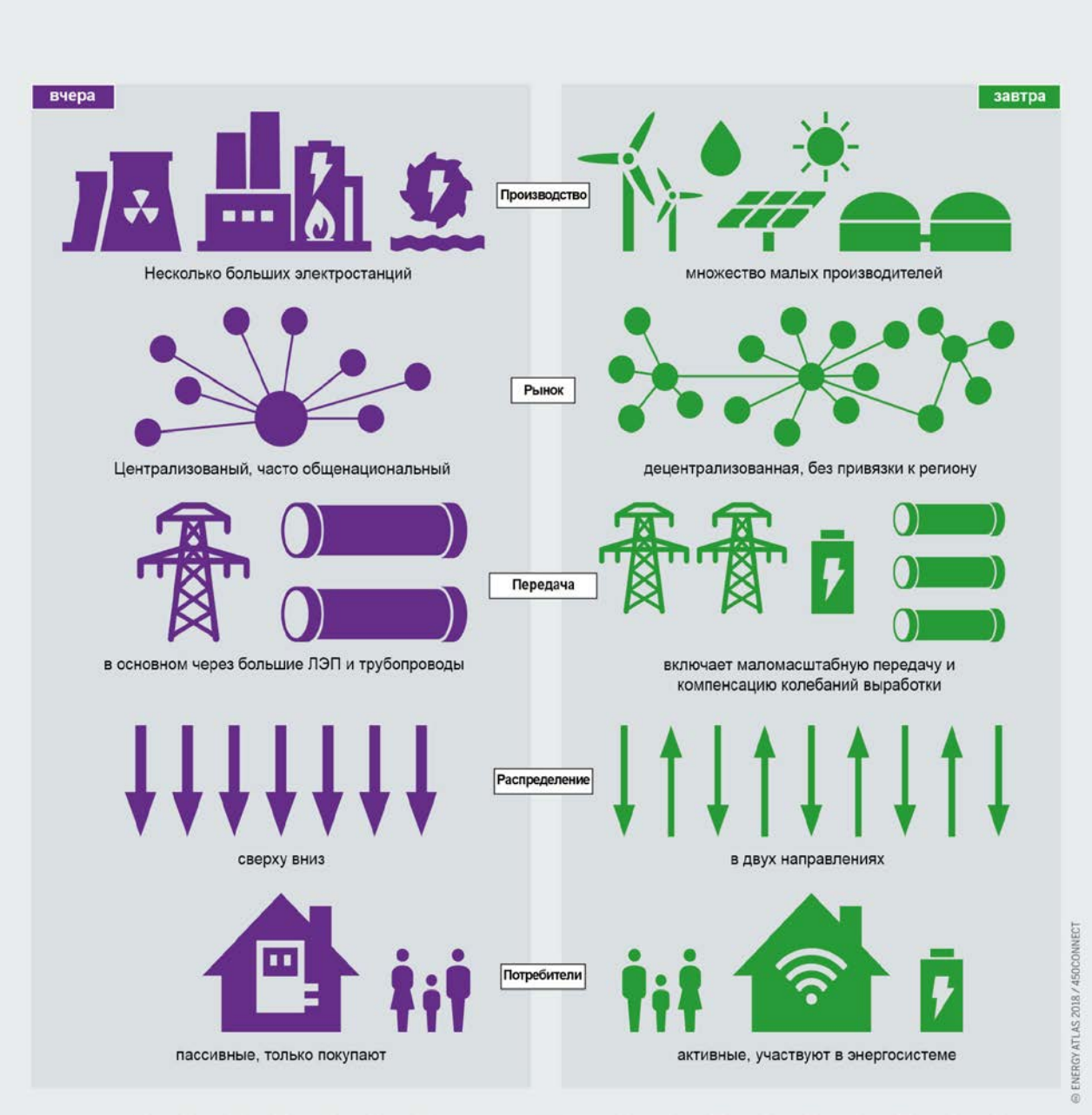


Рисунок 1 – Принципиальные отличия классической и децентрализованной системы

В настоящее время промышленно развитые страны производят основную часть электроэнергии централизованно, на больших электростанциях, таких как тепловые электростанции, атомные электростанции, гидроэлектростанции. Мощные электростанции благодаря «эффекту масштаба» имеют превосходные экономические показатели и обычно передают электроэнергию на большие расстояния. Место строительства большинства из них обусловлено множеством экономических, экологических, географических и геологических факторов, а также требованиями безопасности и охраны окружающей среды. Например, угольные станции строятся вдали от городов для предотвращения сильного загрязнения воздуха, влияющего на жителей. Некоторые из них строятся вблизи угольных месторождений для минимизации стоимости транспортировки угля. Гидроэлектростанции должны находиться в местах с достаточным энергосодержанием (значительный перепад уровней на расход воды). Низкое

загрязнение окружающей среды – критическое преимущество комбинированных электростанций, работающих на природном газе. Это позволяет им находиться достаточно близко к городу для централизованного теплоснабжения.

Поэтому в традиционной энергетике по функциональному назначению и территориальному расположению можно четко выделить три сегмента:

– центры производства электроэнергии;
– линии электропередачи большой мощности;
– зоны потребления электроэнергии и местные распределительные сети.

Атомные и тепловые электростанции, кроме электрической энергии, производят значительное количество тепла. В отличие от электроэнергии, тепловую энергию невозможно передавать на большие расстояния из-за резкого возрастания потерь с ростом расстояния. Одновременно, из-за указанных выше факторов, многие электростанции слишком далеко расположены, чтобы использовать их побочное тепло для обогрева общественных и жилых зданий. В результате неиспользованная на самой станции тепловая энергия рассеивается в окружающей среде.

Концепция распределенного производства электроэнергии подразумевает строительство дополнительных источников электроэнергии в непосредственной близости от потребителей. Мощность таких источников выбирается, исходя из ожидаемой мощности потребителя с учётом имеющихся ограничений (технологических, правовых, экологических и т. д.) и может варьироваться в широких пределах. При этом потребитель не отключается от общей сети электроснабжения.

При этом в системе «потребитель – местный источник энергии» регулярно возникают дисбалансы между производством и потреблением энергии или между потребностью в её видах. Наличие подключения к общей электрической сети позволяет компенсировать недостаток электроэнергии за счет ее потребления от общей сети, а в случае избыточного производства электроэнергии собственным источником – выдавать ее в сеть, с получением соответствующего дохода. Такой подход позволяет:

– снизить потери электроэнергии при транспортировке из-за максимального приближения электрогенераторов к потребителям электричества, вплоть до расположения их в одном здании;
– обеспечить взаимное многократное резервирование электрогенерирующих мощностей (частично);
– снизить воздействие на окружающую среду за счет применения средств альтернативной энергетики, более полного использования потенциальной энергии ископаемого топлива;
– принимать участие в управлении спросом на электроэнергию. Таким образом, распределенная энергетика является одним из самых перспективных и популярных направлений для развития и модернизации в современной энергетической индустрии.

Разумеется, подобная система с большим количеством различного оборудования требует особых технологий для обработки всего спектра информации. Такой технологией как раз являются БД.

В качестве основных сфер применения БД в энергетике можно выделить два направления: мониторинг режимных параметров и соответствующая подстройка системы для выполнения баланса генерации и потребления, а также анализ долговременных данных о работе различного оборудования для получения сведений о его состоянии [4].

Мониторинг режимных параметров энергосистемы является на данный момент превалирующей областью применения технологий БД, поскольку хотя и требует разработки специальных программных и технических средств, но не нуждается в большом массиве данных для выработки необходимых корреляций. В общем случае необходимость постоянного отслеживания режимных параметров системы, таких как частота и напряжение в различных узловых точках, потоков электрической энергии, активной и реактивной мощностей, не является чем-то новым для энергетической индустрии. Напротив, практически с самого начала работы энергетики как комплексной системы основной задачей профильных предприятий являлся мониторинг этих параметров и своевременное внесение изменений в настройки генерирующих мощностей. И если раньше проработкой различных вариантов работы электрической сети занималась так называемая «группа режимов», входящая в состав каждого крупного оператора региональных электросетей, а затем эту работу приняло на себя специальное программное обеспечение, то применение больших данных и различных современных механизмов их анализа, как, например, искусственный интеллект, позволит производить анализ текущего режима работы системы в реальном времени и с большой точностью, без необходимости «подгонки» под разработанные теоретические модели. Разумеется, такой детальный анализ позволит значительно повысить эффективность работы электрической сети и исключить множество аварийных ситуаций.

Другим важным направлением применения больших данных в энергетике является анализ параметров работы оборудования с электрической, механической и др. точек зрения для своевременного обнаружения износа или дефектов в оборудовании. Естественно, для реализации такого анализа программными средствами необходимо обеспечить программу достаточным количеством информации о каждом элементе оборудования. Сбор, хранение и обработка этой информации как раз и является задачей технологий БД. С помощью применения искусственного интеллекта и машинного обучения с использованием базы данных характеристик схожего оборудования на других объектах за большой промежуток времени можно добиться не только получения точных сведений о состоянии оборудования на текущий момент, но и прогнозирования изменения этих характеристик в ближайшем будущем. Такая возможность «предсказывать» поломки и износ оборудования задолго до появления видимых дефектов является одной из самых перспективных областей применения БД во всем машиностроении и позволяет значительно снизить экономические затраты предприятия.

Заключение

Таким образом, технологии больших данных с каждым днем занимают все большую роль в развитии и модернизации электро- и теплоэнергетики, позволяя сделать эти индустрии более эффективными, экологичными и устойчивыми к различным воздействиям. Реализация моделей больших данных вместе с технологиями децентрализованной энергосети позволит значительно упростить переход на возобновляемые источники энергии и повысить энергонезависимость критических объектов инфраструктуры.

Литература

1. Chen, Min. Big Data. Related Technologies, Challenges, and Future Prospects. / Min Chen, Shiwen Mao, Yin Zhang, Victor C.M. Leung – Berlin : Spinger, 2014. – 100 p.

2. Крылов, В. В. Большие данные и их приложения в электроэнергетике: от бизнес аналитики до виртуальных электростанций / В. В. Крылов, С. В. Крылов – М.: Нобель Пресс, 2014. – 146 с.

3. Brass, J. N. Power for Development: A Review of Distributed Generation Projects in the Developing World / J. N. Brass, S. Carley, L. M. MacLean, E. Baldwin. // Annual Review of Environment and Resources – 2012. – №37. – P. 107-136.

4. Григорьев, А. Г. Big Data в энергетике [Электронный ресурс] / А. Г. Григорьев – Режим доступа: https://expert-ural.com/archive/nomer-26-27-826/big-data-v-energetike.html. – Дата доступа: 25.10.2024.

УДК 621.38

ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНАЯ ОДЕЖДА: ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И ИННОВАЦИИ
HIGH-TECH CLOTHING: AREAS OF APPLICATION AND INNOVATION

А.С. Будаев, К.М. Ясевич
Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Budaev, K. Yasevich
Supervisor – S. Sizikov, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Электронные технологии в одежде, будущее умной одежды, текстильные наноматериалы и их роль в производстве высокотехнологичной одежды.*
Abstract: *Electronic technologies in clothing, the future of smart clothing, textile nanomaterials and their role in the production of high-tech clothing.*
Ключевые слова: *одежда, текстильные наноматериалы, электронные устройства мониторинга.*
Keywords: *clothing, textile nanomaterials, electronic monitoring devices.*

Введение

В последние десятилетия мир моды и технологий пересекается, что приводит к появлению умной одежды. Эта концепция включает текстильные изделия с интегрированными электронными компонентами и сенсорами, позволяющими взаимодействовать с пользователем и окружающей средой. Умная одежда не просто тренд, её можно назвать революцией в восприятии и использовании одежды в повседневной жизни.

С развитием технологий, таких как миниатюризация и интернет вещей (IoT), умная одежда становится доступной и многофункциональной. Она может отслеживать физические параметры, адаптироваться к условиям окружающей среды и предлагать новые функции, такие как подогрев курток с регулировкой через мобильные приложения [1].

Однако умная одежда сталкивается с вызовами, такими как безопасность данных, экологические последствия и высокая стоимость. Эти вопросы требуют обсуждения и решения, так как они могут повлиять на будущее этой концепции.

Основная часть

История умной одежды начинается в середине 20 века, когда появились первые эксперименты с проводящими волокнами и электроникой. В 1960-х годах исследователи начали интегрировать электронику в текстиль, создавая ткани, проводящие электрический ток. Эти ранние разработки не получили широкого применения, но стали основой для будущих инноваций.

Настоящий прорыв произошел в 1980-х и 1990-х годах с развитием миниатюризации, когда появились носимые устройства, такие как фитнес-трекеры и умные часы. Спортивные бренды начали разрабатывать специализированную одежду с датчиками для отслеживания активности.

С начала 2000-х годов умная одежда привлекла внимание дизайнеров и технологических компаний. Новые материалы, такие как светодиоды, позволили создать более сложные продукты. В 2003 году был представлен первый умный спортивный костюм, способный отслеживать физические показатели в реальном времени.

К 2010 году умная одежда активно использовалась в моде, благодаря дизайнерам, таким как Iris van Herpen, которые сочетали технологии и эстетику.

С 2020 года умная одежда стала важной в здравоохранении, особенно в условиях пандемии COVID-19, позволяя мониторить состояние здоровья и хронические заболевания.

Сегодня рынок умной одежды продолжает расти, и ожидается, что она станет частью повседневной жизни, интегрируясь с другими устройствами для мониторинга здоровья и активности. Это приведет к изменению восприятия моды и улучшению качества жизни.

Умная одежда объединяет ряд передовых технологий, каждая из которых улучшает её функциональность. Ключевые компоненты включают в себя встроенные датчики, интерактивные материалы и возможность связи с мобильными устройствами.

Встроенные датчики играют важную роль, собирая информацию о физиологических показателях пользователя, таких как сердечный ритм и температура тела. Эти данные полезны как спортсменам, так и тем, кто следит за своим здоровьем. Например, умные футболки, такие как Hexoskin, могут отслеживать сердечный ритм, уровень кислорода и другие параметры, передавая информацию на смартфон для анализа.

Интерактивные материалы могут адаптироваться к внешним условиям. Например, существуют ткани, которые меняют температуру для обеспечения комфорта, как в случае с Outlast, материалом, который регулирует тепло, поглощая или выделяя его в зависимости от температуры тела [2]

Связь с мобильными устройствами позволяет пользователям получать уведомления и управлять функциями одежды через Bluetooth или Wi-Fi. Приложения, такие как Nike Run Club, предлагают анализ активности и мониторинг состояния здоровья, синхронизируясь с умной одеждой.

Остановимся подробнее на таких функциях как электронный пульсометр и термометр, а также на том, как их используют в производстве умной одежды.

Датчики температуры измеряют тепловое состояние объектов и окружающей среды. Они могут быть различных типов, но наиболее распространённые – это термисторы (рис. 1) и термопары (рис. 2):

Термисторы – это полупроводниковые устройства, сопротивление которых изменяется в зависимости от температуры. Они часто используются в умной одежде благодаря своей высокой чувствительности и компактности.

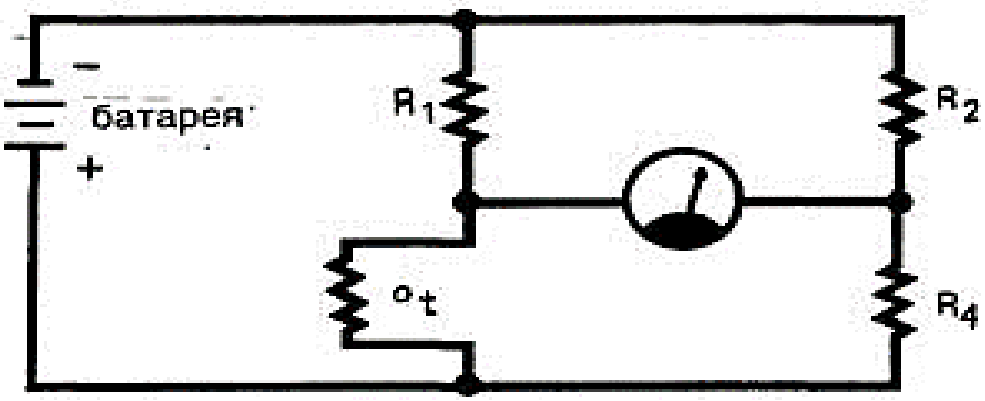


Рисунок 1 – Устройство термистора

Термопары состоят из двух различных металлов, соединённых в одной точке. При изменении температуры в соединении возникает электрический ток, который можно измерить и использовать для определения температуры.

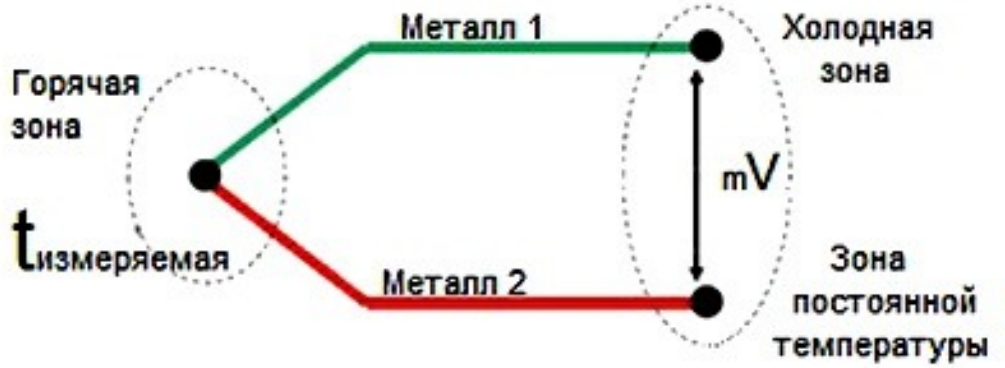


Рисунок 2 – Устройство термопары

В умной одежде датчики температуры могут адаптироваться к изменениям окружающей среды, обеспечивая комфорт пользователя. Например, они могут включать подогрев или охлаждение ткани в зависимости от температуры тела или окружающей среды.

Датчики пульса, в свою очередь, чаще всего основаны на фотоплетизмографии (PPG) или электродах, которые измеряют электрическую активность сердца.

Метод PPG (рис. 3) использует световые датчики, которые излучают свет (Чаще всего зеленый) на кожу. Когда кровь проходит через капилляры, она отражает различное количество света. Эти изменения могут быть измерены и преобразованы в данные о частоте сердечных сокращений.

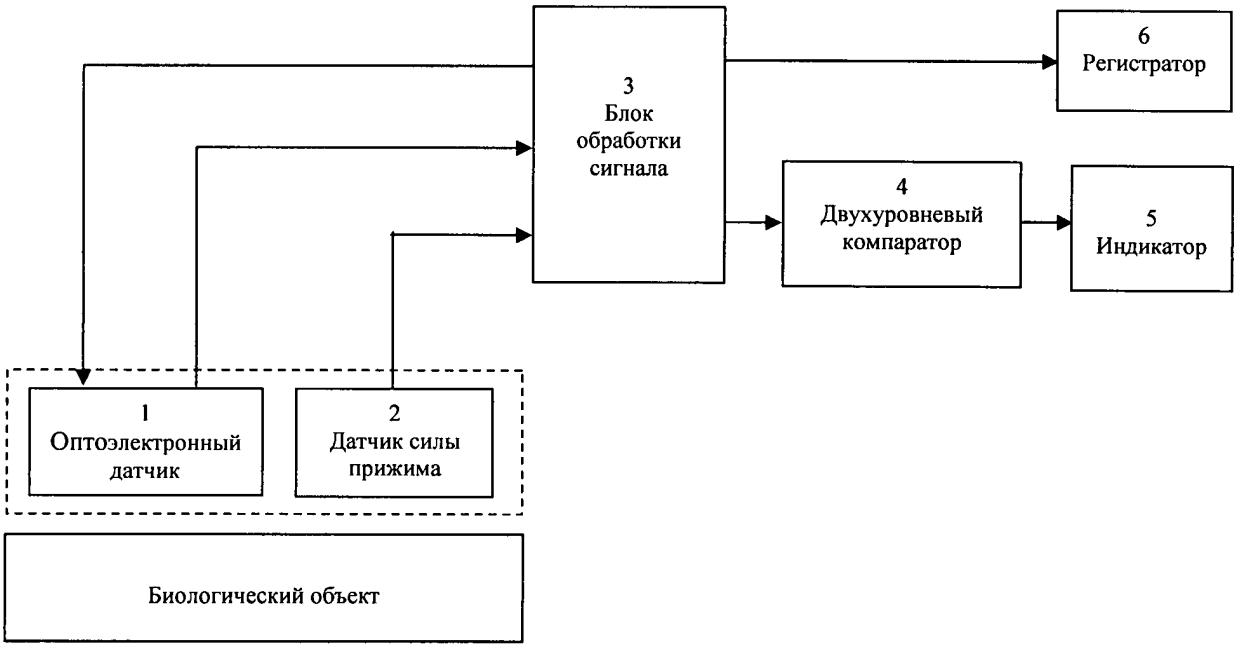


Рисунок 3 – Схема работы фотоплетизмографии

Электродные датчики используют электрические сигналы, получаемые от сердца. Они могут фиксировать электрическую активность, что позволяет более точно измерять пульс и выявлять аритмии.

Датчики пульса в умной одежде позволяют следить за состоянием здоровья пользователя в реальном времени. Например, они могут предупреждать о повышении или понижении пульса во время физической активности, что особенно полезно для спортсменов и людей, следящих за своим здоровьем.

Также хотелось бы остановиться на такой технологии как проводящие волокна, или же проводящие нити.

Проводящие волокна представляют собой текстильные материалы, обладающие способностью проводить электрический ток. Эти волокна становятся основой для создания умной одежды и различных носимых технологий, позволяя интегрировать электронные компоненты в текстильные изделия.

Проводящие волокна могут быть изготовлены из различных материалов. Металлические волокна, такие как нержавеющая сталь или медь, используются для создания тканей с проводимостью. Также популярны полимерные волокна, в которые добавлены проводящие материалы, например, углеродные нанотрубки или графен. Композитные волокна, сочетающие свойства различных материалов, обеспечивают оптимальную проводимость и гибкость [3].

Одним из примеров использования проводящих волокон является спортивная одежда, такая как футболки Hexoskin, которые интегрируют эти волокна для мониторинга сердечного ритма и уровня кислорода. Данные передаются на мобильные устройства для анализа и отслеживания состояния здоровья. В медицинской сфере проводящие волокна находят применение в умных повязках и одежде, которые могут отслеживать жизненные показатели пациента и передавать информацию врачам в реальном времени [4].

Также проводящие волокна используются в текстильных устройствах, таких как умные перчатки, которые могут управлять мобильными устройствами или обеспечивать обратную связь через вибрацию. В одежде для экстремальных условий проводящие волокна позволяют подогревать ткани и подключаться к системам GPS или связи. В области моды дизайнеры, например, Iris van Herpen, используют проводящие волокна для создания интерактивной одежды, которая может изменять цвет или светиться в ответ на определенные условия [5].

Будущее проводящих волокон связано с развитием нанотехнологий, что может привести к созданию более чувствительных и гибких материалов. Использование графена и углеродных нанотрубок (рис. 4) может улучшить проводимость и уменьшить вес.

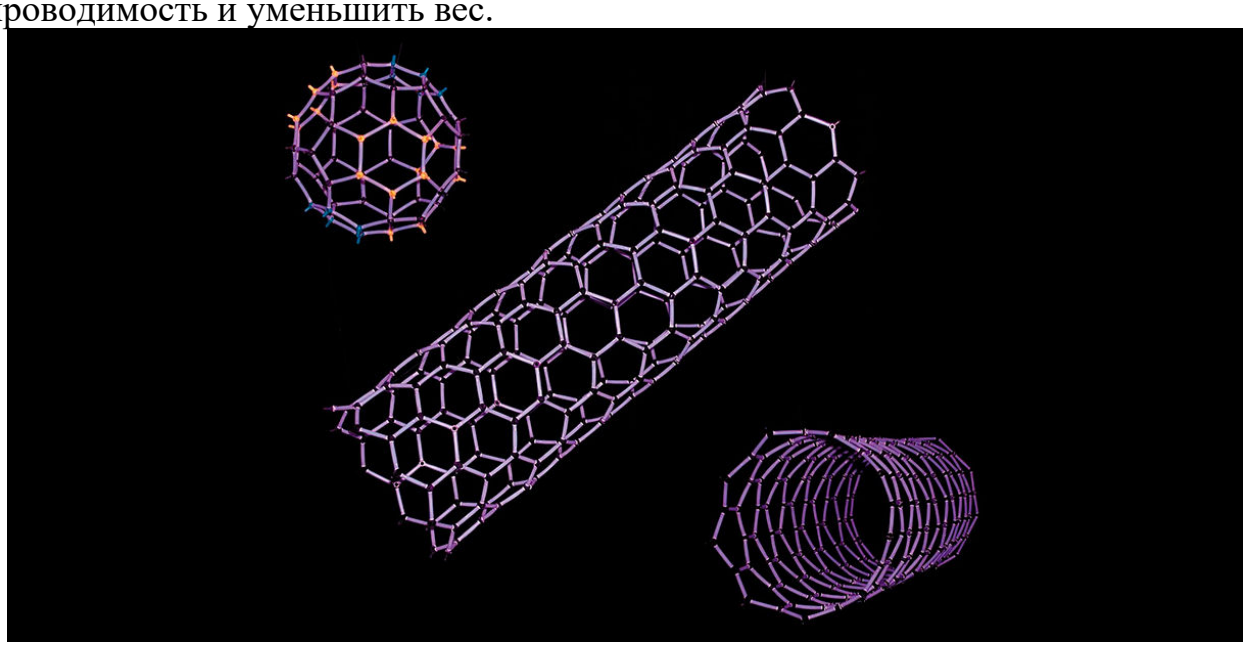


Рисунок 4 – Вид углеродных нанотрубок

Проводящие волокна могут стать частью более широкой экосистемы носимых устройств, позволяя пользователям отслеживать здоровье и активность в реальном времени. В медицине будущее этих волокон включает создание сложных систем мониторинга, которые могут отслеживать состояние здоровья в домашних условиях и передавать данные в медицинские учреждения. В сочетании с искусственным интеллектом проводящие волокна смогут создавать адаптивную одежду, изменяющую свои свойства в зависимости от предпочтений пользователя или условий окружающей среды [3, 4].

Заключение

Умная одежда – это не просто новый тренд, а настоящая революция в мире текстиля и моды. Благодаря передовым технологиям, таким как проводящие волокна, мы можем интегрировать электронные компоненты и сенсоры прямо в одежду. Это открывает невероятные возможности для мониторинга здоровья и физической активности, делая нашу повседневную жизнь более удобной и безопасной.

С помощью наноматериалов и различных видов датчиков, а также возможностей связи с мобильными устройствами, умная одежда становится не только функциональной, но и стильной. Мы уже видим, как такие технологии

применяются в спортивной и медицинской одежде, а также в интерактивной моде, что делает их всё более популярными.

Однако вместе с возможностями приходят и вызовы. Вопросы безопасности данных, влияние на окружающую среду и высокие затраты на производство требуют внимания и решения. Их решение станет важным шагом на пути к более широкому распространению умной одежды в нашей жизни.

Таким образом, умная одежда не просто меняет наше восприятие моды, но и помогает нам заботиться о здоровье и поддерживать активный образ жизни. В будущем, с развитием технологий, мы можем ожидать, что проводящие волокна и умная одежда станут незаменимыми помощниками в медицине, спорте и повседневной жизни, делая её ещё более комфортной и безопасной.

Литература

1. Zhang, Y., & Wang, L. Textile nanomaterials and their applications in smart clothing // Materials Science and Engineering. – 2021. – Vol. 15, Issue 1. – P. 1-10. DOI: 10.1016/j.mse.2021.123456.

2. Hwang, J., & Kim, S. Wearable technology: A new era in apparel design // Fashion and Textiles. – 2020. – Vol. 7, Article 12. DOI: 10.1186/s40691-020-00208-4.

3. Parvez, M. N., & Bhatnagar, S. Smart textiles: A review on recent advancements // Journal of Textile Engineering & Fashion Technology. – 2019. – Vol. 5, Issue 2. – P. 71-80.

4. Wang, J., & Li, X. Conductive fibers for smart textiles: A review // Advanced Functional Materials. – 2020. – Vol. 30, Issue 12. – P. 2000430. DOI: 10.1002/adfm.202000430.

5. Lee, J., & Choi, H. The role of IoT in smart clothing // Journal of Internet of Things. – 2021. – Vol. 9. – P. 100-110.

УДК 621.311

ПРОБЛЕМА ПЕРЕНАСЕЛЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ
THE IMPACT OF OVERPOPULATION ON ENERGY RESOURCES

А.И. Телевич, К.С. Корнеева
Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Televich, K. Korneeva
Supervisor – S. Sizikov, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье рассматривается проблема перенаселения Земли и ее отражение в мировой энергетике, а также методы ее решения.*
Abstract: *This article discusses the problem of overpopulation of the earth and its reflection in the global energy sector, as well as methods for solving it.*
Ключевые слова: *земля, перенаселение, ресурсы, энергетика, кризис.*
Keywords: *the Earth, overpopulation, resources, energy, crisis.*

Введение

Мир растет невероятными темпами. В настоящее время население Земли увеличивается на 60 000 человек каждые восемь часов – это двое детей, рождающихся каждую секунду где-то на планете. Эксперты считают, что если наше население продолжит расти такими же темпами, нам понадобится на 50% больше энергии, чтобы обеспечить человечество к 2050 году. Также, больше людей означает, что нам потребуется больше еды, воды и жилья, что создаст нагрузку на наши возобновляемые ресурсы, что может привести к энергетическому кризису [1].

Основная часть

Общепринятая классификация делит источники первичной энергии на коммерческие и некоммерческие. Коммерческие источники включают твердые (каменный и бурый уголь, торф, горючие сланцы, битуминозные пески), жидкие (нефть и газовый конденсат) и газообразные (природный газ) виды топлива, а также первичное электричество, произведенное на ядерных, гидро-, ветровых, геотермальных, солнечных, приливных и волновых станциях. Некоммерческими считаются все остальные источники, такие как дрова, сельскохозяйственные и промышленные отходы, а также мускульная сила человека и животных [2].

Энергетический кризис возникает из-за предсказуемого конца цикла нефти, газа и угля, которые, кроме того, вызывают значительное увеличение выбросов парниковых газов (ПГ).

Перенаселение оказывает влияние на энергетику. Это прежде всего выражается в повышенном спросе на энергию: с ростом населения растет спрос на электроэнергию, топливо для транспорта, отопление и охлаждение домов, а также для промышленных процессов. Это может привести к дефициту ресурсов и повышению цен на энергию.

Ограниченные возможности для возобновляемых источников энергии могут возникнуть в густонаселенных районах. Там может быть ограничен доступ

к местам для установки солнечных панелей, ветряных турбин и других возобновляемых источников энергии.

Появились вполне определенные признаки изменения климата. Рост населения приводит к увеличению выбросов парниковых газов, что способствует изменению климата. Изменение климата, в свою очередь, оказывает влияние на энергетику, например, вызывая более частые и сильные засухи, которые могут снизить производство гидроэлектроэнергии [3].

Урбанизация. По мере того, как население переезжает в города, возрастает нагрузка на городские энергетические системы. Необходимость в транспорте, отоплении, охлаждении и освещении увеличивает потребность в энергии.

На протяжении всей индустриальной эпохи мировая энергетика, в основном, опиралась на коммерческие ресурсы, составляющие около 90% общего потребления энергии. Однако в некоторых странах, например, в экваториальной Африке и Юго-Восточной Азии, значительная часть населения использует в основном некоммерческие источники энергии [1].

Прогнозы сделанные в 2000-ом году предполагали, что до 2025 года темп роста мирового потребления останется умеренным, около 1,5% в год, со стабилизацией душевого потребления на уровне 2,3-2,4 тонны условного топлива на человека в год. После 2030 года ожидается медленное снижение среднемирового душевого потребления энергии к 2100 году, при этом общее потребление будет стремиться к стабилизации после 2050 года и даже к незначительному сокращению к концу века [2].

Сейчас же, по итогам 2024 года мировое потребление увеличится до 29,1 тыс. ТВт·ч или на 4,2% год к году. Это станет максимальным темпом роста с 2007 г.

Ключевым фактором в разработке прогноза является обеспеченность ресурсами для мировой энергетики, основанной на сжигании ископаемого топлива. Согласно этому прогнозу, исчерпание разведанных запасов нефти и газа произойдет не ранее 2050 года, а с учетом дополнительных ресурсов – после 2100 года. Запасы угля значительно превышают запасы нефти и газа, что позволяет утверждать, что ресурсное обеспечение мировой энергетики по этому сценарию будет гарантировано более чем на столетие [3].

Заключение

Итак, связаны ли рост населения и потребление энергии? К сожалению, да. Несмотря на то, что богатые страны растут не так быстро, как развивающиеся, всё-таки они растут. И с каждым новым человеком на Земле ресурсы становятся все более ценным товаром, особенно невозобновляемые, такие как ископаемое топливо, которое обеспечивает большую часть мировой энергии.

Хорошая новость в том, что существуют способы смягчения энергетического кризиса [3].

Энергетический переход к возобновляемым источникам энергии: в отличие от ископаемого топлива, некоторые источники энергии полностью возобновляемы и не выделяют парниковых газов. К числу этих чистых и устойчивых альтернативных энергетических решений относятся солнечная

энергия, гидроэнергия, ветровая энергия, геотермальная энергия и биоэнергетика.

Энергоэффективность и энергосбережение: чтобы предотвратить энергетический кризис, также важно потреблять меньше энергии за счет совершенствования и модернизации энергетической инфраструктуры, такой как решения для интеллектуальных сетей и умные города. Важно также заменить старые устройства энергоэффективными решениями, например, заменить традиционные лампочки светодиодными.

Литература

1. Как рост населения повлияет на энергетику? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://science.howstuffworks.com. – Дата доступа: 08.11.2024.

2. Экологическая проблема энергетического обеспечения человечества [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://nuclphys.sinp.msu.ru/ecology/ecol/ecol05.htm. – Дата доступа: 10.11.2024.

3. How to achieve sustainable energy? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://solarimpulse.com/topics/energy-crisis. – Дата доступа: 13.11.2024.

УДК 621.311

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ
MODERN PROBLEMS OF ELECTRIC POWER ENGINEERING

Н.Е. Вилюха
Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
N. Vilyukha
Supervisor – S. Sizikov, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Статья рассматривает проблемы изменения климата, старение энергетической инфраструктуры и интеграцию возобновляемых источников энергии в Беларуси. Несмотря на успехи в ВИЭ и модернизации сетей, глобальные выбросы продолжают расти.*
Abstract: *The article addresses climate change issues, aging energy infrastructure, and renewable energy integration in Belarus. Despite progress in renewable energy and grid modernization, global emissions continue to rise.*
Ключевые слова: *климат, углеродный след, инфраструктурное старение, возобновляемые источники энергии.*
Keywords: *climate, carbon footprint, infrastructure aging, renewable energy.*

Введение

Изменение климата и углеродный след остаются важнейшими проблемами в энергетическом секторе. На сегодняшний день прилагаются значительные усилия по снижению уровня углеродных выбросов, однако результаты остаются неоднозначными. Также одними из важных проблем являются инфраструктурное старение электросетей и интеграция возобновляемых источников энергии.

Основная часть

С 2020 года инвестиции в чистую энергию значительно выросли – более чем на 60%. Ведущие мировые экономики, такие как США, Китай и ЕС, продолжают активно внедрять меры по снижению выбросов, направляя около 2 трлн долларов на поддержку чистой энергии [1]. Однако рост выбросов CO2 в 2023 году все еще наблюдается, хоть и сдерживается благодаря переходу на возобновляемые источники энергии. В 2023 году выбросы CO2 выросли на 1,1%, что связано с восстановлением экономики после COVID-19 и неблагоприятными погодными условиями в ряде стран. В то же время, в развитых странах выбросы вернулись на уровень 50-летней давности благодаря мерам по декарбонизации и развитию чистых технологий [2].

Тем не менее, уровень глобальных выбросов продолжает расти, особенно в развивающихся странах, таких как Китай и Индия, где уголь по-прежнему играет значимую роль в энергетике. В 2024 году страны продолжают разрабатывать более строгие меры для достижения целей Парижского соглашения, но разрыв между необходимыми и текущими действиями остается значительным.

Касательно устаревания инфраструктуры, на сегодняшний день Беларусь активно занимается модернизацией своих электросетей, стремясь решить проблему старения инфраструктуры. В последние годы усилия были направлены на ускорение реконструкции сетей. Например, в 2022 году было модернизировано около 1,7 тыс. км электросетей, в 2023 году этот объем увеличился до 2,4 тыс. км, а в 2024 году планируется достичь 3 тыс. км в год [3]. Такие темпы модернизации необходимы для улучшения надежности энергоснабжения и поддержки растущего спроса на электроэнергию со стороны населения и промышленности.

Также одной из важных задач является интеграция новых источников энергии, таких как Белорусская атомная электростанция (БелАЭС), что требует адаптации сетей для работы с новыми объемами и типами генерации электроэнергии [4].

Состояние дел с интеграцией возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в Беларуси на сегодняшний день показывает значительный прогресс. За последние годы страна увеличила долю ВИЭ в энергобалансе и расширила мощности установок. По данным на 2024 год, общая установленная мощность объектов ВИЭ выросла в 5 раз – с 120 МВт до 608 МВт. Производство электроэнергии из возобновляемых источников также увеличилось с 274 до 1275 миллионов кВт·ч, что говорит о существенном росте интереса и инвестиций в эту область [5].

Однако, несмотря на эти достижения, Беларусь сталкивается с определенными вызовами. Основными препятствиями для дальнейшего развития являются необходимость модернизации энергосетей и адаптации их под интеграцию ВИЭ, а также нехватка финансовых ресурсов для масштабных проектов. Страна продолжает активно развивать солнечную и ветровую энергетику, а также биомассу, но остаются проблемы с привлечением иностранных инвестиций и техническими аспектами подключения этих источников к национальной энергосистеме.

Важным шагом является участие Беларуси в международных инициативах, таких как сотрудничество с Международным агентством по возобновляемым источникам энергии (IRENA), которое помогает оценить готовность страны к интеграции ВИЭ и предоставляет рекомендации для повышения эффективности использования возобновляемой энергетики [6].

Заключение

Таким образом, меры по снижению углеродного следа недостаточны, глобальные выбросы продолжают расти. Старение электросетей Беларуси решается через активную модернизацию. Возобновляемая энергия развивается, но требуется модернизация сетей для её интеграции.

Литература

1. Международное энергетическое агентство. State of Energy Policy 2024. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.iea.org/reports/state-of-energy-policy-2024/key-findings . – Дата доступа : 24.10.2024.

2. Международное энергетическое агентство. CO2 Emissions in 2023. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2023 . – Дата доступа : 24.10.2024.

3. БелТА. Модернизация электросетей станет одним из главных приоритетов для энергетиков в Год качества. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://belta.by/economics/view/modernizatsija-elektrosetej-stanet-odnim-iz-glavnyh-prioritetov-dlja-energetikov-v-god-kachestva-609233-2024 . – Дата доступа : 24.10.2024.

4. БелТА. Каранкевич: в Беларуси будут расширены работы по модернизации электросетей. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://belta.by/society/view/karankevich-v-belarusi-budut-rasshireny-raboty-po-modernizatsii-elektrosetej-617201-2024 . – Дата доступа : 24.10.2024.

5. БелТА. Возобновляемые источники энергии. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://belta.by/infographica/view/vozobnovljaemye-istochniki-energii-32323 . – Дата доступа : 24.10.2024.

6. EurAsia Daily. В Белоруссии думают о второй АЭС и развитии возобновляемых источников энергии. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://eadaily.com/ru/news/2024/08/28/v-belorussii-dumayut-o-vtoroy-aes-i-razvitii-vozobnovlyaemyh-istochnikov-energii . – Дата доступа : 24.10.2024.

УДК 621.311

ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ
PROBLEMS OF MODERN ELECTRIC POWER INDUSTRY

Н.И. Жук
Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
N. Zhuk
Supervisor – S. Sizikov, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Статья рассматривает экономические проблемы экономические барьеры и высокая стоимость электроэнергии в Беларуси и России требуют значительных инвестиций для модернизации инфраструктуры и развития возобновляемых источников. Это ограничивает децентрализацию и замедляет устойчивый переход.*

Abstract: *The article addresses economic barriers and high electricity costs in Belarus and Russia require substantial investments for infrastructure modernization and renewable energy development. This limits decentralization and slows a sustainable transition*

Ключевые слова: *экономические барьеры, себестоимость электроэнергии, модернизация инфраструктуры, колебания цен на газ, децентрализованная энергетика, возобновляемые источники.*

Keywords: *barriers, electricity costs, modernization, gas price fluctuations, decentralized energy, renewable sources.*

Введение

Экономические барьеры и высокая стоимость электроэнергии в Беларуси и России сдерживают развитие энергетики. Колебания цен на топливо, расходы на модернизацию сетей и интеграцию ВИЭ требуют значительных инвестиций, увеличивая конечную стоимость для потребителей.

Основная часть

Экономические барьеры и стоимость электроэнергии в Беларуси и России остаются сложной проблемой. Значительное влияние на себестоимость электроэнергии оказывают факторы, такие как колебания цен на природный газ, который составляет большую часть топливного баланса в Беларуси, а также затраты на поддержание и модернизацию инфраструктуры [1]. Особенно актуальны эти вопросы для Беларуси, где замена устаревшего оборудования требует крупных инвестиций, что в долгосрочной перспективе может повысить конечную стоимость электроэнергии для потребителей [2].

Цены на электроэнергию зависят также от макроэкономических условий, включая инфляцию и курс валют, которые оказывают давление на энергетический сектор. Увеличение спроса на электроэнергию в связи с экономическим ростом и развитием возобновляемых источников также добавляет затрат, поскольку требует адаптации и модернизации сетевой инфраструктуры [3]. Введение возобновляемых источников, с одной стороны,

снижает зависимость от ископаемых ресурсов, но с другой – требует значительных вложений в сети, чтобы сделать их устойчивыми к переменной генерации [4].

На текущий момент переход Беларуси к децентрализованной энергетике находится на начальном этапе. В стране продолжаются попытки развить потенциал микрогенерации и местных энергоресурсов, однако децентрализация сталкивается с рядом сложностей. Прежде всего, это нехватка правовой и тарифной базы, которая бы стимулировала домохозяйства и частные предприятия к установке малых генерирующих мощностей и их подключению к сети. Существующие установки сталкиваются с проблемами в подключении к централизованным сетям, так как инфраструктура пока не рассчитана на двусторонний поток энергии [5].

Дополнительные трудности включают недостаток инвестиций и сложности в адаптации сети к распределенной генерации, что требует высоких затрат на модернизацию систем учета и управления энергией. Согласно данным Белорусского национального технического университета, одной из стратегий повышения энергетической безопасности страны является увеличение использования местных возобновляемых ресурсов, что частично способствует децентрализации [6]. Включение биомассы, древесного топлива и других ВИЭ в энергобаланс страны является ключевым элементом этого процесса. Тем не менее, в структуре энергопотребления Беларуси децентрализованная энергетика пока не занимает значительную долю и в основном представлена микрогенерацией, как правило, в частных домохозяйствах [7].

В сфере регулирования и политической стабильности энергетического сектора Беларуси на 2024 год наметились несколько ключевых направлений, связанных с интеграцией в единую энергетическую систему с Россией. Одним из значимых шагов стало заключение договора между Беларусью и Россией о создании единого рынка электроэнергии, который обеспечит стабильные поставки и синхронизированное развитие инфраструктуры [8]. Это соглашение направлено на обеспечение надежности энергоснабжения и взаимопомощь в случае аварийных ситуаций, что особенно важно для энергообеспечения населения и промышленности обеих стран. Политическая поддержка этих мер позволяет Беларуси укрепить энергетическую независимость и стабильность снабжения, несмотря на региональные и мировые вызовы [9]. При этом Беларусь также развивает меры по снижению энергоемкости и диверсификации поставок энергоресурсов, что направлено на повышение экономической устойчивости и снижение воздействия на окружающую среду. Власти страны придают важное значение этим процессам, подчеркивая их необходимость для обеспечения внутренней энергетической безопасности и удовлетворения растущих потребностей экономики [10].

Заключение

Экономические барьеры и высокая стоимость электроэнергии ограничивают модернизацию сетей. Переход к децентрализованной энергетике сдерживается недостаточной инфраструктурой и нормативной базой.

Политическая нестабильность требует сбалансированного регулирования для энергонезависимости.

Литература

1. MYFIN. Беларусь и Россия запустят единый рынок электроэнергии в 2024 году, но еще не согласовали цену на газ на следующий. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://myfin.by/article/rynki/belarus-i-rossia-zapustat-edinyj-rynok-elektroenergii-v-2024-godu-no-ese-ne-soglasovali-cenu-na-gaz-na-sleduusij. – Дата доступа: 06.11.2024.

2. Репозиторий БНТУ. Электроэнергетика Беларуси. Настоящее и будущее. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/50435/EHLEKTROEHNERGETIKA_BELARUSI_NASTOYASHCHEE_I_BUDUSHCHEE.pdf?sequence=1. – Дата доступа: 06.11.2024.

3. Водопад.ру. Цены на электроэнергию в 2024 году – прогнозированное повышение стоимости. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://waterfal.ru/tseny-na-elektroenergiyu-v-2024-godu-prognozirovannoe-povyshenie-stoimosti/. – Дата доступа: 06.11.2024.

4. Инвестим.гуру. Электроэнергия в 2024 году – какую стоимость она достигнет? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://investim.guru/2024/elektroenergiya-v-2024-godu-kakuyu-stoimost-ona-dostignet. – Дата доступа: 06.11.2024.

5. Энерго Беларусь. «Переход к децентрализованной энергетике – мировой тренд». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://energobelarus.by/interview/perekhod_k_detsentralizovannoy_energetike_mirovoy_trend/. – Дата доступа: 06.11.2024.

6. Репозиторий БНТУ. Потенциал развития децентрализованной энергетики в Республике Беларусь. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rep.bntu.by/
handle/data/125890. – Дата доступа: 06.11.2024.

7. Департамент энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь. Опыт Беларуси в области развития возобновляемой энергетики представлен на 13-й сессии Ассамблеи IRENA. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://energoeffect.gov.by/news/news_2023/20230116_news2. – Дата доступа: 06.11.2024.

8. РИА новости. Россия и Белоруссия подпишут договор о создании рынка электроэнергии. [Электронный ресурс]. – Режим доступ: https://ria.ru/20240729/ rynok-1962756727.html. – Дата доступа: 06.11.2024.

9. Спутник Беларусь. Россия и Беларусь синхронизируют развитие энергетики. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://sputnik.by/20240606/rossiya-i-belarus-sinkhroniziruyut-razvitie-energetiki-1086913282.html. – Дата доступа: 06.11.2024.

10. Президент Республики Беларусь. Энергетика. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://president.gov.by/ru/belarus/economics/osnovnye-otrasli/energetika . – Дата доступа: 06.11.2024.

УДК 621.38

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ МИССИЙ: ОТ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ ДО РАДИОИЗОТОПНЫХ ИСТОЧНИКОВ
ENERGY SOLUTIONS FOR SPACE MISSIONS: FROM SOLAR BATTERIES TO RADIOISOTOPIC SOURCES

М.Р. Горбатовский
Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
M. Gorbatovsky
Supervisor – S. Sizikov, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В статье рассматриваются технологии энергоснабжения космических аппаратов, включая солнечные батареи и радиоизотопные источники. Обсуждаются проблемы космического мусора и необходимость повышения надежности систем для успешных миссий.*

Abstract: *The article discusses spacecraft power supply technologies, including solar panels and radioisotope sources. The problems of space debris and the need to improve system reliability for successful missions are discussed.*

Ключевые слова: *космические миссии, электроэнергия, Радиоизотопные источники энергии, солнечные панели.*

Keywords: *space missions, electricity, Radioisotope energy sources, solar panels.*

Введение

Освоение и исследование космоса является одним из важнейших направлений научно-технического прогресса человечества. Реализация космических программ и миссий требует решения сложных технических задач, среди которых обеспечение надёжного и эффективного энергоснабжения космических аппаратов занимает ключевое место.

Электрическая энергия является жизненно важным ресурсом для функционирования всех бортовых систем космического аппарата, включая двигательные установки, системы связи, телеметрии, управления, научные приборы и другие критически важные компоненты. Без надёжного источника электропитания невозможно осуществление полётов в космос, проведение научных исследований и выполнение целевых задач космических миссий.

В связи с этим, вопросы выбора, разработки и применения различных типов источников электрической энергии в космических условиях находятся в центре внимания учёных и инженеров, работающих в области космической техники. Каждый тип источника энергии, будь то солнечные батареи, аккумуляторные батареи, термоэлектрические генераторы или ядерные реакторы, обладает своими уникальными характеристиками и особенностями, определяющими их целесообразность использования в том или ином виде космической деятельности.

Детальное изучение и сравнительный анализ различных технологий космической энергетики позволяет выбрать наиболее оптимальные решения для

обеспечения энергетических потребностей современных и перспективных космических миссий. Это, в свою очередь, способствует успешной реализации амбициозных программ освоения и исследования космического пространства.

Основная часть

Основными источниками электрической энергии, используемыми в космических миссиях, являются:

– солнечные батареи;
– радиоизотопные источники энергии;
– термоэлектрические генераторы.

В космических миссиях используются различные источники электрической энергии, каждый из которых имеет свои особенности, преимущества и недостатки. Основными источниками являются солнечные батареи, химические батареи, радиоизотопные источники и топливные элементы.

Солнечные батареи являются одним из самых распространенных источников энергии в космосе. Они работают на основе фотоэлектрического эффекта, при котором солнечные фотоны вызывают движение электронов в полупроводниках, что приводит к образованию электрического тока (рис. 1).

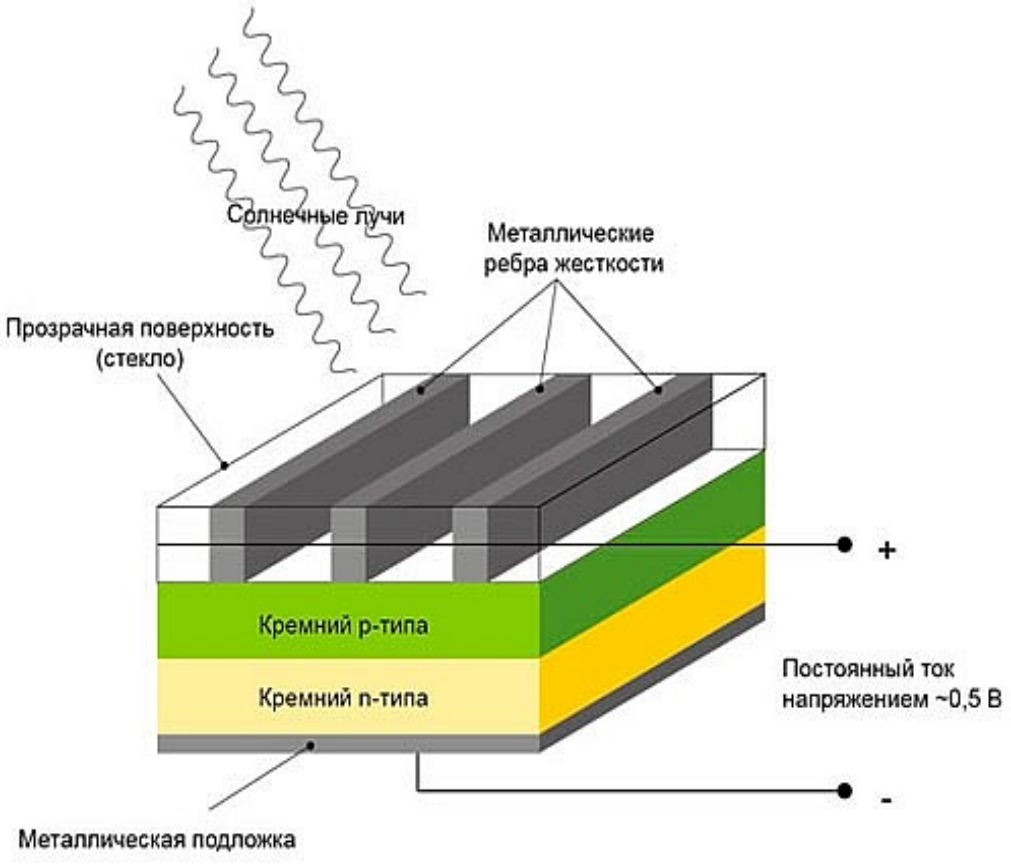


Рисунок 5 – Принцип работы солнечной батареи

Солнечные панели преобразуют солнечную энергию в электричество и состоят из множества фотоэлементов, которые могут быть соединены последовательно и параллельно для достижения необходимых значений напряжения и тока.

Первые спутники с солнечными панелями, такие как Vanguard-1 и «Спутник-3», были запущены в 1958 году. С тех пор солнечные панели стали

стандартом для большинства космических аппаратов, включая Международную космическую станцию (МКС) [1].

Преимущества солнечных панелей заключаются в их способности обеспечивать долгосрочное и стабильное энергоснабжение, особенно в условиях, когда аппарат находится на солнечной стороне орбиты. Они не требуют топлива и могут работать в течение многих лет. Однако на низкой околоземной орбите спутники периодически попадают в тень Земли, что требует наличия аккумуляторов для обеспечения непрерывного электропитания. Кроме того, эффективность солнечных панелей снижается с увеличением расстояния от Солнца, что делает их менее эффективными для миссий к дальним планетам [1]. Химические батареи, такие как серебряно-цинковые и литий-ионные аккумуляторы, используются для краткосрочных миссий или в ситуациях, когда требуется высокая мощность на короткий срок. Серебряно-цинковые аккумуляторы обеспечивали работу первых спутников, таких как «Спутник-1», в течение 21 дня.

Литий-ионные батареи становятся все более популярными благодаря своей высокой плотности энергии и возможности перезарядки. Эти батареи обладают высокой плотностью энергии, что позволяет использовать их в аппаратах, которые работают в течение нескольких дней или недель. Однако у них есть ограничения, такие как ограниченное количество циклов перезарядки и необходимость замены батарей после завершения миссии [1].

Радиоизотопные источники энергии (РИИ) работают на основе использования тепла, выделяющегося при радиоактивном распаде изотопов (рис. 2).

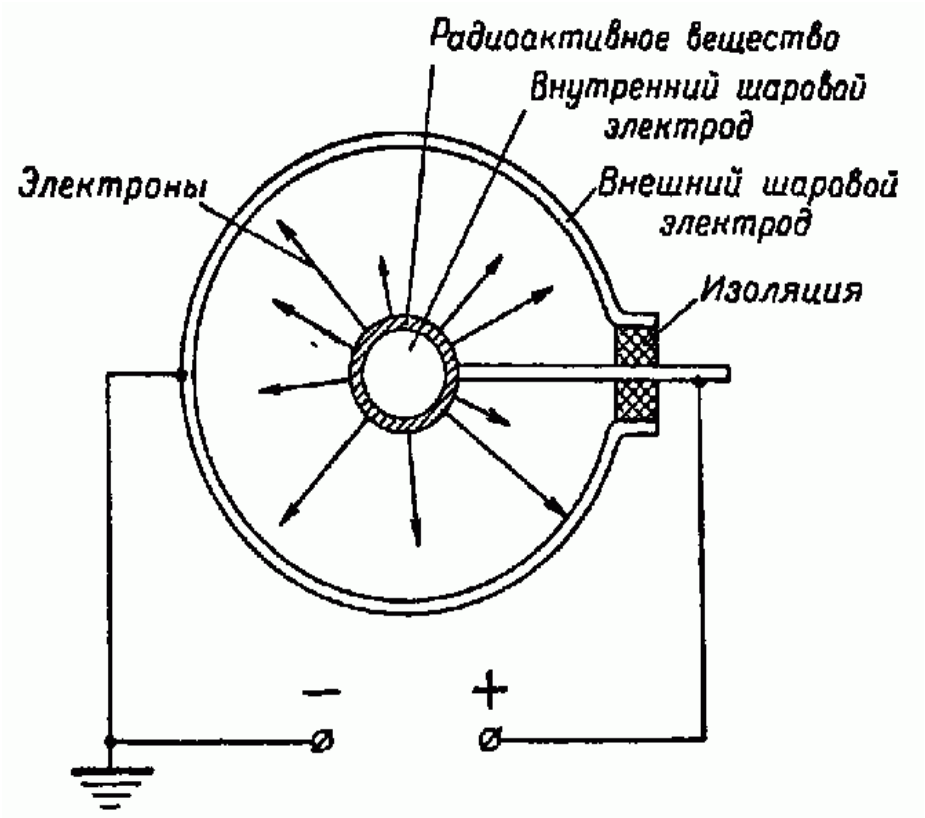


Рисунок 6 – Устройство простейшего радиоизотопного источника энергии

Эти устройства преобразуют это тепло в электрическую энергию или используют его для нагрева теплоносителей. В качестве источников тепла обычно применяются радиоактивные изотопы, такие как плутоний-238, америций-241 и стронций-90. Эти изотопы обладают достаточно долгим периодом полураспада, что позволяет им выделять тепло в течение длительного времени, что особенно важно для космических миссий, где требуется надежное и долговременное энергоснабжение.

При распаде радиоактивных изотопов происходит выделение тепла, которое может быть использовано для нагрева термоэлектрических элементов. Эти элементы создают электрический ток при наличии температурного градиента. Тепло от радиоактивного изотопа нагревает одну сторону термоэлектрического элемента, в то время как другая сторона остается холодной, что приводит к образованию электрического тока. В отличие от атомных реакторов, в РИИ не происходит управляемой цепной реакции, а используется естественный распад изотопов. Кроме термоэлектрических генераторов, в некоторых случаях применяются бета-вольтаические источники, которые работают на основе излучения бета-частиц от радиоактивных изотопов. Эти частицы взаимодействуют с полупроводниковыми материалами, создавая электрический ток. Такой подход позволяет получать электричество даже в условиях, когда солнечная энергия недоступна, например, в глубококосмических миссиях.

Радиоизотопные источники энергии также включают системы управления, которые позволяют контролировать выделение тепла и электричества, а также обеспечивают безопасность эксплуатации. Эти системы могут включать экранирование для защиты от радиации и механизмы, предотвращающие утечку радиоактивных материалов.

Радиоизотопные источники энергии нашли широкое применение в космических миссиях, особенно в тех, где солнечные батареи неэффективны, например, на дальних планетах или в условиях постоянной тени. Они обеспечивают надежное и долговременное энергоснабжение для научных инструментов, систем связи и других критически важных компонентов космических аппаратов. Примеры успешного применения РИИ включают миссии по исследованию планет, таких как «Вояджер» и «Кассини», а также марсоходы, которые работают в условиях, где солнечная энергия недоступна. Топливные элементы преобразуют химическую энергию, выделяющуюся при реакции водорода с кислородом, в электричество. Эти устройства использовались в пилотируемых космических кораблях, таких как «Аполлон» и Space Shuttle, обеспечивая как электричество, так и воду для экипажа. Топливные элементы обладают высокой эффективностью и могут производить воду в процессе работы, что является дополнительным преимуществом для пилотируемых миссий. Однако они требуют хранения водорода и кислорода, что может быть проблематично в условиях космоса [1].

Таким образом, каждый из источников электрической энергии в космических миссиях имеет свои уникальные характеристики, которые определяют его применение в зависимости от условий и требований конкретной миссии. Солнечные батареи остаются наиболее распространенным решением,

однако для долгосрочных и сложных миссий необходимы и другие технологии, такие как радиоизотопные источники и топливные элементы.

Проблемы энергопитания являются одной из ключевых тем в области космических исследований и эксплуатации спутников. Эти проблемы могут существенно влиять на успешность миссий и долговечность космических аппаратов. Энергетические потери в системах энергопитания спутников могут возникать на различных этапах, начиная от генерации энергии до её распределения и использования. Эти потери могут быть вызваны несколькими факторами, включая деградацию солнечных панелей, неэффективность аккумуляторов и потери в проводах. Например, глубина разряда аккумуляторов и деградация фотоэлементов могут значительно сократить срок активного существования спутника, что, в свою очередь, влияет на выполнение его задач и общую эффективность миссии [3].

Космический мусор представляет собой серьезную угрозу для функционирования спутников. Объекты, которые вышли из строя или были сброшены в процессе запуска, могут столкнуться с работающими спутниками, что приводит к повреждениям, особенно солнечных панелей и других критически важных систем. Такие повреждения могут вызвать снижение энергобаланса спутника, так как поврежденные солнечные панели не могут эффективно преобразовывать солнечную энергию в электричество. Это может привести к тому, что спутник не сможет выполнять свои функции или будет вынужден завершить свою работу раньше запланированного срока [2].

Системы энергопитания спутников могут выходить из строя по нескольким причинам. Наиболее распространенные из них включают отказ энергопитания, который составляет около 26% всех отказов спутников. Полная миссия, завершившаяся из-за проблем с энергоснабжением, составляет 21%. Частичные миссии, когда спутник продолжает работать, но с ограниченными возможностями, составляют 25%. Проблемы, возникающие в течение первого месяца работы, составляют 13%. Аварии ракеты-носителя, которые могут привести к потере спутника, составляют 12% [4]. Эти данные подчеркивают важность надежных систем энергопитания для успешного выполнения космических миссий и необходимость постоянного мониторинга и улучшения технологий, используемых для обеспечения энергией спутников.

Заключение

Новейшие исследования в области электроэнергетического обеспечения в космических миссиях сосредоточены на разработке более эффективных и надежных систем, которые могут обеспечить энергией как пилотируемые, так и беспилотные аппараты. Одним из ключевых направлений является улучшение солнечных батарей, которые остаются основным источником энергии для большинства спутников и космических станций. Исследования направлены на увеличение эффективности преобразования солнечной энергии и продление срока службы солнечных панелей, что особенно важно для долгосрочных миссий, таких как исследования Марса и других планет.

Кроме того, активно изучаются новые технологии хранения энергии, включая более совершенные аккумуляторы и суперконденсаторы. Эти

устройства могут обеспечить более высокую плотность энергии и более быстрые циклы зарядки и разрядки, что критически важно для космических аппаратов, которые сталкиваются с изменяющимися условиями в космосе. Например, литий-ионные и натрий-ионные батареи становятся все более популярными благодаря своей высокой эффективности и долговечности.

Также ведутся исследования в области радиоизотопных источников энергии, которые могут обеспечить надежное энергоснабжение в условиях, где солнечные батареи неэффективны, например, на дальних планетах или в условиях постоянной тени. Разработка новых радиоизотопов и улучшение технологий их использования могут значительно увеличить срок службы космических аппаратов и расширить возможности их применения.

Важным аспектом является также изучение влияния космического мусора на системы энергоснабжения. Исследования направлены на создание более устойчивых к повреждениям солнечных панелей и других компонентов, что поможет минимизировать риски, связанные с столкновениями в космосе. Это особенно актуально в свете увеличения количества спутников на орбите и роста угрозы от космического мусора.

Литература

1. NASA Technical Reports Server (NTRS) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ntrs.nasa.gov/. – Дата доступа: 01.11.2024.

2. European Space Agency (ESA) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.esa.int/. – Дата доступа: 01.11.2024.

3. Jahn, P. Г. Системы энергоснабжения космических аппаратов. Рестон, Виргиния: Американский институт аэронавтики и астронавтики, 2005.

4. McClure, J. W. Энергия из космоса: будущее солнечной энергии в космосе. Нью-Йорк: Springer, 2010.

УДК 621.31

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ
ENERGY EFFICIENCY OF ELECTRIC MOTORS

А.П. Буйвид, А.А. Долгий
Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Buivid, A. Dolgiy
Supervisor – S. Sizikov, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Был поставлен вопрос о энергоэффективности электрических машин, обозначены понятия энергоэффективности и необходимость применения эффективных электродвигателей. Были названы классы энергоэффективности и способы увеличения КПД. Названа альтернатива классическим электродвигателям.*

Abstract: *The question of energy efficiency of electric machines was raised, the concepts of energy efficiency and the need to use efficient electric motors were defined. Energy efficiency classes and methods for increasing efficiency were named. An alternative to classic electric motors was named.*

Ключевые слова: *энергоэффективность, КПД, классы энергоэффективности, электродвигатели.*

Keywords: *energy efficiency, efficiency, energy efficiency classes, electric motors.*

Введение

В связи с развитием общего уровня жизни идёт глобальное внедрение современных технологий и технических средств, повышающих качество и комфорт жизнедеятельности человека. В следствии чего идёт рост необходимых производственных мощностей и потребляемых ресурсов. Электродвигатели всё более востребованы и получают всё большее распространение. Вопрос о их эффективности широко заботит потребителей. Это влечёт за собой необходимость изучения и внедрения новых технологий по улучшению общего КПД используемых машин.

Основная часть

Энергоэффективность – множество характеристик, которые отражают соотношение затраченных энергетических ресурсов на получение полезного эффекта к реальному количеству используемого ресурса. Может применяться как к продукции, так и к технологическому процессу. Главной характеристикой энергоэффективности электродвигателя является коэффициент полезного действия (КПД).

Международным стандартом является классификация энергоэффективности IE (International Energy Efficiency Class) согласно которому, на момент написания, по мере возрастания энергоэффективности существуют следующие классы: IE1, IE2, IE3, IE4.

Класс IE1 является стандартным классом энергоэффективности. Двигатели данного класса могут применяться в случае удешевления оборудования и

упрощения конструкций, малоэффективны. КПД по мере возрастания мощности варьируется в пределах 72,1-94%.

IE2 – класс высокой эффективности. Электродвигатели применяются для случаев с более тонкой настройкой режима работы, показывают большую энергоэффективность даже в случае неполной нагрузки. КПД находиться в диапазоне 79,6-95,1%.

IE3 – высший или премиум класс. Получили значительное распространение в следствии принятия регламента ЕС. Способны работать длительное время при перегрузках в 10-15%. КПД в пределах 82,5-96,7%

IE4 – сверхвысокий класс эффективности. Двигатели данного класса являются наиболее технологически сложными и в следствии наиболее дорогими в производстве, но имеют существенный прирост эффективности и при внедрении достаточно легко окупаются. Самый высокий КПД от 85,7% до 96,7%.

Достаточно активно идёт определение нового класса IE5, который должен качественно по-новому определить энергоэффективность электродвигателя. Также достаточно важно, что помимо классов влияет и тип двигателя. Так синхронные двигатели с постоянными магнитами показывают большую эффективность и КПД чем асинхронные двигатели того же класса и габаритов [1].

Улучшение КПД различных типов электродвигателей также может быть достигнуто путем [2]: прямое повышение эффективности механической конструкции электродвигателя, таким образом уменьшая потери энергии на трение и нагрев элементов двигателя; при создании элементов двигателя с более совершенными геометрическими характеристиками применение технологий 3Д печати; использование материалов с меньшими потерями энергии в магнитных и электрических цепях, лучшей проводимостью и технологией обмотки; использование новых типов изоляции; улучшение системы охлаждения электродвигателя, что позволяет в следствии снижения температур внутри мотора улучшить проводимость элементов якоря и уменьшить потери энергии на нагрев обмоток; применение более сложных систем регулирования электродвигателем, которые позволяют оптимизировать работу двигателя под требуемые условий эксплуатации и обеспечение наиболее эффективного режима работы; регулярное техническое обслуживание, которое также продлевает срок работы и регенерирует некоторые характеристики двигателя, возникшие в следствии эксплуатации (накопившаяся пыль).

Следует обозначить, что перспективной областью развития являются так называемые двигатели на печатных платах (PCB-motors). Их главным конструктивным отличием является статор, медная обмотка из провода которого заменяется печатной платой с особенной топологией дорожек. Разные топологии статора также могут влиять на эффективность двигателя и его мощность. Такие двигатели показывают наилучшее соотношение мощность/вес что также определяет их сферу применения. Так как двигатели с печатным статором просты в монтаже и значительно меньше по габаритам традиционных двигателей при той же мощности, их конструкция частично является модульной что также позволяет увеличить энергоэффективность [3]. Всё это позволяет добиться

больших КПД, около 94%. Двигатели со статорами на основе печатных плат в высокоскоростных установках являются значительно эффективнее двигателей с классическими медными обмотками [4]. Тепловые потери в печатном статоре увеличиваются при использовании многослойных печатных плат, так как отвод тепла от центральных слоёв является проблематичным. Технологии создания печатных плат значительно удешевляют и упрощают изготовление и применение двигателей с печатным статором. Такие двигатели наиболее перспективны в достижении класса энергоэффективности IE5.

Заключение

Соответствуя целям устойчивого развития применение высоко энергоэффективных электродвигателей позволяет добиться существенного прироста в использовании полезной энергии и заботы о экологии. Вопрос о энергоэффективности нельзя игнорировать и внедрение соответствующих технологий должно широко применяться в промышленности.

Электродвигатели с печатным статором могут служить достойной альтернативой в будущем и потеснить в обиходе малоэффективные машины.

Литература

1. Рыбак А. Д. Энергоэффективность и окупаемость синхронных двигателей с постоянными магнитами / А. Д. Рыбак, А. Ю. Зарницын, К. С. Власов; науч. рук. С. В. Леонов // Молодежь и современные информационные технологии : сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 7-11 ноября 2016 г. : в 2 т. – Томск : Изд-во ТПУ, 2016. – Т. 1. – [С. 325–326].

2. Малозёмов, И. В. Разработка технических решений по повышению эффективности эксплуатации электрооборудования при реконструкции системы электроснабжения АО ЖБК «Тольяттинское» : дис. … маг. : 13.04.02 И.В. Малозёмов – Тольятти, 2023. – 70 л.

3. Design aspects, winding arrangements and applications of printed circuit board motors: a comprehensive review. / Omolbanin Taqavi, Seyed Mehdi Mirimani // IET Electric Power Applications – 2020 – Vol. 14, Iss. 9. – pp 1505–1518/

4. Performance Comparison Between PCB-Stator and Laminated-Core-Stator-Based Designs of Axial Flux Permanent Magnet Motors for High-Speed Low-Power Applications / Neethu S., S.P. Nikam, Saumitra Pal, A K Wankhede, B.G. Fernandes // IEEE Transactions on Industrial Electronics – 2020 – Vol. 67, Iss. 7 – p. 5269–5277/

5. Международная научно-практическая конференция «Молодые инженеры ТЭК: развивая энергетическую повестку будущего» : материалы Междунар. науч.-прак. конф. / СПбГЭТУ «ЛЭТИ» : – СПб.: Невская Типография, ООО «Добрые коммуникации», СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2021. – 403 с.

УДК 621.311

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПИТАНИЯ РАДИОАППАРАТУРЫ
PROVIDING POWER TO RADIO EQUIPMENT

А.Д. Гак
Научный руководитель – Д.А. Ахремчук, ассистент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Gak
Supervisor – D. Ahremchuk, Assistant
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Будут рассмотрены базовые принципы построения цепи для питания радиоаппаратуры. Высказаны идеи направленные на повышения надежности и простоты организации питания в условиях частой смены дислокации.*

Abstract: *The basic principles of building a circuit for powering radio equipment will be considered. Ideas aimed at improving the reliability and simplicity of catering in conditions of frequent change of location are expressed.*

Ключевые слова: *узел связи, размещение, перемещение, развертывание (свертывание), распределительная сеть, система электропитания узла связи.*

Keywords: *communication node, placement, relocation, deployment (folding), distribution network, power supply system of the communication node.*

Введение

В республике Беларусь военными силами используются значительное количество разнообразной электронно-вычислительной радиоаппаратуры. В статье будет рассмотрена организация питания радиоэлектронной аппаратуры на примере узла связи. Подобная аппаратура предъявляет высокие требования к качеству электрической энергии, и к общей организации электроснабжения. Наибольшие проблемы будут возникать при перебазировании на новое место, где не будет присутствовать заранее развернутая система электроснабжения. Классическая система электроснабжения полевых лагерей и опорных пунктов основывающиеся на применении передвижных дизель-электростанций не всегда отвечает на вызовы, которые ставит нам время, поэтому будут предложены новые идеи для обеспечения надежного электропитания.

Основная часть

Размещение УС и его элементов в различных локациях. Размещение узлов связи (в дальнейшем УС) определяется в первую очередь размещением пунктов управления, количеством развертываемых на местности средств связи, а также характером местности. При размещении узлов связи учитывается: скрытность, живучесть, удобство пользования, совместимость, автоматизация, безопасность засекреченной связи, быстрое свертывание и перебазирование в другой район в случаи угрозы.

Узлы связи, как правило, располагаются в лесных массивах, в местах которым не угрожает затопление, оползни, завалы и т.д. Однако, всё чаще проявляется необходимость расположения подобных узлов в урбанизированной местности.

Часть оборудования, при этом, может располагаться на верхних этажах и крышах застройки.

Перемещение узлов связи. Самым важным действием для различных видов родов войск является непрерывное перемещение. В наше время наиболее используемые два вида перемещения узлов связи (УС).

В первом варианте узел связи перемещается в ранее не за действенный район вместе с мобильной частью. Основная часть действий узла связи поддерживание связи от лица запасного командного пункта пока сворачивается мобильная часть, после убытия колонны мобильной части, основная часть узла связи сворачивается и отправляется в новый район как самостоятельная колонна.

Во втором случае мобильная часть узла связи сначала направляется в район, который ранее не был задействован, для размещения запасного командного пункта, после чего следует перемещение ПОС ЗКП. Основная часть узла связи на протяжении всего того времени пока перемещается мобильная часть сохраняет связь с ЗКП до момента прибытия в новый район и полной готовности МЧ к обеспечению связи. Далее идет сигнал о готовности МЧ в новом районе и перемещается ПОС ЗКП. После основная часть УС свертывается и выдвигается в этот район.

Развертывание (свертывание) узла связи Развертывание УС – это действие, в ходе которого происходит перевод из походного состояния машины в развернутое. Это важное действие для начала передачи необходимой (в том числе засекреченной) информации и поддержания коммуникации между командующими на заданных направлениях во время навигации войск в бою или же во время смены дислокации.

Развертывание УС включает следующие операции: развертывание узла связи, установка и настройка необходимого оборудования (аппаратных станций, кабелей и др. оборудования), проверка безопасности проложенных линий, установление связи, прокладка абонентских линий, установление запланированной связи. После развертывания УС, его маскируют и назначают караул для охраны.

Свертывание – процесс который переводит УС в походный состояние из развернутого для смены дислокации или в случае раскрытия положения УС. Свертывание может быть, как плановым, так и неплановым.

Плановое Свертывание происходит после выполнения задачи и необходимостью перемещения. Плановое свертывание происходит после настройки узла связи и передачи нужной информации. Неплановое свертывание, является необходимостью, при обнаружении координат УС, для защиты личного состава и отступления с позиции.

Электропитание узлов связи (УС). Система питания УС является совокупностью источников и различных устройств таких как контроллер, защитные устройства и устройства управления.

Система питания УС, имеет множество устройств и компонентов чья роль вспомогательная. Основные элементы – это устройства питания. УС имеют классификацию: по роду тока, виду способа распределения энергии системы, централизованного питания. УС передает электроэнергию к потребителю тока через систему распределительной сети. Эта сеть состоит из кабелей и устройств необходимых для передачи и доставки энергии потребителю энергии.

Основы построения системы электропитания подвижных УС являются основные положения:

- потребители образуют автономные системы электропитания(АСЭ);
- в каждой АСЭ центральной группы узла связи электропитание происходит с помощью двух независимых источников энергии;
- важным является кабельная сеть развертывания штатным силовым кабелям с непосредственным использованием распределительных щитов из состава электростанций;
- развертывание, свертывание, функционирование происходит по схеме питания УС под руководством начальника центра электропитания;
- вынесение групп узлов связи с использованием аппаратов УС, питаются от автономных источников электроэнергии по однолучевой схеме. Также допускается их питание от общих источников энергии.

На всех электростанциях в войсках связи используются унифицированные бензо- и дизель-электрические агрегаты.

В настоящее время типовыми автомобильными электростанциями полевых подвижных узлов связи являются станции Э-351А, Э-351Б, И613, ЭД2Х30, ЭД-30, «Энергия-60», Э-260 и прицепные электростанции ЭСБ-2С, ЭСБ-4, ЭСБ-12 и ЭСД-30. Электростанции, находящиеся на вооружении ВСРБ: Э-351А, Э-315Б, Э-260 основной задачей которых является электропитание подвижных УЗ и отдельных устройств, средств связи и т.д. Питание производится трехфазным и однофазным переменным током напряжением 230 В или 400 В с частотой 50 Гц.

В состав электростанций входят:

- автомобиль ЗИЛ-131 с кузовом К4-131;
- два электрогенератора переменного тока (АБ-12-Т/230-для Э-331А и АБ-30-Т/400-для Э-351Б);
- щит управления, два выносных щита, панель выводов, щиток подключения к сети, переносная радиостанция Р-105М, телефонные аппараты ТА-57 и П-170Э-АТС;
- комплект кабелей (для Э-351А – шесть кабелей по 25 м и один – 10 м;
- силовые – два кабеля по 50 м – сигнализации; для Э-351Б – три кабеля по 25 м и один – 10 м – силовые, два кабеля по 50 м – сигнализации);
- топливный бак емкостью 480 л;
- два гибких рукава (длиной 4 м каждый) для отвода выхлопных газов.

Основным режимом работы электростанции типа Э-351является работа одного генератора второй оказывается резервным. Допускается работа одновременно двух генераторов на раздельные нагрузки. Так сохраняется возможность замены любого генератора на промышленную сеть.

У данной системы есть несколько недостатков, особо сильно проявляющихся при перемещении узлов связи. Ключевым элементом передвижной электростанции являются генераторы. Сухой вес одного агрегата АБ-12-Т/230 составляет 150 кг, однако, исходя из соображений надёжности требуется 2 агрегата. Так же требуется бесперебойное снабжение ГСМ и своевременное обслуживание данных агрегатов. Дизельные и бензиновые генераторы обладают яркими демаскирующими

признаками такими как: громкий шум, характерный запах, необходимость периодического подвоза ГСМ.

Аккумуляторная передвижная модульная станция. Для улучшения устойчивости системы электрообеспечения, ускорения включения в работу и повышения надежности предлагается включение в цепочку дополнительного элемента – аккумуляторной передвижной модульной станции. (рис. 1) Состав данной станции: распределительное устройство (РУ), универсальная аккумуляторная ячейка.

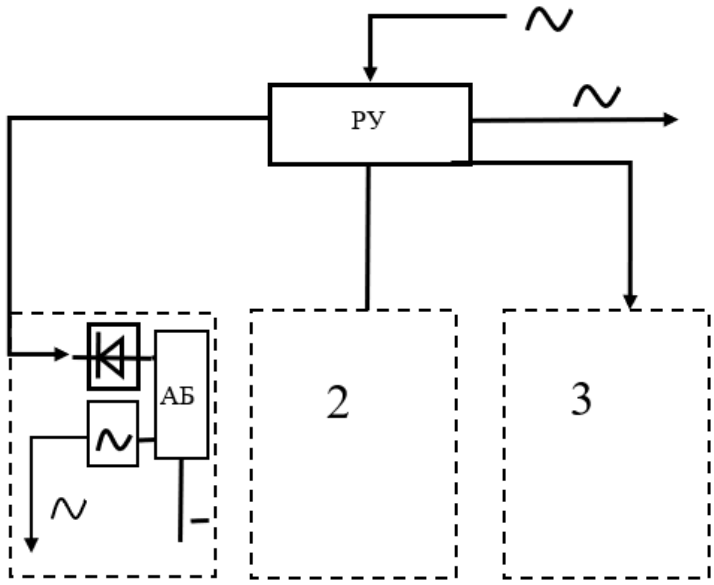
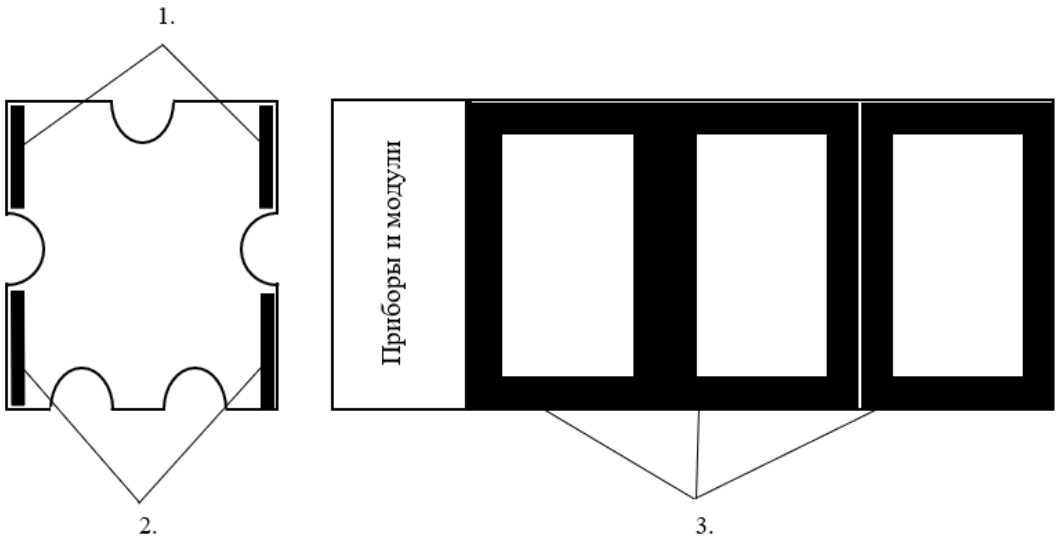


Рисунок 1 – Схема работы станции

Корпус ячейки (рис. 2) представляет из себя стальной ящик размерами 240x175x190 в котором 5 отсеков.

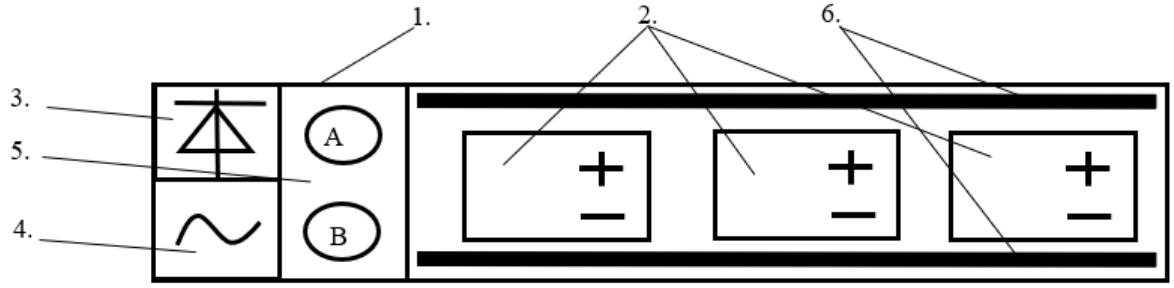


1 – шины для параллельного соединения аккумуляторных батарей; 2 – шины для последовательного соединения аккумуляторных батарей; 3 – изоляция для аккумуляторных батарей.

Рисунок 2 – Схема корпуса ячейки

Первый предназначен для модулей, второй для измерительных приборов, и последние три полностью прорезиненные емкости для аккумуляторов. В ячейке имеются две пары шин для последовательного или параллельного соединения аккумуляторных батарей. В корпусе ячейки имеются прорези для удобства извлечения и установки ячейки и последующей замены ее комплектующих. На лицевой панели присутствует комплект разъёмов для коммутации, а также индикаторы приборов.

«Ячейка» – место расположения модулей, приборов для измерения заряда и аккумуляторных батарей (рис. 3). В каждой ячейке расположено по три АКБ и одному модулю (содержащему в себе: зарядное устройство; инвертор; приборы, позволяющие контролировать уровень заряда в ячейке).



1 – корпус; 2 – аккумуляторные батареи; 3 – выпрямитель;
4 – инвертор; 5 – приборы; 6 – шины
Рисунок 3 – Схема ячейки

За счет наличия в составе модуля выпрямителя появляется возможность заряжать модуль от источников переменного тока, наличие инвертора в составе модуля позволит запитать нагрузку, требующий переменный ток. Подобный состав оборудования предлагается для (полной) ячейки. Наличие инвертора в каждой ячейке не обязательно в первую очередь из-за высокой стоимости данного типа устройства, что приведет к необоснованному удорожанию данного изделия. Для контроля состояния ячеек предлагается использовать следующие приборы: вольтметр, амперметр, и опционально индикатор показывающий уровень заряда батареи (нагрузочная вилка). Подобный состав измерительного оборудования позволяет контролировать состояние батареи как в процессе ее работы (зарядка, работа на нагрузку) и в процессе хранения транспортировки. Соединение АКБ в ячейке вариативное, в зависимости от ситуации соединения может быть, как последовательным, так и параллельным (возможно увеличение напряжения или тока). Использоваться будут свинцовые АКБ в связи с их низкой стоимостью и способностью к эксплуатации в широком температурном интервале (от – 40 до + 40). Каждый из свинцовых АКБ выдает ток порядка 500А в номинальном режиме ячейка выше описанного состава сможет в течении минимум часа выдавать 4А переменного тока номинального напряжения 230В.Пиковые мощности могут быть значительно выше, они зависят в первую очередь от применяемых аккумуляторных батарей. Возможное использование иных типов батарей таких как глеевые, литий-ионные и т.д. За счет этого возможно создание ячеек как повышенной емкости, так и повышенной пиковой мощности.

На базе ЗИЛА- 131, МАЗ 6317 или другой техники, размещаем стеллажи с ячейками и распределительными устройствами. РУ: Выполняется в габаритах корпуса от ячейки.

Количество ячеек будем подбирать для кузова КП4 размеры которого составляют 4500х2400х1800. Средние размеры АКБ будут 240х175х190. Размеры ячейки составят 1000х180х200. Размеры стеллажа составят 1200х200х1500. На один стеллаж мы можем вместить около 5 ячеек в высоту. В кузов мы сможем вместить около 8 стеллажей.

Принцип работы:

- в случае наличия генератора переменного тока происходит его подача на распределительное устройство, которое в свою очередь передает ток напрямую к нагрузке и к выпрямителю переменного тока, тем самым производя зарядку аккумуляторных батарей.
- в случае отсутствия генератора переменного тока инвертор будет использоваться для получения переменного тока, а также для равномерного изнашивания батарей, зарядка будет происходить другими батареями чтобы исключить случаи внезапного выведения из строя ячейки или группы ячеек при их последовательном соединении.

Заключение

Обеспечение электропитания является важной операцией для обеспечения связи. Она включает в себя операции размещения, перемещения, развертывания (свертывания), с учетом обстановки на поле боя, погодных условий и условий местности.

Станция для подачи постоянного тока является экспериментальной установкой, как временная или экстренная замена привычного дизельного генератора. Сама же станция является множеством аккумуляторных батарей, которые соединены между собой в ячейках, которые в свою очередь располагаются в стеллажах (боксах). Установка размещена на базе ЗИЛА-131 или любого другого автомобиля, по необходимости.

Литература

1. Дудак, М.Н. Основы построения полевых узлов связи объединений: учеб.-метод. пособие / М.Н. Дудак, Л.Л. Утин. – Минск : БГУИР, 2019. – 112 с.

2. Градусов, Р.А. Организация и структура полевых узлов связи объединения : учеб.-метод. пособие / Р.А. Градусов, С.Н. Касанин. – Минск : БГУИР, 2012. – 119 с.

УДК 621.3

НАНОТЕХНОЛОГИИ В СВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ
NANOTECHNOLOGY IN WELDING PRODUCTION

Н.С. Кунц
Научный руководитель – В.В. Зеленко, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
M. Kunts
Supervisor – V. Zelenko, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье рассматривается использование нанотехнологий в сварочном производстве. Обсуждаются основные принципы и методы применения наноматериалов для улучшения свойств сварных швов, повышения их прочности и долговечности.*
Abstract: *This article discusses the use of nanotechnology in welding production. The basic principles and methods of using nano-materials to improve the properties of welds, increase their strength and durability are discussed.*
Ключевые слова: *сварка, нанопорошки, композиты, нанороботы.*
Keywords: *welding, nanopowders, composites, nanorobots.*

Введение

Одно из важнейших направлений нанотехнологий – это получение наночастиц (нанопорошков) и их применение. К наночастицам, как правило, относят такие объекты, геометрические размеры которых хотя бы в одном измерении не превышают 100 нм (10-9 м) и которые обладают качественно новыми функциональными свойствами. По мнению экспертов, применение нанопорошков позволит существенно усовершенствовать существующие технологические процессы и создать качественно новую промышленную продукцию.

Используя нанопорошки, например как добавки, можно значительно улучшить свойства различных материалов и продуктов (лекарств, смазочных материалов, топлив, полимеров, фильтров, геттеров, присадок к смазочным материалам, красящих и магнитных пигментов, компонентов низкотемпературных высокопрочных припоев и др.).

Нанопорошки – только один из многих имеющихся на сегодняшний день наноматериалов (рис. 1). Нанопорошки можно производить из различных материалов. Все наноматериалы, которые производятся в настоящее время, подразделяются на четыре группы: оксиды металлов, сложные оксиды (состоящие из двух и более металлов), порошки чистых металлов и смеси [1].



Рисунок 1 – Нанопорошок из марганца и оксида алюминия

У материала в наноструктурном состоянии в несколько раз по сравнению с обычным крупнокристаллическим материалом повышается прочность. В отличие от обычных металлов, когда повышение прочности неминуемо приводит к существенному снижению пластичности, при наноструктурировании материал может сохранять пластичность.

Основная часть

Нанотехнологии в сварке представляют собой передовую область исследований и разработок, направленную на улучшение качества и эффективности сварочных процессов (рис. 2).

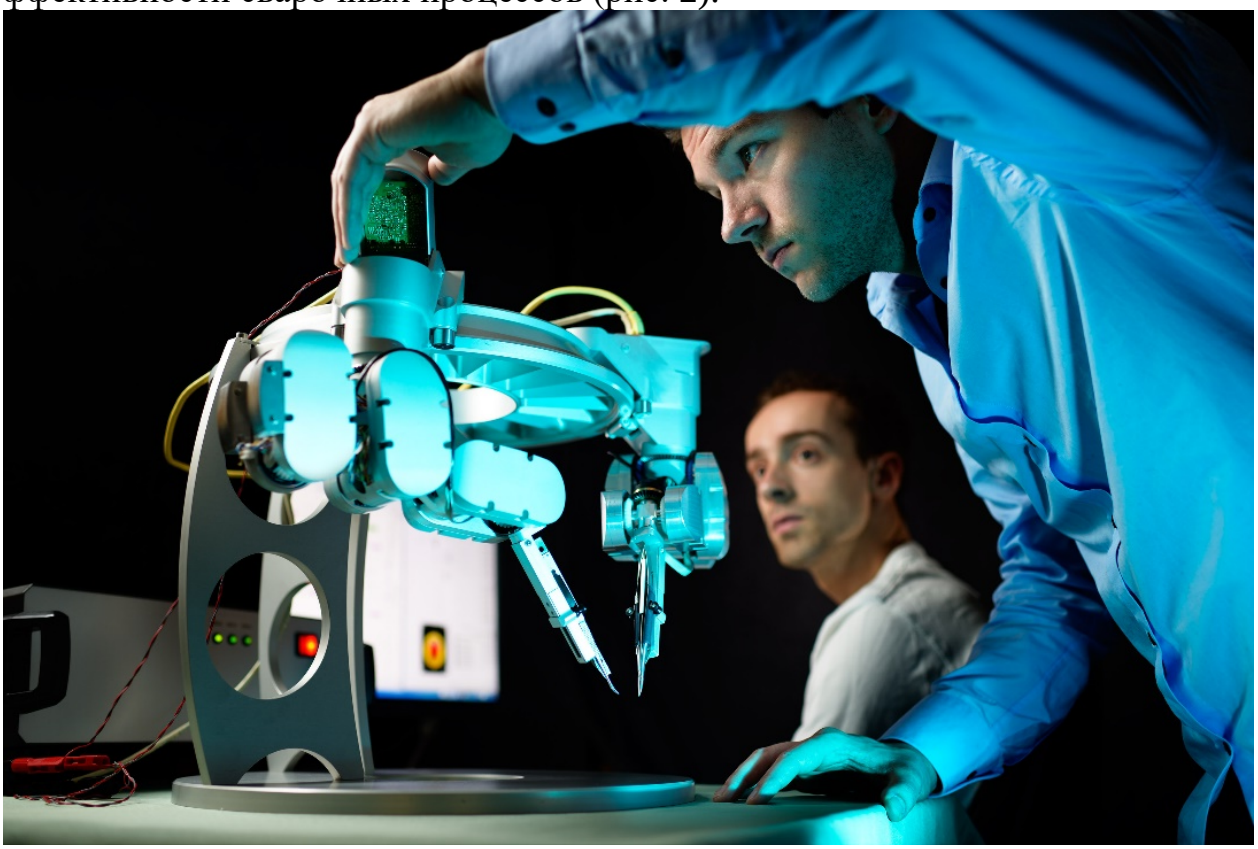


Рисунок 2 – Сварочный аппарат для микроэлектроники

Вот несколько ключевых аспектов, где нанотехнологии могут быть применены в сварке [2]:

- нанопорошки и наночастицы:
  a. улучшение свойств сварочных материалов: Добавление наночастиц в сварочные материалы может улучшить их механические свойства, такие как прочность, устойчивость к коррозии и износостойкость;
  b. повышение качества сварных швов: Наночастицы могут улучшить структуру и микроструктуру сварного шва, что приводит к более равномерному распределению напряжений и уменьшению дефектов.
- нанокомпозиты:
  a. Создание новых сварочных материалов: Нанокомпозиты, содержащие наночастицы в матрице из традиционных материалов, могут обеспечить уникальные свойства, такие как высокая прочность при низкой плотности;
  b. Улучшение свариваемости: Нанокомпозиты могут снизить температуру плавления и улучшить текучесть материала, что облегчает процесс сварки.
- нанопокрытия:
  a. защита от коррозии: Нанопокрытия могут быть использованы для защиты сварочных швов от коррозии, что продлевает срок службы сварных конструкций;
  b. улучшение адгезии: Нанопокрытия могут улучшить адгезию между свариваемыми материалами, что повышает прочность и надежность соединения.
- нанотехнологии в контроле качества:
  a. неразрушающий контроль: Нанотехнологии могут быть использованы для разработки новых методов неразрушающего контроля, таких как наносенсоры, которые позволяют более точно определять дефекты и неоднородности в сварных швах;
  b. мониторинг процесса сварки: Наносенсоры могут быть интегрированы в сварочное оборудование для мониторинга параметров процесса в реальном времени, что позволяет оперативно корректировать условия сварки.
- нанотехнологии в автоматизации и роботизации сварки:
  a. разработка нанороботов: Нанороботы могут быть использованы для выполнения точных и сложных сварочных операций, что повышает качество и эффективность процесса.
  b. интеграция с наносенсорами: Наносенсоры могут быть использованы для улучшения точности и контроля в автоматизированных и роботизированных сварочных системах.

Применение нанотехнологий в сварке открывает новые возможности для создания высококачественных и надежных сварных соединений, что особенно важно в таких отраслях, как аэрокосмическая промышленность, автомобилестроение, строительство и энергетике.

Заключение

Нанотехнологии, и в частности нанопорошки, представляют собой перспективное направление, которое может существенно улучшить свойства различных материалов и продуктов. Их использование открывает новые возможности для усовершенствования технологических процессов и создания инновационной промышленной продукции.

Литература

1. NanoDictionary // Nanotechnology Perceptions. 2005. №1. P. 147–160.
2. Балабанов, В.И. Нанотехнологии. Наука будущего. – М.: Эксмо, 2009. – 256 с.

УДК 621.311

ДИЗЕЛЬ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ (ПЕРЕДВИЖНАЯ)
DIESEL POWER STATION (MOBILE)

П.А. Жарский
Научный руководитель – Д.А. Ахремчук, ассистент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
P. Zharsky
Supervisor – D. Ahremchuk, Assistant
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Будет описана структура дизельной электростанции, а так же рассмотрены их преимущества и недостатки. По результатам анализа «слабых мест» данного вида электростанций, высказаны идеи по их модернизации.*

Abstract: *The structure of a diesel power plant will be described, as well as their advantages and disadvantages. Based on the results of the analysis of the "weak points" of this type of power plants, ideas were put forward for their modernization.*

Ключевые слова: *дизельная электростанция, передвижные электростанции, дизельный двигатель, модернизация дизельных генераторов.*

Keywords: *diesel power station, mobile power stations, diesel engine, modernization of diesel generators.*

Введение

Дизельные электростанции (ДЭС) сейчас являются самым широко используемым и применяемым источником электроэнергии, наиболее актуальный в районах с плохой инфраструктурой и снабжением, так же получили большую популярность в различных объектах где требуется постоянное электричество без перебоев. В последние годы множество производителей ДЭС заинтересованы в улучшении сброса количества выбросов от работы ДЭС .

Целью данного научного доклада является рассмотреть конструктивные особенности ДЭС, анализ и разор их возможной модернизации и перспектива внедрения новых технологий которая поможет увеличить энергетическую и экологическую эффективность ДЭС.

Основная часть

Дизельные электростанции является энергетической установкой , цель работы которой заключается в преобразовании жидкого топлива в механическую энергию. Работа дизельного двигателя внутреннего сгорания (ДВС) преобразует, а затем в электрическую энергию через генератор.

Самая распространенная ДЭС состоит из следующих основных компонентов (рис. 1):

- дизельный двигатель – преобразует химическую энергию топлива в механическую;
- электрический генератор – преобразует механическую энергию вращения двигателя в электрическую;

– система охлаждения – поддерживает оптимальную температуру двигателя и генератора;
– система выхлопа – удаляет продукты сгорания;
– топливная система – подает дизельное топливо в двигатель;
– автоматическая система управления – контролирует работу станции и обеспечивает её бесперебойную работу.

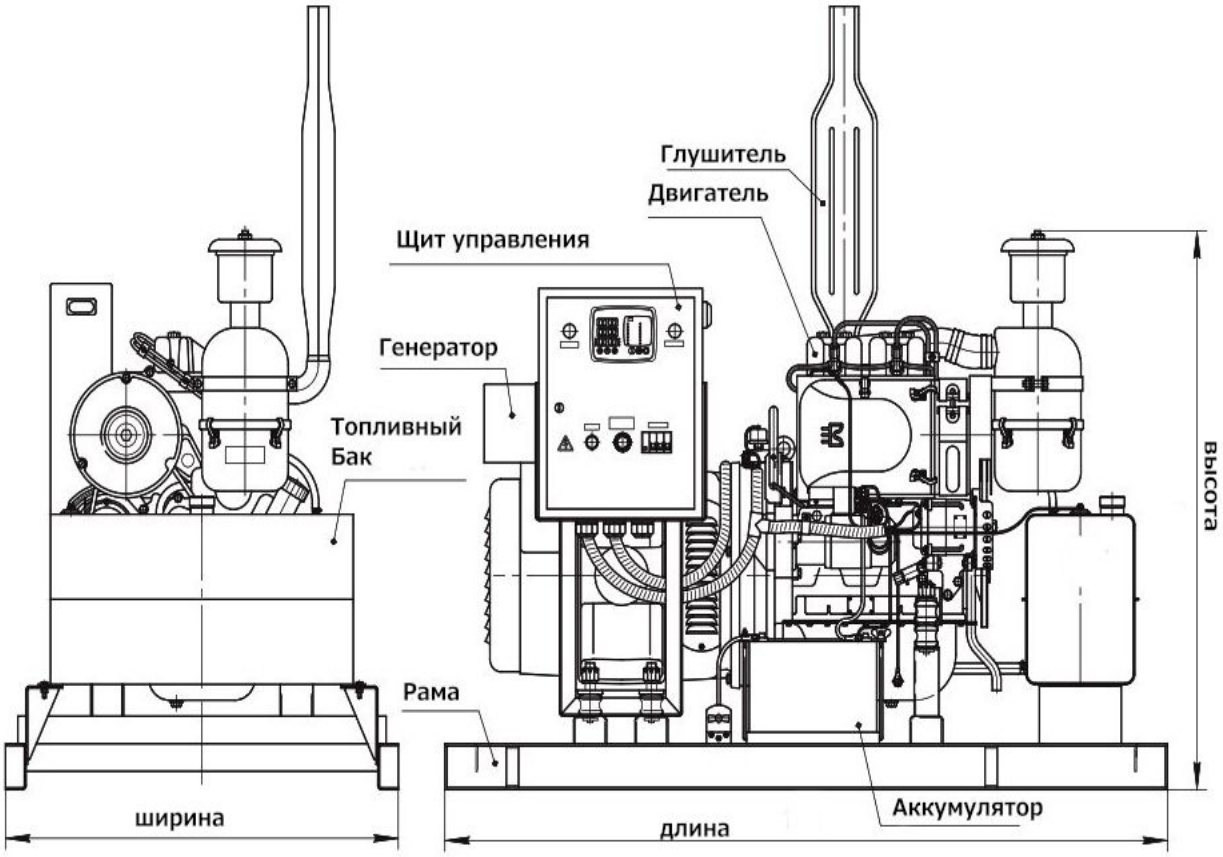


Рисунок 1 – схема дизельной электростанции

Основные плюсы и преимущества ДЭС:

– высокая надежность: ДЭС хорошо зарекомендовали себя в сложных условиях нагрузки и в труднодоступных регионах, где плохо развита инфраструктура;
– мобильность и автономность: часто используются в качестве мобильных энергоблоков для строительных площадок, аварийных ситуаций и временных объектов;
– экономичность при малых нагрузках: из-за компактности и относительной низкой стоимости установки дизельная станция эффективна в малых и средних мощностях.

Проблемы и ограничения. Хоть ДЭС и является крайне нужным аппаратом в различных нужных ситуациях, но ДЭС можно и нужно модернизировать для избавления от некоторых недостатков:

Большое количество демаскирующих признаков: Большие габариты, является источником звука, и специфического запаха, и т.д.

Относительно низкий коэффициент полезного действия (КПД): В силу принципа работы ДВС существенная часть энергии теряется в виде тепла.

Зависимость от снабжения ГСМ: Станции зависят от бесперебойных поставок дизельного топлива и смазочных материалов.

Возможности модернизации дизельных электростанций. Модернизация дизельных электростанций (ДЭС) – важная часть доклада и модернизации ДЭС для повышения их эффективности, надежность и снижения вредного воздействия на окружающую среду. В данной части доклада подробно рассмотрим конкретные технологии и примеры успешной модернизации ДЭС.

Ключевое направлений модернизации дизельной электростанции это повышение их топливной эффективности. Так как дизельные двигатели имеют малый коэффициент полезного действия (КПД), наиболее проявляемый при работе на малых нагрузках.

Пример 1: Использование системы турбонаддува

Турбонаддув – технология, позволяющая увеличить количество воздуха, подаваемого в камеры сгорания, за счет использования энергии выхлопных газов. Это улучшает процесс сгорания топлива и позволяет повысить КПД двигателя. Примером успешного применения такой модернизации является проект компании Cummins, которая внедрила турбокомпрессоры с переменной геометрией в свои дизельные двигатели, что позволило снизить расход топлива на 15% и повысить мощность генераторов на 20%, при незначительном росте габаритов и веса [1].

Недостатки:

- снижение общей надежности установки;
- добавление турбокомпрессора повышает сложность конструкции двигателя.Турбокомпрессор и связанные с ним компоненты подвергаются высоким механическим и тепловым нагрузкам, что может привести к дополнительным отказам и дефектам.В интенсивных условиях эксплуатации вероятность износа элементов возрастает, и общая надежность ДЭС несколько снижается;
- требуются более качественные и дорогие смазочные материалы;
- поскольку турбокомпрессоры работают при высоких скоростях и температурах ,стандартные масла могут быть не достаточно устойчивы к перегреву и окислению. Для двигателей с турбо наддувом требуются специализированные смазочные материалы с повышенной термостойкостью, которые стоят гораздо дороже обычных масел. Это увеличивает общую стоимость обслуживания и эксплуатации силовой установки;
- сокращенные интервалы обслуживани;
- дизельные электростанции с турбинами требуют более частого обслуживания из-за повышенной нагрузки на компоненты двигателя . Частые проверки турбокомпрессоров и замена масла стали необходимы для предотвращения отказов. Сокращение интервалов обслуживания приводит к дополнительным простоям и повышению эксплуатационных

расходов.

Пример 2: Применение систем впрыска топлива высокого давления

Современные системы впрыска топлива с высоким давлением (Common Rail) обеспечивают более точное управление процессом сгорания, что способствует более эффективному использованию топлива. Например, компания MTU внедрила систему впрыска высокого давления в свои двигатели, что позволило снизить удельный расход топлива минимум на 10%.

Недостатки:

- высокая стоимость систем впрыска топлива под высоким давлением существенно увеличивает начальные затраты на дизельные электростанции. Компоненты, такие как топливные насосы, форсунки и системы управления, изготавливаются с высокой точностью, что также приводит к увеличению строительных расходов. В результате установка таких систем на дизельных электростанциях требует значительных инвестиций, что повышает стоимость конечного продукта;
- современные системы впрыска топлива под высоким давлением содержат множество электронных компонентов, включая датчики давления, датчики температуры и системы управления впрыском. Хотя использование электроники может улучшить точность измерений и общую производительность, это также создает уязвимости в системе безопасности. Электронные системы могут потребовать дополнительного обслуживания;
- системы впрыска высокого давления сложны и требуют узкоспециализированного обслуживания;
- такие детали, как топливные форсунки и насосы высокого давления, трудно заменить или отремонтировать из-за их высокой точности и специальной конструкции. Эти детали легче заменить, чем отремонтировать, что приводит к увеличению затрат на ремонт и простою электростанции;
- кроме того, при повреждении электронных компонентов может потребоваться комплексная диагностика, которую можно выполнить только на специализированном оборудовании.

Уменьшение выбросов вредных веществ и уменьшение демаскирующих признаков. В условиях усиления требований к экологической безопасности одной из главных задач является снижение выбросов CO2, NOx и твердых частиц, возникающих при сгорании дизельного топлива возможная замена на биодизель. Так же можно сказать, что запах дизельного топлива является характерным демаскирующим признаком, и очистка выхлопа уменьшит данный признак.

Пример 3: Использование систем селективной каталитической нейтрализации (SCR)Система SCR (Selective Catalytic Reduction) позволяет существенно снизить выбросы оксидов азота (NOx) путем добавления в выхлопные газы раствора мочевины, который нейтрализует вредные выбросы.

Например, электростанции, модернизированные компанией Caterpillar, с использованием системы SCR смогли сократить выбросы NOx на 90% [2].

Снижение уровня шума. Одним из главных факторов, способствующих обнаружению дизельных электростанций (ДЭС), является шум, создаваемый двигателем и другими элементами. Уменьшение шума достигается путем установки шумоизоляционных кожухов и использования демпфирующих материалов. Глушители, специально разработанные для дизельных установок, позволяют значительно снизить уровень шума на большом расстоянии от источника.

Применение малозаметных выхлопных систем. Современные выхлопные системы для ДЭС разрабатываются с акцентом на минимизацию видимых следов выхлопа. Они оснащены фильтрами и системами охлаждения, которые уменьшают видимость теплового следа и следов выхлопных газов.

Недостатки: главным недостатком Системы SCR (Selective Catalytic Reduction), является ее цена. Этот механизм полезен но и достаточно дорогой из за чего производители пренебрегают им.

Пример 4: Внедрение сажевых фильтров

Сажевые фильтры используются для улавливания твердых частиц, образующихся при сгорании дизельного топлива. Например, компания Volvo Penta внедрила модернизированные системы фильтрации на своих ДЭС, что позволило сократить выбросы твердых частиц на 95%. Этот шаг оказался особенно актуален для станций, работающих вблизи жилых районов, где важно минимизировать загрязнение воздуха.

Недостатки: главным недостатком можно выявить доступность сажевых фильтров и их обслуживание. Сажевые фильтры являются дорогостоящим оборудованием из за изготовления из высоко качественных материалов, а так же для обслуживания требуется постоянная чистка и замена компонентов.

Бензиновые генераторы с низкой мощностью (1–10 кВт). В военных операциях, где важно минимальное потребление энергии, активно используются бензиновые генераторы малой мощности. Эти устройства обеспечивают достаточную производительность для питания оборудования в полевых условиях, обладают хорошей мобильностью и могут служить резервным источником энергии или применяться в удалённых местностях.

Основные параметры бензиновых генераторов:

- мощность: 1–10 кВт;
- габариты: зависят от мощности, но для диапазона от 1 до 10 кВт генераторы имеют размеры от 40-35-40 см до 60-50-50 см;
- масса: от 15 до 100 кг в зависимости от модели и мощности. Например, генератор мощностью 2 кВт весит около 20–25 кг, а мощностью 10 кВт – около 80–100 кг.

Солнечные панели. Солнечные панели представляют собой отличный выбор для ситуаций, когда необходимы автономные и незаметные источники энергии. Сочетание солнечных батарей с дизельными генераторами значительно увеличивает скрытность и независимость, а также уменьшает зависимость от

топлива. Это особенно важно для специальных подразделений, работающих в удалённых районах, где доставка топлива может быть затруднена.

Главным недостатком солнечных панелей является потребность в солнечной погоде. В условиях плохой погоды, а также в утренние и вечерние часы их производительность существенно падает. В северных широтах и зимой панели могут оказаться недостаточными для стабильного электроснабжения, что ограничивает их использование в таких условиях.

Заключение

Внедрение современных технологий и альтернативных источников энергии в системы энергоснабжения основывающиеся на мобильных дизельных электростанциях значительно увеличивает КПД системы, мощность и эффективность, что делает такие установки более адаптивными и экономичными для военных и полевых операций. Однако с повышением производительности возникают и определённые недостатки: усложнение конструкции для достижения большей эффективности может привести к увеличению стоимости установки, снижению надёжности и ухудшению ремонтопригодности.

При модернизации мобильных ДЭС не обязательно применять все выше описанные решения одновременно.

Наиболее целесообразными шагами являются следующие меры:

- турбирование генераторов с использованием системы впрыска типа Common Rail способствует увеличению мощности при уменьшении размеров и снижению расхода топлива;
- установка сажевых фильтров с развитыми глушителями позволяет не только уменьшить выбросы вредных веществ но и значительно снизить уровень шума, что особенно актуально для работы в зонах, где требуется минимальное демаскирующее воздействие;
- интеграция маломощных бензиновых генераторов и солнечных батарей расширяет возможности электроснабжения, повышает автономность и делает систему более гибкой, позволяя использовать солнечную энергию и бензиновые генераторы в качестве резервных источников.

Эти модернизации в совокупности не только повышают эффективность и автономность мобильных ДЭС, но и позволяют адаптировать их к не благо приятным условиям эксплуатации, сохраняя баланс между мощностью и эксплуатационными характеристиками.

Литература

1. De Gruyter academic publishing [Electronic resource]: Converting compression ignition engine to dual-fuel (diesel + CNG) engine and experimentally investigating its performance and emissions – Mode of access: https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/opag-2022-0319/html – Date of access: 18.11.2024.

2. Зоря, Е.И. О реализации водного раствора карбамида (продукт aus32) для дизельных двигателей на автозаправочных станциях / Е.И. Зоря, О.В. Лощенкова // Экологический вестник России– 2018. – № 2. – С. 10–18.

УДК 621.311

СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ СТАНКОВ С ЧПУ
CNC STACK PROTECTION SYSTEMS

А.Н. Волков
Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Volkov
Supervisor – Zhukovskaya T., Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В статье рассматриваются основные системы защиты для станков с числовым программным управлением (ЧПУ), которые обеспечивают безопасную и эффективную эксплуатацию оборудования. Автор описывает функции и принципы работы различных датчиков и устройств, таких как датчики контроля температуры и положения, защита от перегрузки, а также устройства защитного отключения. В работе уделяется внимание новейшим технологиям защиты, обеспечивающим высокую точность и безопасность при использовании станков с ЧПУ в промышленном производстве.*

Abstract: *This article examines core protection systems for CNC machines, which are crucial for the safe and efficient operation of equipment. The author discusses the functions and working principles of various sensors and devices, such as temperature and position sensors, overload protection, and protective shutdown systems. Special emphasis is given to the latest protection technologies that ensure high precision and safety, enhancing CNC machine utilization in industrial production.*

Ключевые слова: *безопасность, ЧПУ, датчики, защита от перегрузки, устройство защитного отключения, контроль температуры, промышленность.*

Keywords: *safety, CNC, sensors, overload protection, protective shutdown, temperature control, industry.*

Введение

В современной промышленности станки с числовым программным управлением (ЧПУ) занимают центральное место в процессе производства. Технологии ЧПУ позволяют автоматизировать и точно контролировать работу станков, что увеличивает производительность и точность обработки. Однако безопасность является неотъемлемой частью эффективной работы этих устройств. В данном докладе мы рассмотрим основные элементы защиты станков с ЧПУ, такие как системы контроля температуры, датчики контроля положения, защиту от перегрузки и устройства защитного отключения (УЗО), их принцип работы и применение.

Основная часть

Датчики контроля температуры.

Датчики контроля температуры используются для мониторинга температуры критически важных компонентов станка, таких как моторы,

шпиндели и электроника. Они могут быть термопарами, терморезисторами (например, термисторами) или инфракрасными датчиками.



Рисунок 1 – Термопара

Термопары генерируют электродвижущую силу вследствие малейшего изменение температуры [1].

Терморезисторы изменяют свое сопротивление в зависимости от температуры.

Инфракрасные датчики позволяют измерять температуру удаленно, что предотвращает, перегрев без физического контакта с объектом. Термисторы – это устройства, изменяющие своё сопротивление в зависимости от температуры, обычно с падением сопротивления при увеличении температуры. Чувствительность к изменениям температуры позволяет использовать их в различных устройствах.

Термистор [2] используются для контроля температуры, в том числе в системах охлаждения, отопления, а также в электронике, чтобы предотвратить перегрев. Термисторы широко применяются благодаря их компактности, надежности и точности в измерении температуры в различных промышленных и бытовых устройствах.

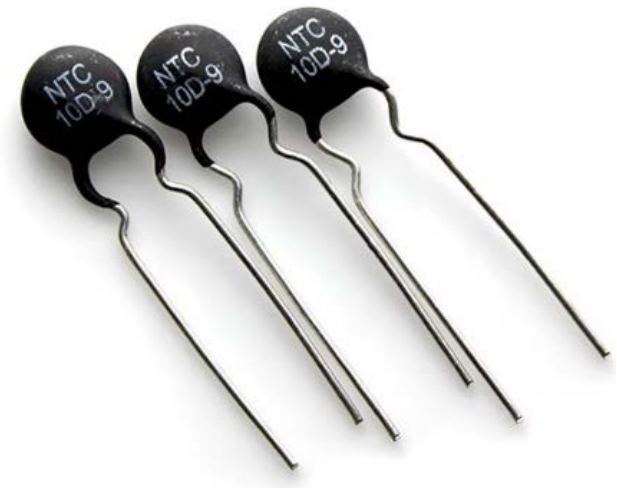


Рисунок 2 – Термисторы

Эти датчики используются на токарных, фрезерных, сверлильных и шлифовальных станках, а также на станках с ЧПУ (контроль температуры шпинделя для предотвращения возможности перегрева, мониторинг температуры приводов и двигателей).

Датчики контроля положения.

Датчики контроля положения [3] обеспечивают обратную связь о положении осей станка. Они могут быть инкрементальными или абсолютными и включают в себя линейные и угловые энкодеры, датчики Холла и оптические датчики.



Рисунок 3 – Угловые энкодеры

Инкрементальные энкодеры на каждой оси определяют перемещение относительно начального положения.

Абсолютные энкодеры предоставляют точную информацию о положении в любой момент времени, даже после отключения питания. Линейные энкодеры измеряют линейное перемещение объекта с помощью оптических или магнитных датчиков, размещенных вдоль пути движения. Они обеспечивают точную обратную связь о положении и скорости, что позволяет контролировать движение и обеспечивать высокую точность обработки на станках. Угловые энкодеры, с другой стороны, используются для измерения углового поворота осей или вращательных элементов, таких как шестерни или валы. Они предоставляют информацию о положении с высокой разрешающей способностью и могут быть энкодерами относительного или абсолютного типа.

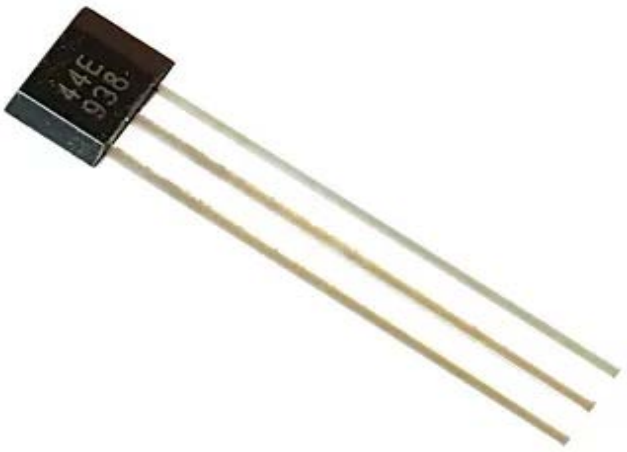


Рисунок 4 – Датчик Холла

Датчик Холла [4] – это электроника, которая использует магнитное поле для определения присутствия или изменения положения магнитного объекта, обычно применяется для измерения углового или линейного перемещения. Когда магнитное поле воздействует на датчик, он генерирует электрический сигнал, пропорциональный величине этого поля, который может быть использован для мониторинга положения и скорости вращения элементов, таких как валы и шестерни. Датчики Холла широко используются в различных областях, включая автомобильную промышленность, электродвигатели и системы управления ЧПУ.

Датчики контроля положения активно используются на всех типах ЧПУ станков, включая фрезерные и токарные станки, для точного контроля положения инструмента.

Станки для лазерной резки и плазменной резки: для точности в управлении движением по осям.

Защита от перегрузки.

Системы защиты от перегрузки следят за током и мощностью, потребляемыми электродвигателями. Если уровень нагрузки превышает

установленные параметры, происходит автоматическое отключение системы или ограничение мощностей.

Определение перегрузки может быть осуществлено с помощью датчиков тока, которые измеряют потребляемый ток. При превышении предельного значения система может:

– отключить мотор;
– переключить на режим низкой нагрузки;
– выдать сигнал тревоги.

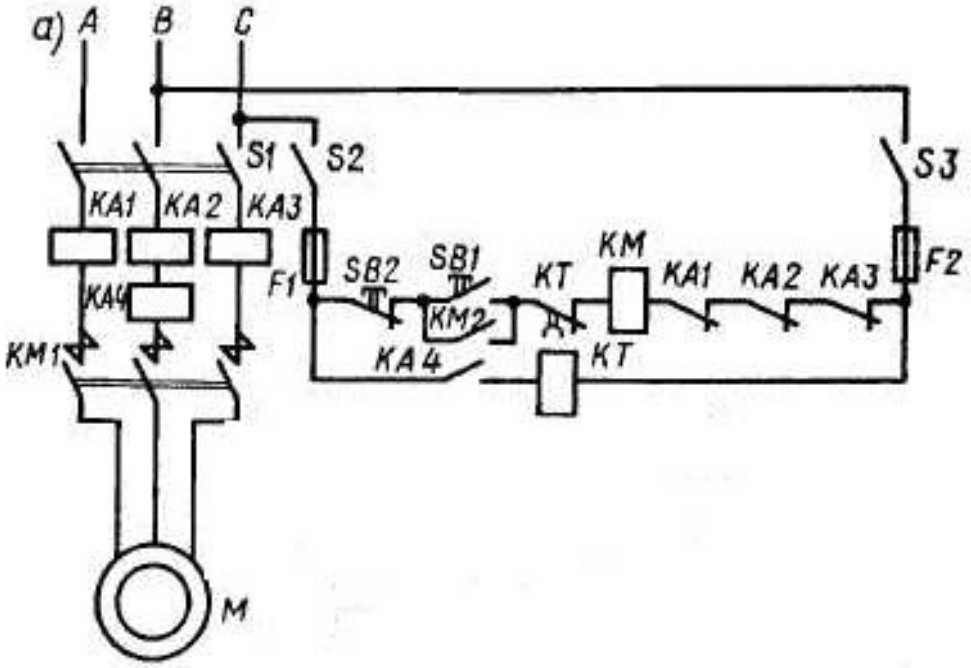


Рисунок 5 – Защита от перегрузки

Защита от перегрузки [5] используется в токарных и фрезерных станках, а так же станках с ЧПУ для предотвращения повреждение инструмента и детали и для защиты приводов и других узлов.

Устройства защитного отключения (УЗО).

УЗО предназначены для защиты людей и оборудования от утечки тока. При наличии утечки УЗО немедленно отключает питание, предотвращая электроудар и повреждение оборудования. Принцип УЗО крайне прост и основан на первом законе Кирхгофа, а именно на одном из его прочтений звучащим как: "В любом узле, сумма токов, направленных к узлу равна сумме токов, направленных от узла”.

УЗО сравнивает токи, проходящие по фазе и нейтрали (обычно в диапазоне 30 мА). Если разница превышает установленный предел (например, 30 мА), устройство автоматически отключает цепь.

УЗО чаще всего используются в электрооборудовании:

– станки любого типа: токарные, фрезерные, шлифовальные, и специализированные станки (например, для обработки древесины или металла).
– электронные панели управления: для защиты управляющей электроники от электрических замыканий и перенапряжений.

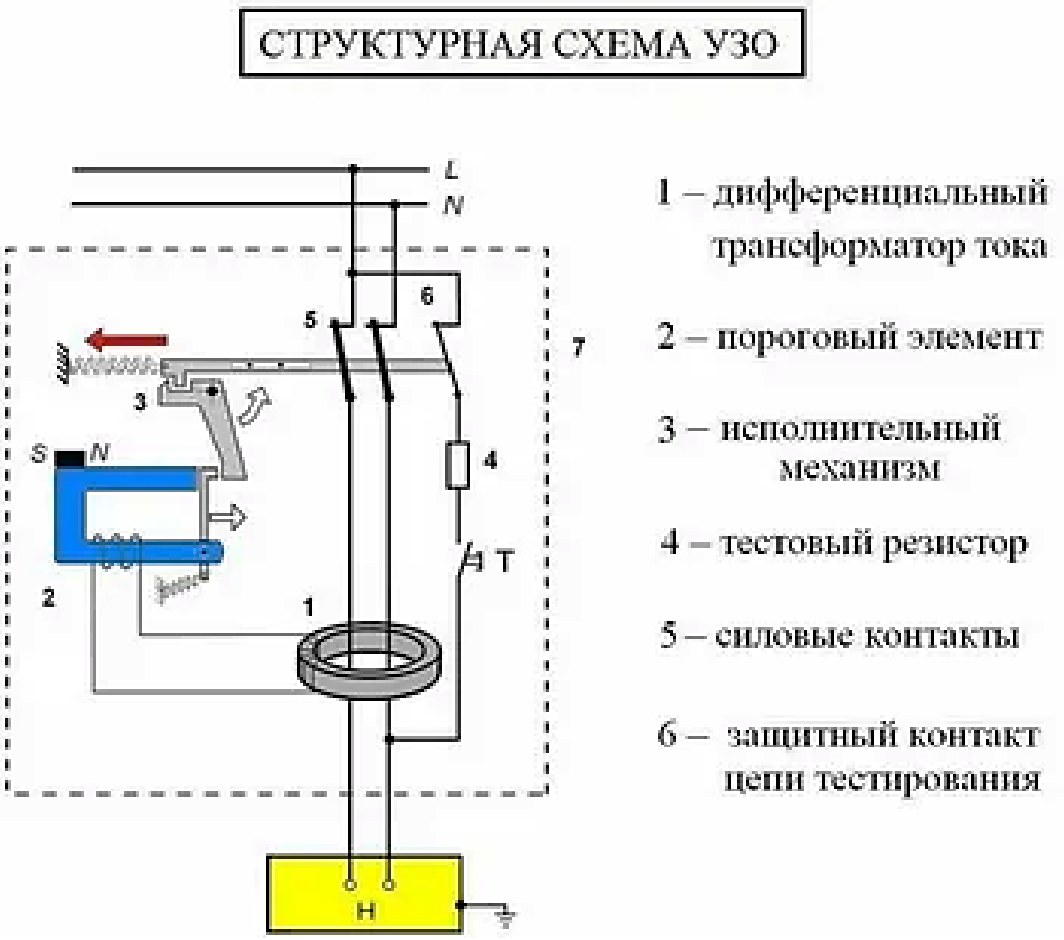


Рисунок 6 – Структурная схема УЗО

Заключение

Эти технологии защиты являются важными компонентами современных станков, что обеспечивает безопасность оператора и долговечность самого оборудования. Они могут быть найдены на различных типах станков, например на таких как Токарные станки с ЧПУ (например, серии Haas, Mazak, Hyundai-Wia), Фрезерные станки (например, DMG Mori, Hurco), Шлифовальные станки (например, Studer, Jung).

Каждый из этих элементов защиты служит для обеспечения безопасной работы станка ЧПУ и предотвращения потенциальных опасностей. Важно следовать инструкциям производителя и правильно использовать все элементы защиты, чтобы обеспечить безопасность операторов, эффективность работы и сохранность оборудования.

Литература

1. Зимин, Е.Н. Защита асинхронных двигателей до 500 В. Изд. 2-е, переработ, и доп. М. – Л., изд-во «Энергия», 1967. – 88 с. с черт. (Библиотека электромонтера Вып. 209).

2. Монаков, В.К. УЗО Теория и практика: учеб.-метод. пособие / В.К. Монаков. – Москва: «Энергосервис», 2007. – 367 с.

3. Киф, Г.Б. Станки с ЧПУ (Устройство, технология): учебник / Г.Б. Киф, Г.А. Рошиваль, К. Шварц. – Астана : «Фолиант», 2021. – 312 с.

УДК 621.383

ОПТИЧЕСКИ ПЕРЕКЛЮЧАЕМЫЕ ФОТОННЫЕ БЛОКИ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЕ ДЛЯ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
OPTICALLY SWITCHED PHOTONIC BLOCKS DESIGNED FOR LOGIC ELEMENTS

К.Е. Латышенко, Н.В. Гарбузов
Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
K. Latyshenko, N. Garbuzov
Supervisor – T. Zhukouskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Статья рассматривает разработки логических микросхем с использованием фотонов и работу недавних стратегий.*
Abstract: *The article examines the development of logic microcircuits using photons and their operation of recent strategies.*
Ключевые слова: *фотоны, «включаемые» фотопереключатели, логические схемы.*
Key words: *photons, «turn-on» photoswitches, logic circuits.*

Введение

На сегодняшний день мы имеем логические схемы, использующие электроны. Такие схемы зависят только от количество подаваемых электронов на сигнал, то есть функционал ограничен только сигналом «1» и «0».

С другой стороны, мы имеем фотоны, от которых мы можем использовать не только интенсивность, то есть количества фотонов, но и длину волны и степень поляризации, что делает передачу информации более гибким делом, так же само использование фотонов даст очень высокую скорость передачи информации и высокую плотность хранения информации.

Конечно же реализация такой идеи сложна, потому что нужны устройства, обладающие фотонной стабильностью, быстрым откликом, высокой усталостной прочностью и тому подобное. Перспективу для решения такой проблемы представляют фотопереключаемые молекулы.

Основная часть

Старые стратегии по созданию фотонных логический цепей.

Фотопереключаемые молекулы могут преобразовываться между двумя бистабильными изомерными формами путем поглощения света двух разных длин волн, что позволяет оптически кодировать информацию с присутствием или отсутствием специального изомера.

В старых стратегиях использовали фотохромизм для реализации полностью фотонных логических функций для управления эффективностью передачи энергии и заряда между фотопереключателями и молекулами красителя. Но, как показала практика, для некоторых функций на выходе всё подходит изменению поглощения на определенной длине волны, но для других надо было провести расчёт или спектральный анализ, что было не очень удобно.

«Включаемые» фотопереключатели.

Недавно были открыт новый класс фотохромических молекул, которые флуоресцентны при фотоциклизации и называют «включаемыми» фотопереключателями. Облучение ультрафиолетовым светом приводит к циклизации низкоэмиссионного (LE) изомера, преобразуя его в высокоэмиссионый (HE) изомер, который можно исследовать при видимом спектре света. Но свет, который используют для исследования эмиссии, может вызвать процесс циклореверса, что, конечно, приведёт к LE изомеру. Так «включаемые» фотопереключатели могут переключаться между LE и HE состояниями. HE и LE можно считать как «1» и «0».

Работа «включаемых» фотопереключателей в устройстве.

Как и писалось выше, фотопереключатели могут переключаться в HE и LE состояния. При ультрафиолетовом диапозоне (280-350 нм) будет HE, при видимом (420-520 нм) будет LE (рис. 1).

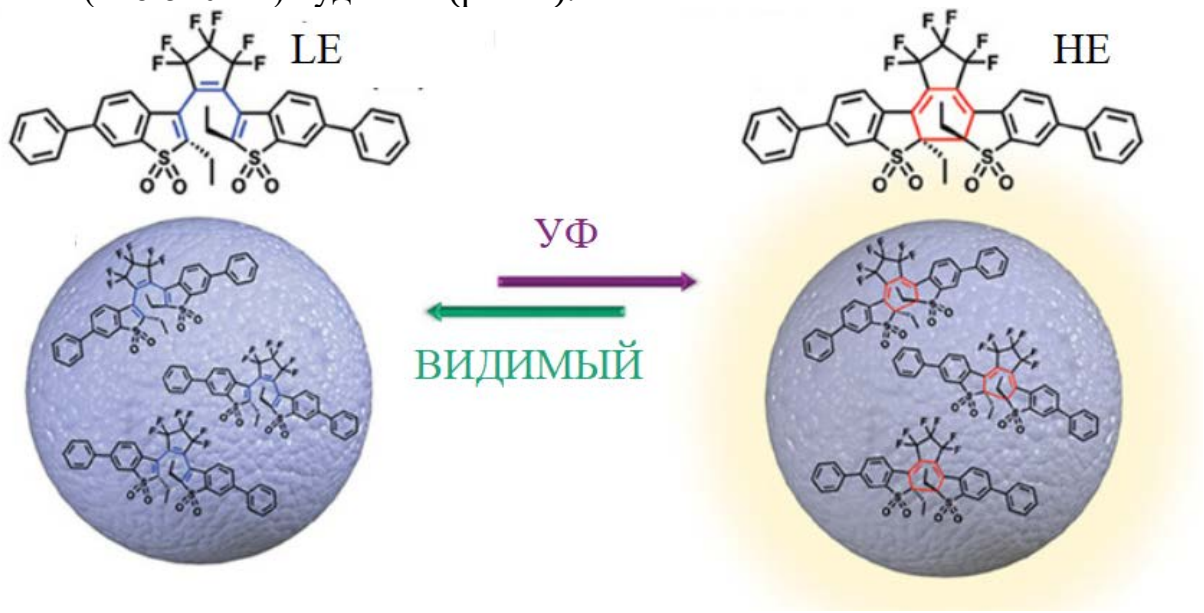


Рисунок 1 – Вид молекул при LE и HE состояниях

Для иммобилизации фотохромные молекулы были включены в наношарики полистирола диаметром ≈310 нм. Таким образом, каждая отдельная бусина вмещает ≈106 молекул. Так можно переключаться между LE и HE сотни раз без деградации и так же бусинки с фотопереключателями полностью контролируется светом.

Загруженные красителем бусины были собраны в 2D-решетку, сочетающую электрофоретическое осаждение и электронно-лучевую литографию (EBL), называемую поверхностно-шаблонной электрофоретической депозицией (STEPD). С помощью STEPD электрически заряженные наночастицы могут быть размещены под воздействием внешнего электрического поля на предварительно определенном шаблоне, который был подготовлен с помощью EBL. Это позволяет создавать сборки наночастиц большой площади с высокой точностью.

Допустим рассмотрим пример на рисунке 2.

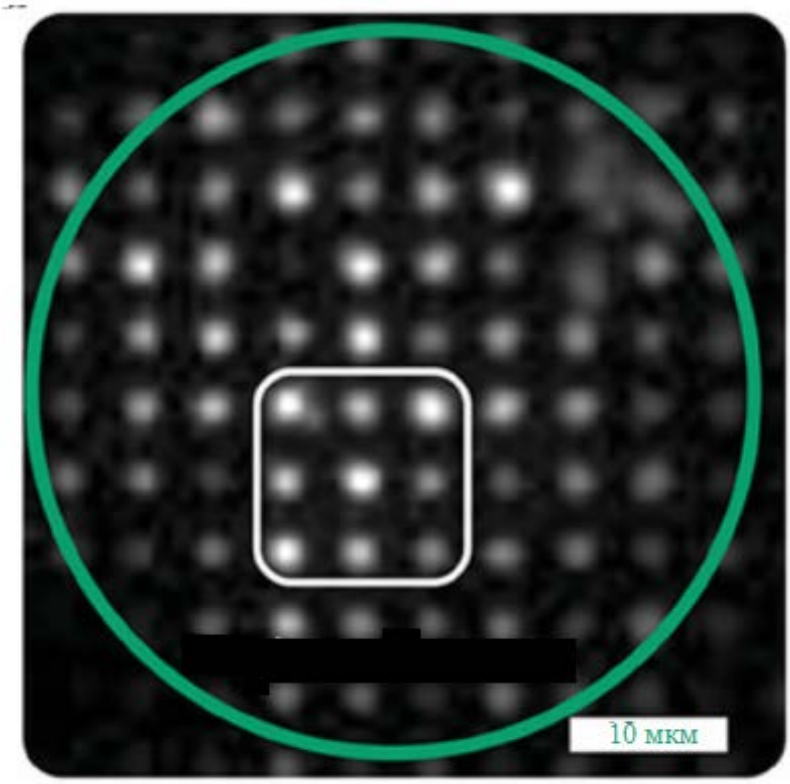


Рисунок 2 – Пример массива наночастиц PS, расположенных на сетке размером 5 мкм × 5 мкм с использованием метода STEPD

Образец был прикреплен к пьезоэлементу для точного перемещения массива, а ячейка была смонтирована в самодельной двухсветовой микроскопической установке для переключения и возбуждения отдельных бусин. Зеленый круг на рисунке 2 относится к области диаметром ≈70 мкм, которая освещается видимым светом, а белый квадрат относится к области интереса, которая вмещает 3 × 3 полимерных бусины.

Флуоресцентные изображения из этой области показаны на рисунке 3 в увеличенном масштабе.

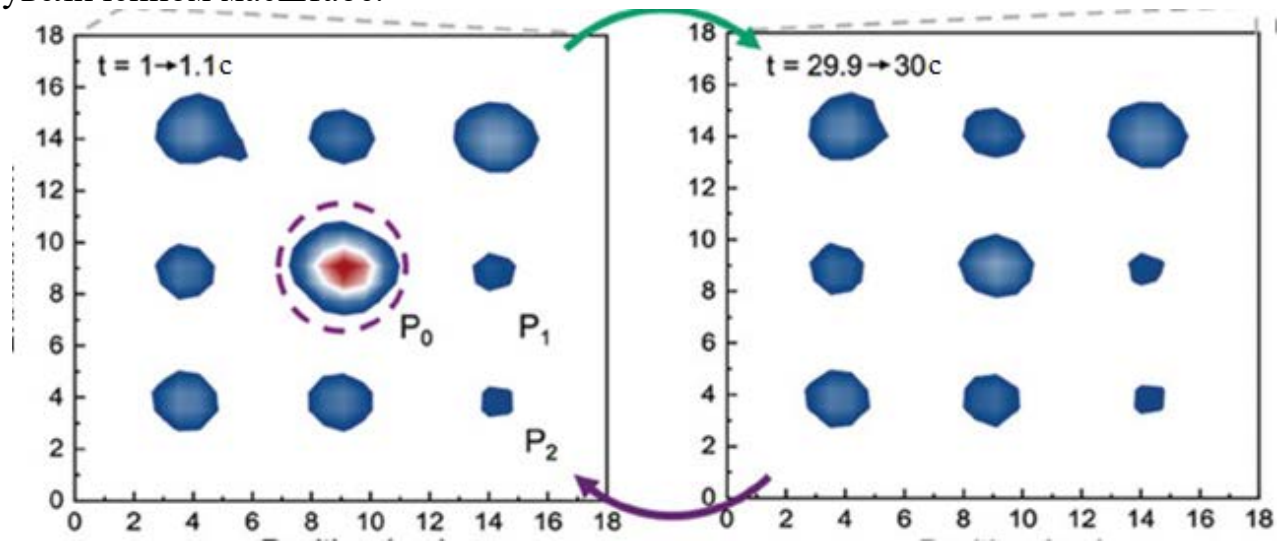


Рисунок 3 – Флуоресцентные изображения области интереса для оптического цикла

Они были получены путем фокусировки УФ-света в течение 1 с на бусине P0 в центре (пунктирная фиолетовая линия) и последующего зондирования

флуоресценции от всех девяти бусинок путем возбуждения видимым светом в течение 29 с, то есть общая продолжительность одного цикла составляет 30 с. Два изображения на рисунке 3 были накоплены в течение первых 100 мс (слева) и последних 100 мс (справа) воздействия видимого света. Только для бусины P0, хромофоры которой были инициализированы в состоянии HE, наблюдается сильный сигнал флуоресценции при освещении видимым светом, рис. 3 слева, тогда как сигнал от других бусин остается на низком уровне. Важно, что по мере продолжения видимого освещения интенсивность излучения, зарегистрированная от бусины P0, спадает до уровня LE в масштабе времени в несколько секунд, рис. 3 справа. Это сравнивается более количественно на рисунке 4 для P0 и одной из его ближайших соседних бусин, P1.

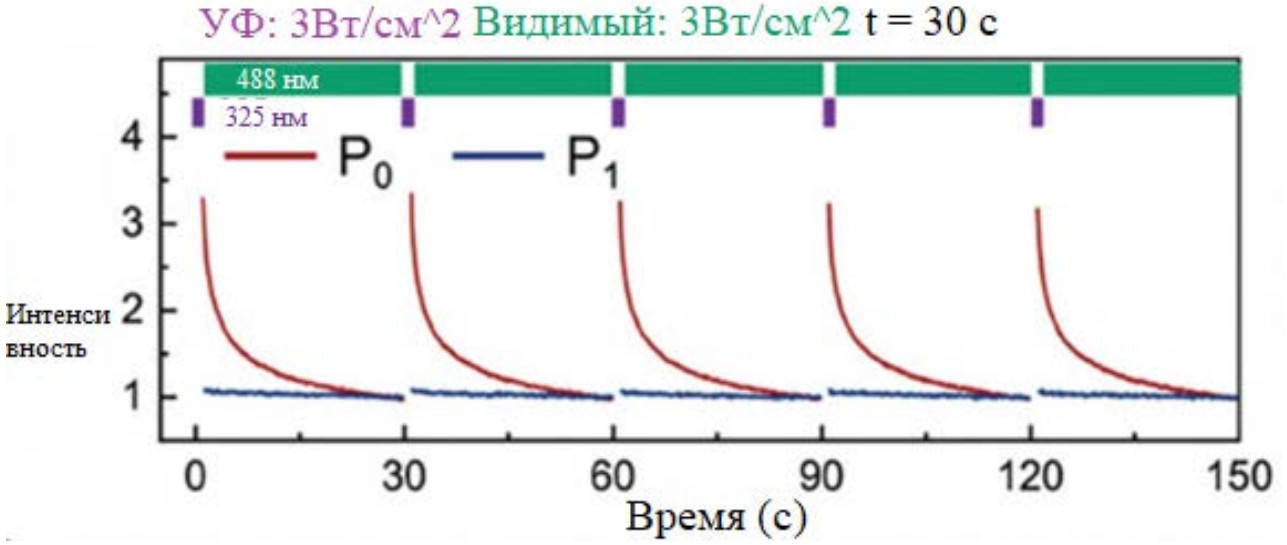


Рисунок 4 – Реакция нормализованной интенсивности излучения (левая ось), как функция времени для бусин P0 (красная линия) и P1 (синяя линия) для пяти последовательных циклов освещения

На рисунке показана нормализованная интенсивность излучения этих шариков для пяти последовательных циклов УФ-видимого. Высокая степень воспроизводимости пяти циклов иллюстрирует обратимость процесса переключения. С другой точки зрения, это можно интерпретировать как повторение чисто оптических циклов записи-чтения-стирания. УФ-свет записывает часть информации в нанобусину, которая может быть считана флуоресценцией при возбуждении видимого света. Длительное возбуждение видимого освещения стирает эту информацию и очищает шарик для нового цикла записи. Чтобы точнее количественно оценить этот оптический цикл, мы определяем контраст как функцию времени как:

$$C(t) = \frac{I_{max} - I(t)}{I_{max}} = 1 - \frac{I(t)}{I_{max}} \quad (1)$$

где I_{max} относится к интенсивности излучения, которая получена в начале периода освещения 488 нм, а I(t) относится к интенсивности в момент времени t в течение периода освещения 488 нм.

Поскольку видмое излучение также преобразует молекулы в состояние LE, $I(t)$ уменьшается как функция времени, и максимальный контраст между

уровнями HE и LE достигается для больших времен освещения 488 нм. Другими словами, стирание информации из предыдущего цикла записи происходит тем полнее, чем дольше бусина подвергается воздействию VIS-света.

Для бусин P_0 (красная линия) и P_1 (синяя линия) временное развитие контраста сравнивается на рисунке 5.

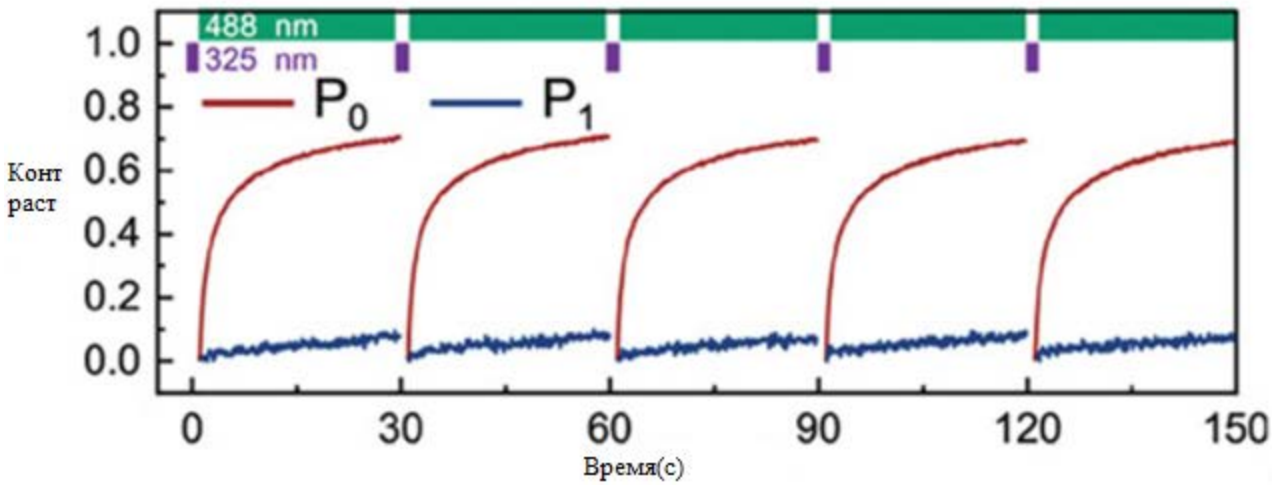


Рисунок 5 – Контраст C(t) для бусин P_0 (красная линия) и P_1 (синяя линия) для пяти последовательных циклов освещения

Для P_0 он показывает крутой подъем от 0 до 0,5 в течение нескольких секунд в начале времени освещения 488 нм и насыщается при более длительном времени при ≈0,7. Для P1 этот параметр показывает лишь небольшое изменение в зависимости от времени от 0 до ≈0,1 после 30 с.

Оптимизация.

Очевидно, что контраст, который может быть достигнут для конкретной бусины, является функцией интенсивности освещения двух конверсионных лучей и продолжительности времени цикла. Поэтому для оптической записи/считывания/стирания информации важно найти наилучшее сочетание этих параметров для достижения наибольшей мощности между сигналами.

Для определения оптимальных рабочих параметров, а также для обзора производительности переключения фотонных единиц, все комбинации интенсивностей возбуждения в диапазоне от 1 до 6 Вт/см^2 для видимого спектра и 2–7 Вт/см2 для УФ (оба с шагом 1 Вт/см^2) были протестированы для времени цикла t = 5, 10, 20, 30, 40 и 50 с. Это дает в общей сложности шесть матриц интенсивности 6 × 6 для максимального контраста, и они показаны на рисунке 6.

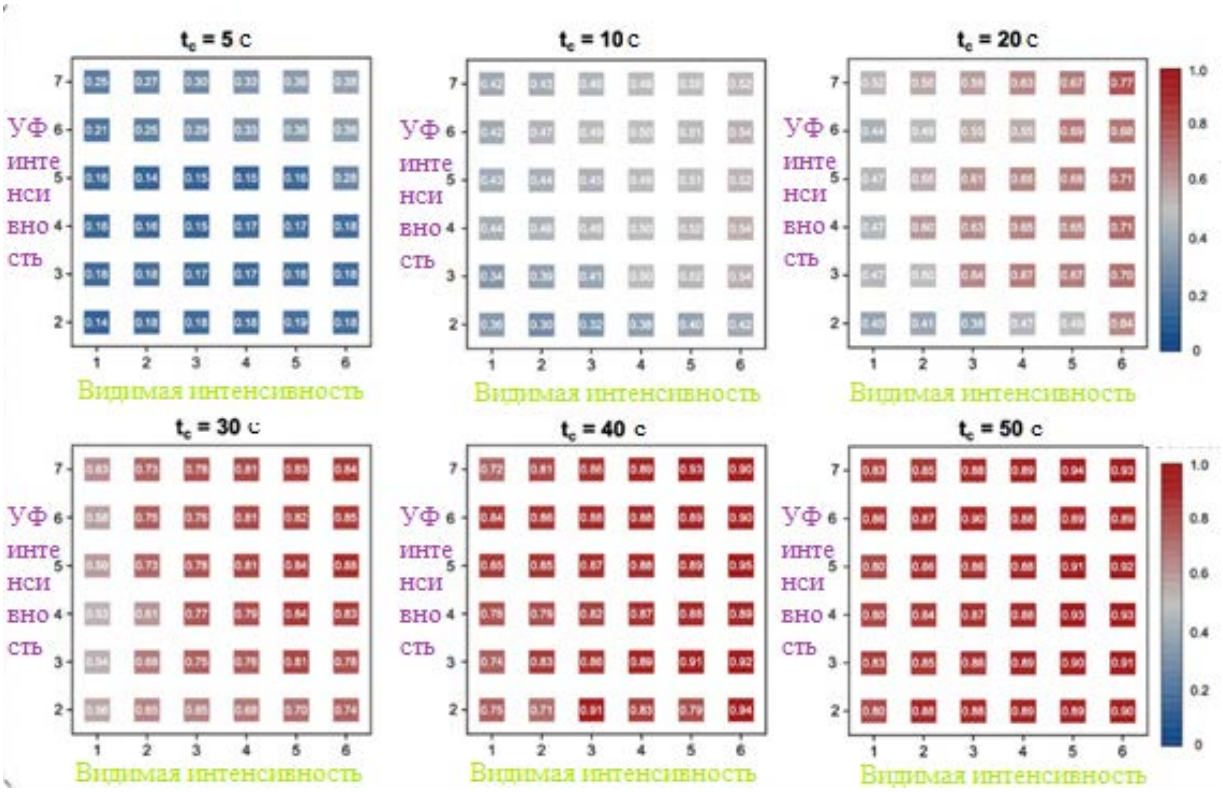


Рисунок 6 – Максимально достижимая контрастность в зависимости от интенсивности УФ- и видимого излучения для времени цикла 5, 10, 20, 30, 40 и 50 с, сверху слева направо вниз

Учитывая, что интенсивность УФ-излучения не должна превышать 3 Вт/см^2 для уменьшения перекрестных помех, и что увеличение времени цикла с 30 до 50 с дает лишь умеренное увеличение максимального контраста, мы использовали время цикла t = 30 с и интенсивность возбуждения 3 Вт/см^2 для обеих длин волн для проведения дальнейших экспериментов. Этот выбор является хорошим компромиссом между высоким контрастом, подавлением перекрестных помех и продолжительностью эксперимента, что идёт в плюс к фотостабильности.

Показанные на данный момент результаты показывают, что загруженные шарики в массиве могут быть избирательно адресованы для фотохромного переключения. Таким образом, информацию можно закодировать в узоре, выборочно перемещая бусины одну за другой в УФ-фокус.

Цикл записи-чтения-стирания.

С характеристикой, показанной выше, у нас теперь есть ингредиенты для демонстрации чисто оптических циклов записи-чтения-стирания на микроструктурированных поверхностях. Стандартная применяемая процедура выглядит следующим образом:

– Инициализация: Поскольку молекулы DAE в состоянии LE дают слабый сигнал флуоресценции, интересующая область образца освещается в течение 2 с видимым светом мощностью 3 Вт/см^2 для преобразования любой равновесной смеси изомеров LE и HE в форму LE, чтобы можно было определить стандартизированный фон LE;
– Запись: С помощью пьезоэлемента шарик PS перемещается в фокус УФ-

света и облучается в течение 1 с (3 Вт/см^2). Это преобразует молекулы этого конкретного шарика в состояние HE. Затем выбирается следующий шарик и помещается на 1 с в УФ-фокус путем перемещения пьезоэлемента. Это повторяется для стольких бусинок, сколько требуется для кодирования определенной информации в микроматрице бусинок. В конце этой процедуры матрица содержит выбранную группу бусинок, которые содержат молекулы DAE, «спящие» в состоянии HE;

– Считывание: вся область образца освещается в течение 1 с светом VIS (3 Вт/см^2). Это приводит к сильной флуоресценции от тех PS-бусинок, молекулы которых были переведены в состояние HE;
– Стирание: образец освещается в течение 18 с видимым светом с интенсивностью 9 Вт/см^2. Повышенная интенсивность видимого света применяется для ускорения восстановления молекул из состояния HE обратно в состояние LE. Важно отметить, что интенсивность видимого света, применяемая во время инициализации (шаг 1) и считывания (шаг 3), должна быть одинаковой для правильного учета фона.

В качестве простого доказательства эффективности этой оптической системы кодирования буквы алфавита были последовательно записаны на той же матрице бисера PS размером 5 × 5 в образце (рис. 7).

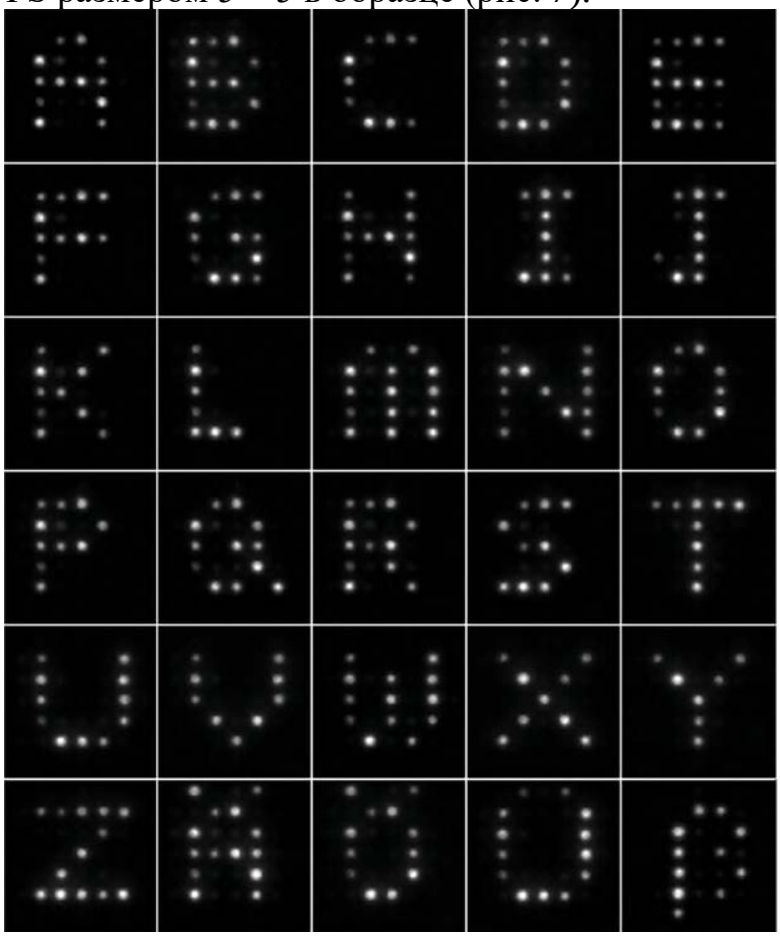


Рисунок 7 – Результат кодирование алфавита

Заключение

Фотонные устройства имеют потенциал стоят на ряду с электронными, если не вытеснить электронные устройства. Если мы освоим фотоны, то получим

бльше скорости передачи информации, гибкость и большую плотность хранения информации.

На данный момент наибольшую перспективу представляет использование «включаемых» фотопереключателей, что уже ближе к реализации фотонных устройств на практике.

Литература

1. Purely Optical, Reversible, Read-Write-Erase Cycling Using Photoswitchable Beads in Micropatterned Arrays – Режим доступа: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adom.202401029. – Дата доступа: 21.10.2024

УДК 681.586

ДАТЧИКИ ДВИЖЕНИЯ И ДАТЧИКИ ПРИСУТСТВИЯ
MOTION SENSORS AND PRESENCE SENSORS

А.А. Мисько
Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Misko
Supervisor – T. Zhukovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Датчик движения – это устройство для получения информации о состоянии контролируемой им системы, преобразующее данные об изменении характеристик исследуемой области в сигнал, удобный для дальнейшего использования. В данной работе рассмотрены датчики движения (инфракрасные, микроволновые, ультразвуковые и комбинированные), их принцип работы, датчики присутствия.*

Abstract: *A motion sensor is a device for obtaining information about the state of the system it controls, converting data on changes in the characteristics of the area being studied into a signal convenient for further use. This paper examines motion sensors (infrared, microwave, ultrasonic and combined), their operating principle, and presence sensors.*

Ключевые слова: *объект, датчик движения, датчик присутствия, устройство.*
Keywords: *object, motion sensor, presence sensor, device.*

Введение

Система датчиков движения работает по принципу обнаружения изменений в окружающей среде, вызванных движением людей или объектов. В основном, принцип работы системы датчиков понимается следующим образом:

При появлении объекта в инфракрасных или ультразвуковых волнах эти сигнальные лучи немедленно рассеиваются и прерываются. В это время датчик отправляет сигнал тревоги в заранее настроенный центр управления.

Основная часть

Конструктивно датчик движения содержит несколько составляющих элементов, которые будут отличаться в зависимости от типа.

Для примера рассмотрим устройство инфракрасного сенсора, который состоит из:

- пироэлемента PIR, реагирующего на изменение физических параметров окружающей среды;
- полевого транзистора T1, выступающего в роли электронного ключа;
- шунтирующего резистора R1, подключенного параллельно к пироэлементу.

Принцип действия заключается в способности пироматериала изменять собственные характеристики в зависимости от степени теплового излучения, попадающего на него. Световой поток уменьшает сопротивление пироэлемента PIR и через него приходит сигнал на открытие полевого транзистора. В таком

состоянии ток будет протекать через нагрузку, в роли которой может выступать катушка реле или другой логический элемент. В случае появления человека или другого объекта в области действия датчика, световой поток прервется и перестанет воздействовать на пироэлемент, сработает автоматика, выдающая соответствующий сигнал о возникновении движения.

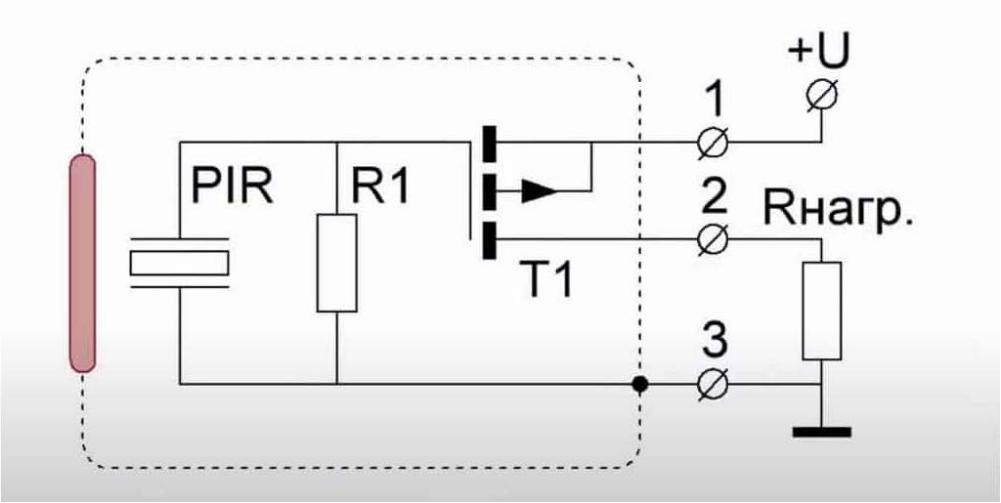


Рисунок 1 – Устройство датчика движения

В зависимости от технологической основы и цели использования датчики движения делятся на 4 основных типа:

– Инфракрасный датчик движения (PIR). Этот тип датчика движения используется для определения температуры тела и оповещения о присутствии людей или животных. Этот датчик работает по принципу излучения и приема сигналов инфракрасного излучения в окружающей среде и последующей отправки сигнала на центральный контроллер. Благодаря своей высокой чувствительности PIR широко используется в системах мониторинга безопасности, автоматическом освещении и устройствах умного дома.



Рисунок 2 – Пассивные инфракрасные детекторы (PIR)

– Микроволновый датчик движения. Тип датчика, который работает, посылая микроволновые импульсы в окружающую среду для отслеживания движения объектов в окружающей области. Этот тип микроволнового датчика движения использует радар с частотой 5,8 ГГц для получения сигналов движения в диапазоне менее 10 м.



Рисунок 3 – Микроволновый датчик

– Ультразвуковой датчик движения. Ультразвуковые датчики движения используют излучаемые ультразвуковые волны для контроля и отслеживания перемещения объектов в определенном пространственном диапазоне. Отражая звуковые волны, этот датчик точно реагирует на вычисление положения и перемещения объектов в окружающей среде. Этот тип датчика имеет высокую точность и быстрый отклик.



Рисунок 4 – Ультразвуковой датчик

– Комбинированный датчик. Некоторые типы датчиков движения смешивают некоторые датчики, чтобы уменьшить количество ложных тревог. Но двойные датчики активируются только тогда, когда оба типа обнаруживают движение. Например, двойной микроволновый или PIR-датчик начнет работу в режиме пассивного инфракрасного датчика, поскольку он потребляет меньше энергии. Когда срабатывает пассивный инфракрасный датчик, микроволновое разделение включается; затем, если срабатывает и оставшийся датчик, сигнализация издает звук. Этот комбинированный тип отлично подходит для игнорирования ложных тревог, но снижает вероятность пропуска настоящих.

Каждый тип датчика движения имеет свои особенности и применение в зависимости от требуемых целей. Инфракрасные датчики широко применяются в системах безопасности и умных домах, микроволновые датчики обладают высокой чувствительностью, ультразвуковые датчики применяются в парковочных системах.

Датчики присутствия.

Датчик присутствия представляет собой более чувствительную версию датчика движения, в основе обоих датчиков лежат одни и те же принципы. Однако, к примеру, если в инфракрасном датчике движения используются несколько десятков пар линз, которые таким образом делят окружающее пространство на несколько десятков зон наблюдения, то в датчике присутствия применяются несколько сотен пар линз. Таким образом, каждая пара линз обозревает небольшой участок пространства, что позволяет ей фиксировать даже небольшие движения, вплоть до движения пальцев по клавиатуре.

Заключение

Датчики движения и присутствия продолжают развиваться и находить применение во многих сферах. Их возможности постоянно расширяются, а цена и размеры снижаются, что делает их доступными для широкого использования.

Литература

1. Котюк, А.Ф. Датчики в современных измерениях / А.Ф. Котюк // Радио и связь, 2006. – 96 с.

2. Датчик движения для включения света – устройство, разновидности, схемы подключения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.asutpp.ru/datchik-dvizheniya-dlya-vklyucheniya-sveta.html. – Дата доступа: 22.10.2024.

3. Датчик движения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Датчик_движения. – Дата доступа: 22.10.2024.

УДК 621.386

РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ. РЕНТГЕНОВСКИЕ ТРУБКИ
X-RAY RADIATION. X-RAY TUBES

Н.В. Дейко
Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
N. Deiko
Supervisor – T. Zhukovskaya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Рентгеновские лучи возникают при сильном ускорении заряженных частиц либо при высокоэнергетических переходах в электронных оболочках атомов Оба эффекта используются в рентгеновских трубках. Рентгеновские трубки используются в различных областях, включая медицину, науку и промышленность. Они могут быть использованы для диагностики заболеваний, исследования материалов и производства полупроводниковых приборов.*

Abstract: *X-rays arise from the strong acceleration of charged particles or from high-energy transitions in the electron shells of atoms. Both effects are used in X-ray tubes. X-ray tubes are used in a variety of fields, including medicine, science and industry. They can be used for disease diagnosis, materials research and semiconductor device manufacturing.*

Ключевые слова: *рентгеновское излучение, рентгеновская трубка, анод, катод.*
Keywords: *x-ray radiation, x-ray tube, anode, cathode.*

Введение

Рентгеновское излучение по природе своей является невидимым электромагнитным ионизирующим излучением, и на шкале электромагнитных волн располагается между волнами ультрафиолетового излучения и гамма-излучения, не имея каких-либо чётких границ (рис. 1).

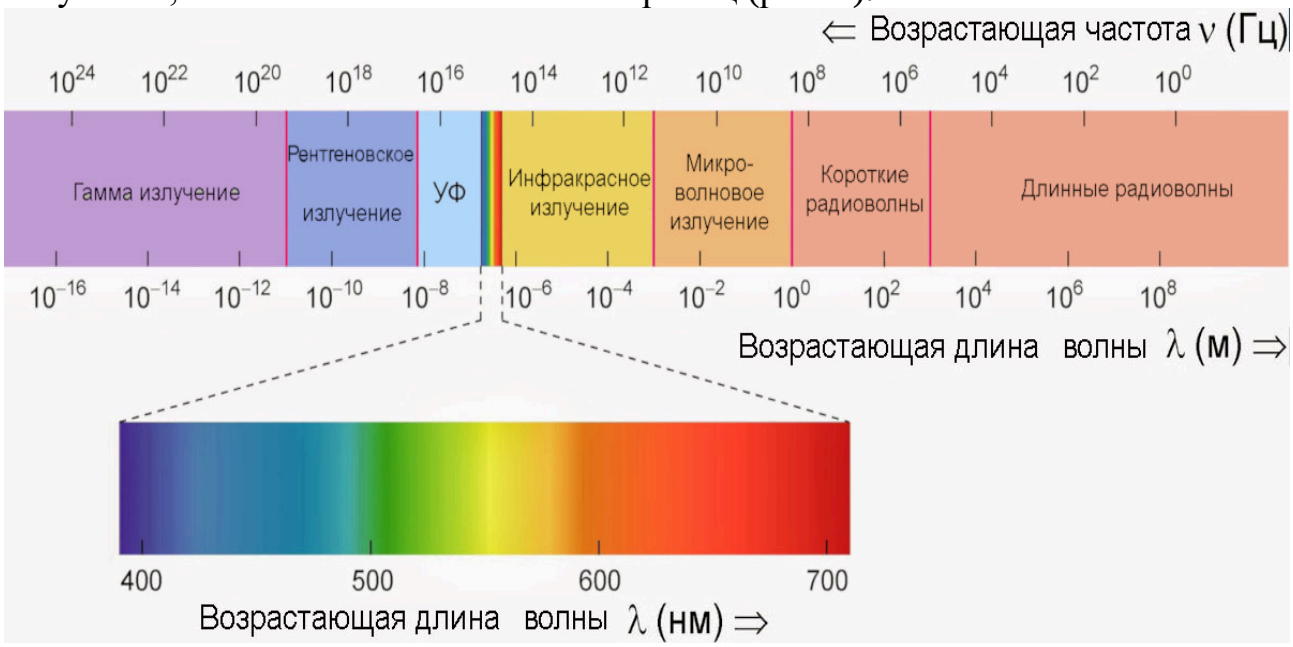


Рисунок 1 – Рентгеновское излучение

Основная часть

Рентгеновские лучи обладают высокой проникающей способностью, что позволяет им проходить через многие материалы и объекты. Однако, они представляют потенциальную опасность для здоровья человека и требуют особых мер предосторожности при работе с ними.

Принцип работы рентгеновских лучей заключается в том, что они проходят через объект и их энергия поглощается атомами и молекулами внутри объекта. Это позволяет получать информацию о структуре и составе изучаемого объекта при использовании рентгеновских лучей (рис. 2).

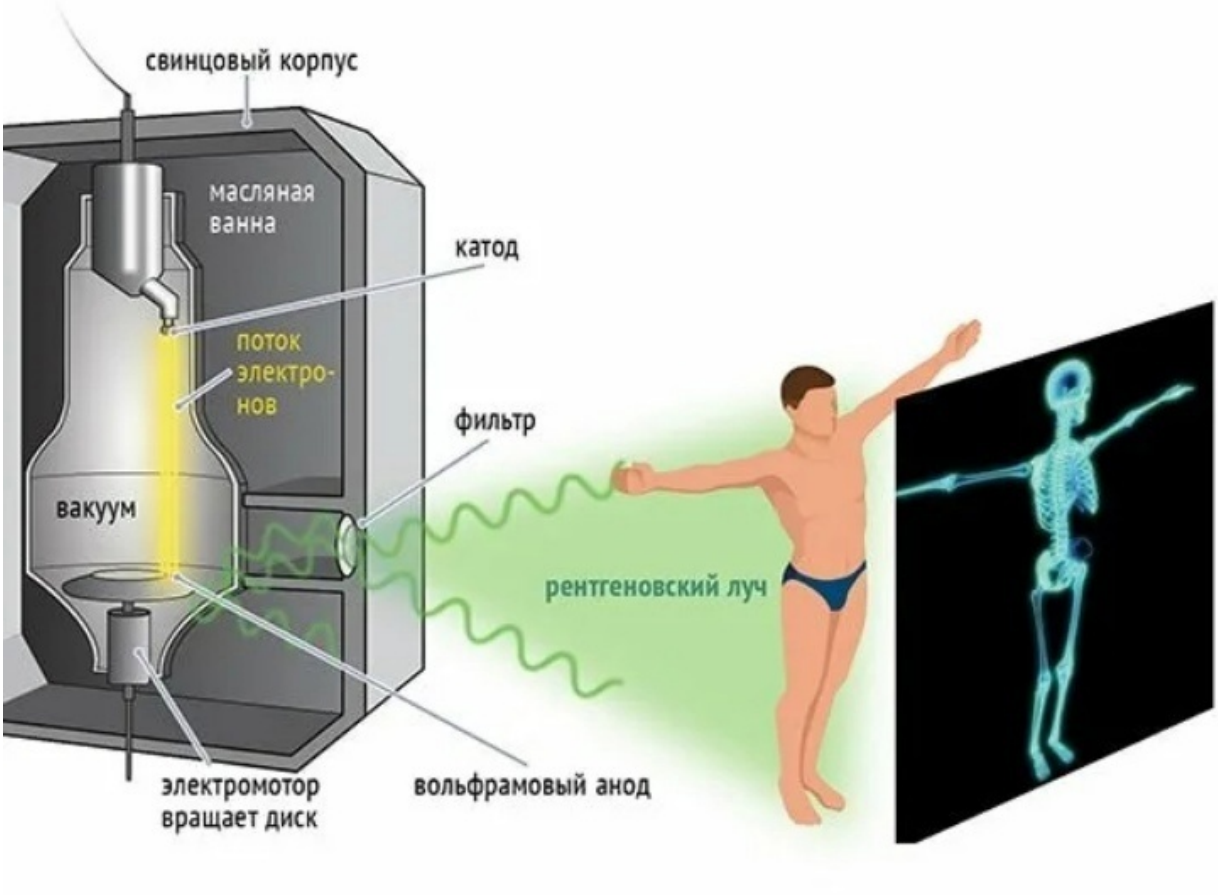
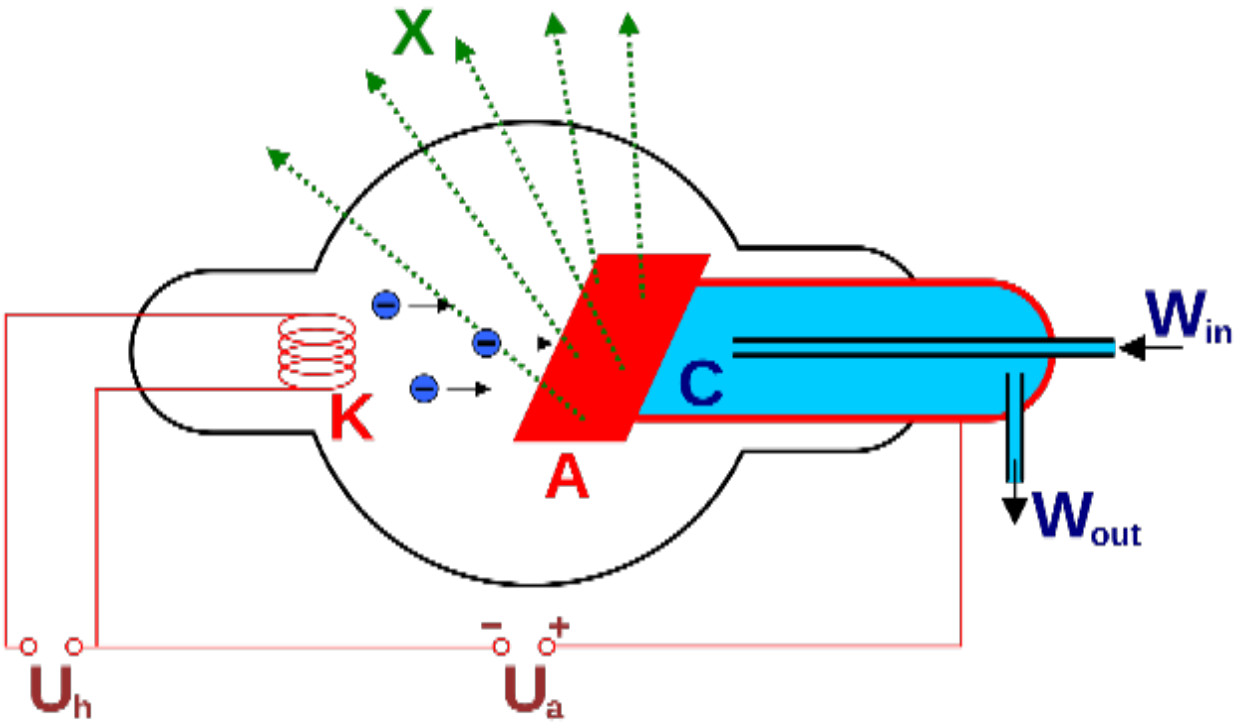


Рисунок 2 – Принцип работы рентгеновского излучения

Рентгеновская трубка.

Устройством, которое создаёт рентгеновское излучение путём прохождения электрического тока через анод, катод и вакуумную камеру, и называется рентгеновская трубка.

Опишем принцип работы и устройство рентгеновской трубки. Излучающий элемент состоит из вакуумного сосуда, внутри которого находятся два электрода: прямонакальный катод, представляющий собой спираль из вольфрамовой проволоки (часто с добавлением тория), молибденовой, танталовой или рениевой, иногда дополнительно сетка, и анод.



X – рентгеновские лучи, K – катод, A – анод (иногда называемый антикатодом),
C – теплоотвод, U_h – напряжение накала катода, U_a – ускоряющее напряжение,
W_{in} – впуск водяного охлаждения, W_{out} – выпуск водяного охлаждени
Рисунок 3 – Схематическое изображение рентгеновской трубки

Основными конструктивными элементами рентгеновской трубки являются металлические катод и анод с мишенью, мишень может быть изготовлена из различных металлов, в зависимости от назначения. В медицинских обычно вольфрамовая мишень, для рентгеноструктурного анализа используются платина, иридий, осмий или родий. Катод при нагревании испускает электроны (происходит термоэлектронная эмиссия). Возможно использование и холодного катода в некоторых высоковольтных (500 кВ и более) дефектоскопических рентгеновских трубках. Но существуют и фотоэмиссионные рентгеновские трубки, в которых поток электронов излучается засвеченным с помощью светодиода фотокатодом, и усиливается вторично-электронным умножителем. Далее из-за большой разности потенциалов между катодом и анодом (десятки – сотни киловольт, иногда и более мегавольта) поток электронов ускоряется и приобретает большую энергию. Полученный ускоренный пучок электронов попадает на положительно заряженный анод (рис. 4).

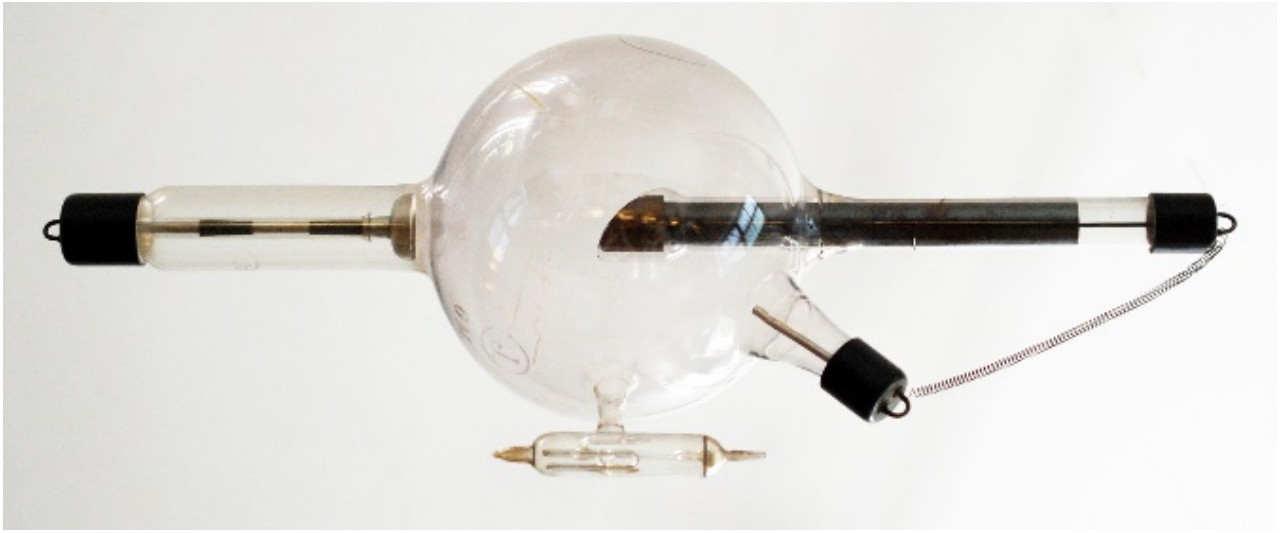


Рисунок 4 – Ионная рентгеновская трубка с холодным катодом для демонстрационных экспериментов на уроках физики (снизу виден генератор ионов)

Достигая анода, электроны испытывают резкое торможение, моментально теряя большую часть приобретённой энергии. При этом возникает тормозное излучение рентгеновского диапазона. В процессе торможения лишь около 1 % кинетической энергии электрона идёт на рентгеновское излучение, 99 % энергии превращается в тепло. Чтобы предотвратить, перегрев анода, в мощных рентгеновских трубках применяют водное или масляное охлаждение и вращающийся анод.

Рентгеновские трубки работают в режиме почти плоского диода, поэтому ток через трубку определяется законом степени трёх вторых (при неизменной температуре катода): $I_a = K \cdot U_a^{3/2}$– где I_a – ток анода, U_a – напряжение анода, К – коэффициент пропорциональности, индивидуальный для каждой лампы (трубки). Для регулировки тока через трубку управляют количеством испускаемых электронов, изменяя напряжение накала.



Рисунок 5 – Советская рентгеновская трубка для рентгеноструктурных исследований, источник низкоэнергетического рентгеновского излучения (справа видно бериллиевое окно, анод с водяным охлаждением, в средней части находится прямонакальный катод)



Рисунок 6 – Медицинская рентгеновская трубка 3БДМ2-100 (произведена заводом «Светлана» СССР, 1979 год)

Для медицинских трубок, используемых в рентгенографии, типичные значения анодного напряжения составляют от 60 до 80 кВ, с током в десятках миллиампер, что обеспечивает импульсную мощность нескольких киловатт. В рентгеноскопии часто используется непрерывный режим при токах в несколько миллиампер. Для рентгенотерапии применяются трубки с анодным напряжением более 100 кВ для производства жёсткого рентгеновского излучения.

Основными параметрами рентгеновской трубки являются:

– номинальное напряжение на трубке (10–2000 кВ);
– линейные размеры фокусного пятна (1 мкм – 10 мм);
– номинальная мощность (для трубок непрерывного действия – от 20 мВт до 90 кВт);
– угол раствора рабочего пучка рентгеновского излучения (3–180 ° в зависимости от конструкции трубки);
– коэффициент полезного действия (0,1–5 %).

Заключение

Открытие рентгеновских лучей имеет огромное значение для различных областей, поскольку позволило ученым изучать структуру и состав материалов, а также проводить диагностику и лечение болезней.

Рентгеновское излучение обладает следующими важными свойствами, отличающими его от других видов излучений: высокая частота (находится в диапазоне от нескольких десятков килогерц до нескольких сотен мегагерц), высокая энергия (позволяет им проникать через многие материалы, включая кожу и кости), невидимость (для человеческого глаза могут быть обнаружены только с помощью специальных детекторов или приборов), ионизация (могут ионизировать атомы и молекулы, что может привести к повреждению биологических тканей).

Рентгеновские трубки играют ключевую роль в современной медицине и науке. Они используются для создания изображений внутренних структур

организмов и материалов, что позволяет диагностировать заболевания, исследовать материалы и контролировать процессы производства.

Технология рентгеновских трубок не только улучшает точность диагностики, но и способствует развитию новых материалов и технологий, играя важную роль в различных областях науки и промышленности.

Литература

1. Быстров Ю.Ф Ускорительная техника и рентгеновские приборы / Ю.А. Быстров, С.А. Иванов. – Москва : Высшая школа, 1983. – 288 с.
2. Иванов С.А. Рентгеновские трубки технического назначения / С.А. Иванов, Г.А. Щукин. – Ленинград : Энергоатомиздат : Ленингр. отд-ние, 1989. – 200,[1] с.
3. Блохин М.А. Рентгеновское излучение // Физическая энциклопедия.
4. Кацман А.Я. Медицинская рентгенология / А.Я. Кацман – Л.: Медгиз, 1957. – 663 с.

УДК 621.386

УМНАЯ СИСТЕМА БЕЗОПАСНОСТИ
SMART SECURITY SYSTEM

А.А. Якушева
Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Yakusheva.
Supervisor – T. Zhukovskaya Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В статье рассматривается, как устроена умная система безопасности, в чём её преимущества и нюансы, а также рассмотрим электрические схемы и принцип действия датчика дыма.*
Abstract: *The article discusses how a smart security system works, what its advantages and nuances are, and we will also consider electrical circuits and the principle of operation of a smoke sensor.*
Ключевые слова: *умная система безопасности, искусственный интеллект, сенсоры, движение, беспроводная связь, эффективный контроль, современная система охраны.*
Keywords: *smart security system, artificial intelligence, sensors, motion, wireless communication, effective control, modern security system.*

Введение

Умная система безопасности – это современная система охраны, которая использует технологии искусственного интеллекта, беспроводной связи и интернет-подключения для обеспечения более эффективного и удобного контроля над безопасностью вашего дома, офиса или другого объекта.

Основная часть

Умная система безопасности работает по принципу «обнаружение, оповещение и реагирование».

В «обнаружение» входят:

- Сенсоры: система использует различные сенсоры для обнаружения потенциальных угроз. PIR-сенсоры (пассивные инфракрасные) реагируют на тепловое излучение движущихся объектов. Ультразвуковой датчик HC SR04 определяет наличие объектов и рассояние до них. Микроволновой датчик DRM-01 позволяет определять движение через деревянные щиты, гипсокартонные плиты, стекло и пластик. Комбинированный датчик Crow SRPG-2 измеряет несколько параметров: температуру, освещение, яркость, движение, дым, тепло;
- Открывания дверей/окон: магнитные контакты срабатывают при условии, если твоё устройство находится не дома или на большом расстоянии от дома, тогда система автоматически блокирует окна и двери, чтобы избежать проникновения злоумышленников;
- Разбития стекла: специальные датчики улавливают вибрации и звуки разбивающегося стекла;

- Дыма и газа: Датчики обнаруживают дым или опасные концентрации газа.
- Камеры: Видеокамеры могут записывать происходящее и распознавать подозрительную активность;
- Анализ данных: Центральный контроллер получает информацию от сенсоров и анализирует её;
- Искусственный интеллект (ИИ): Более продвинутые системы безопасности используют ИИ для более точного анализа данных, выявления ложных срабатываний и адаптации настроек.

В «оповещение» входит:

- Звуковая сигнализация: Включение сирены или других звуковых сигналов для отпугивания злоумышленников;
- Уведомления: Отправка уведомлений на мобильное устройство пользователя;
- Видеозапись: Запись видео с камеры, чтобы пользователь мог просмотреть, что произошло;
- Связь с охранной компанией: в некоторых системах предусмотрена возможность автоматического вызова охранной компании в случае опасности.

Также есть «реагирование»:

- Автоматические действия:
  a. Включение света: Включение освещения в опасной зоне;
  b. Запирание дверей: Закрытие электромагнитных замков;
  c. Отправка оповещений: Информирование властей или охранной компании.
- Ручное управление:
  a. Пользователь может вручную включать или отключать отдельные компоненты системы, а также просматривать видеозаписи с камер.

Ниже на рисунке 1 рассмотрим принципиальную схему с использованием комплекта модулей BM8035. Данное устройство позволяет построить систему автоматизации, диспетчеризации и удаленного управления устройствами для комфорта и безопасности дома и квартиры.

В приведенной схеме, помимо стандартного подключения датчика и реле управления освещением, реализовано управление приводом затвора с собственной схемой управления: когда на контакт PA0 поступает сигнал от датчика протечки, активируется реле K6, подключенное к контакту PG8. Контакт реле переключает привод гидрозатвора на блокировку. Когда сигнал от датчика утечки больше не поступает, реле отключается, и привод переключается на разблокировку.

Реле, управляющее водонагревательным котлом, переведенным в режим внешнего управления, подключено к контакту PA6 устройства, а реле, управляющее электромеханическим замком отпирания двери, подключено к контакту PC3. Датчик открытия двери подключен к контакту PA7.

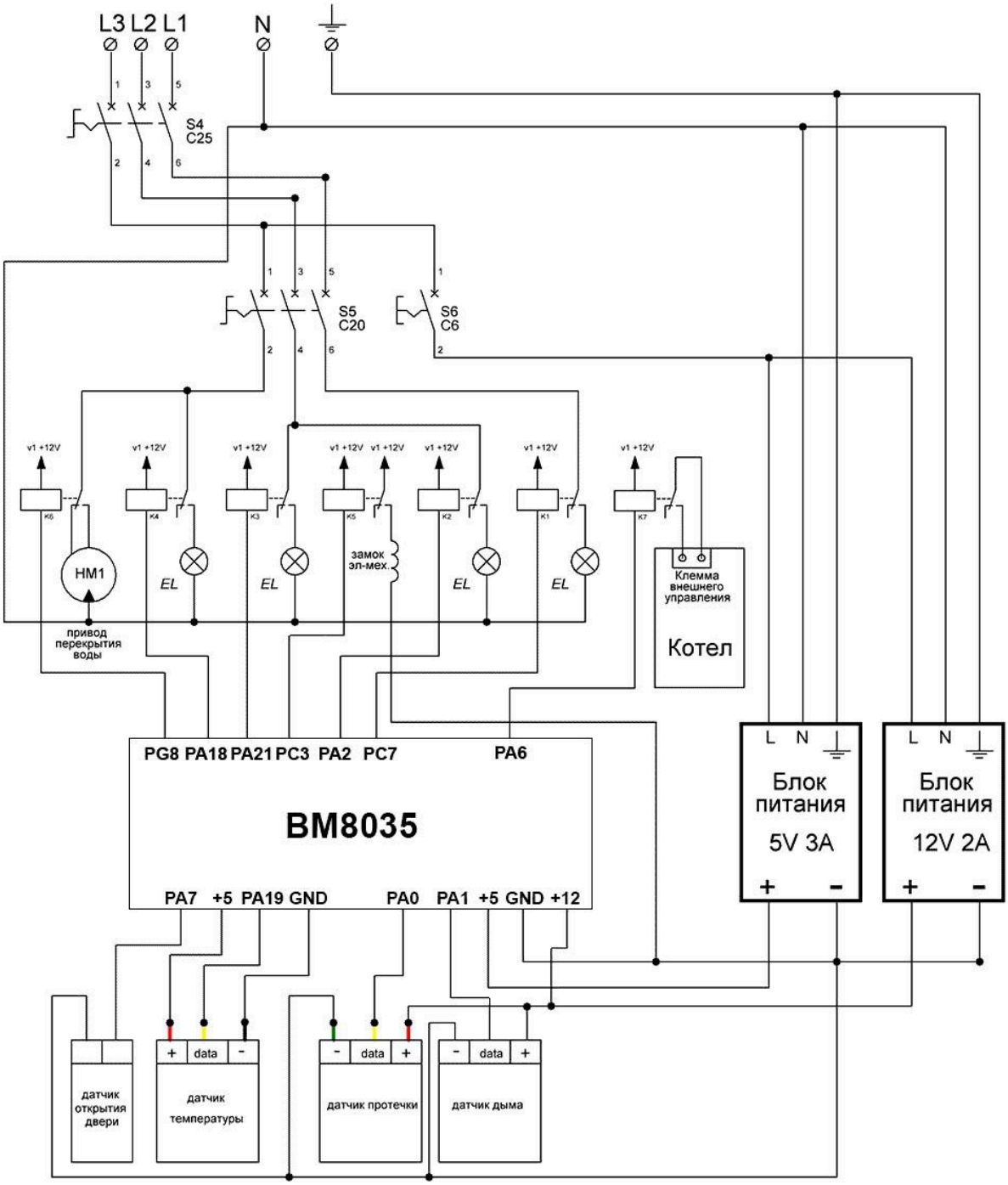


Рисунок 7 – Схема умной систем безопасности

Схема подключения BM8035, установленного в распределительной панели DIN-рейку, показана на рисунке ниже. Датчик и исполнительное реле соединены витой парой [1].

На следующем рисунке 2 показана практическая реализация электрощита с установленным на DIN-рейку модулем BM8035.

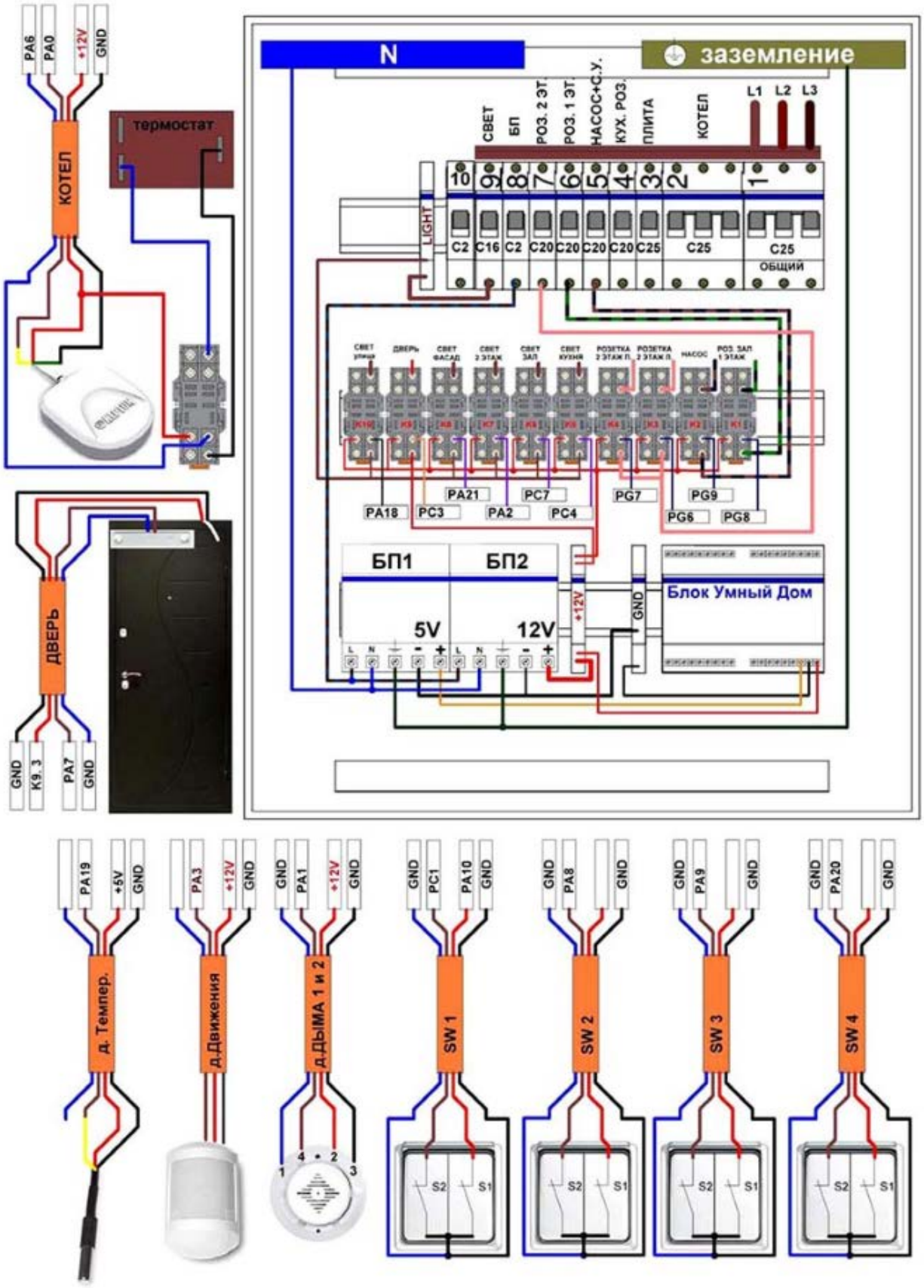


Рисунок 8 – Монтажная схема размещения BM8035

Рассмотрим схему на рисунке 3 датчика дыма, которая состоит из генератора (на элементах микросхемы DD1.1, DD1.2, C1, R1, R2), формирователя коротких импульсов (на DD1.3 и C2, R3), усилителя (VT1) и излучателя (HL1)

ИК-импульсов, а также компаратора (DD2) и ключа на транзисторе (VT2). При приеме ИК-импульсов фотодиодом HL2 срабатывает компаратор и своим выходом разряжает конденсатор С4. Как только прохождение импульсов нарушится, конденсатор зарядится через резистор R9 в течение 1 секунды до напряжения питания, и начнет работать элемент D1.4. Он пропускает импульсы генератора на коммутатор тока VT2. Применение светодиода HL3 не является необходимым, но при его наличии удобно контролировать момент срабатывания датчика.

Конструкция датчика имеет рабочую зону, в которую, при попадании дыма, ослабляется прохождение ИК-импульсов, а если не смогли пройти несколько импульсов подряд – срабатывает датчик (что обеспечивает помехоустойчивость схемы). При этом в соединительной линии появляются импульсы тока, которые и выделяет схема контроля на рисунке 4, приведенная ниже [2].

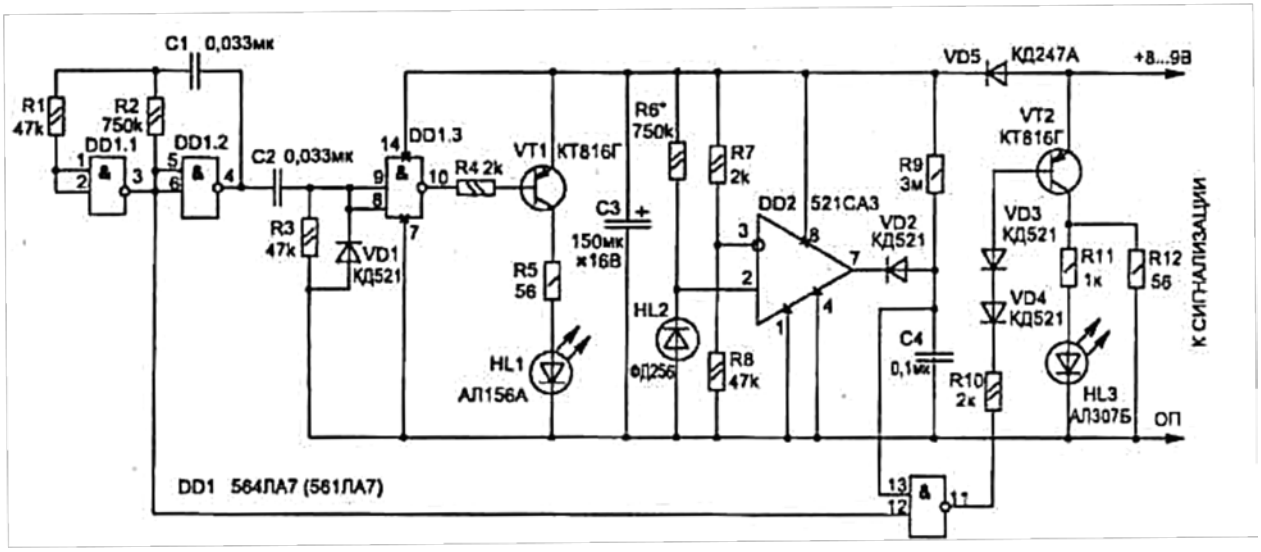


Рисунок 9 – Электрическая схема датчика дыма

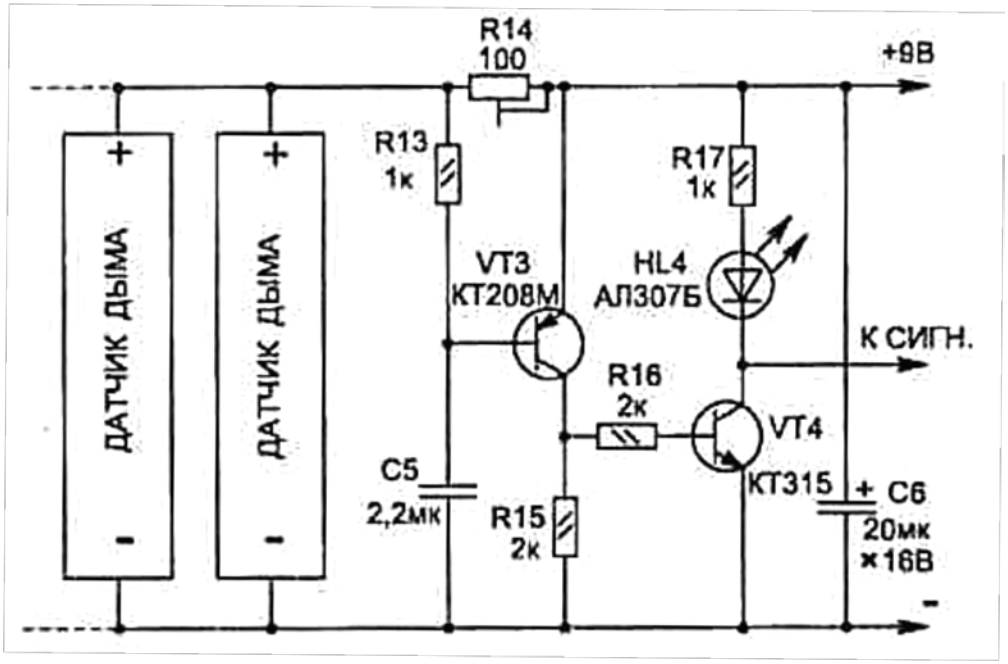


Рисунок 10 – Схема контроля

Преимущества умной системы безопасности: анализ данных, быстрое реагирование, распознавание лиц, интеграция с «умным домом», удаленное управление, гибкость, история событий, голосовое управление, интеграция с другими устройствами, предупреждение о потенциальных угрозах.

Также имеются нюансы, которые стоит учитывать: первоначальные затраты, ежемесячные платежи, дополнительные расходы, сложность настройки, совместимость, интеграция с «умным домом», отключение системы, ложные срабатывания, регулярное обновление.

Заключение

Умные системы безопасности предлагают множество преимуществ, позволяющих улучшить безопасность и комфорт. Но важно учитывать все нюансы, чтобы выбрать правильную систему, настроить ее правильно и использовать ее безопасно и эффективно.

Литература

1. Датчик дыма для сигнализации о пожаре [Электронный ресурс]/ датчик дыма для сигнализации о пожаре. – Режим доступа: https://smarthof.ru/info/sistemy-bezopasnosti-umnogo-doma/. – Дата доступа: 22.10.2024.

2. BM8035-Умный дом их комплекта модулей [Электронный ресурс]/ BM8035-Умный дом их комплекта модулей. – Режим доступа: https://masterkit.ru/blog/articles/bm8035-stroim-umnyj-dom-iz-komplekta-modulej-prakticheskie-skhemy/. – Дата доступа: 22.10.2024.

УДК 621.389

ПЬЕЗОЭЛЕМЕНТЫ
PIEZOELECTRIC ELEMENTS

А.В. Борисенко
Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Borisenko
Supervisor – T. Zhukovskaya Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Пьезоэлементы – диэлектрики, которые под действием деформации могут индуцировать электрический заряд или под влиянием внешнего электрического поля могут деформироваться. Пьезоэффект это и есть возможность индуцировать электрический заряд. Он бывает прямой и обратный. Наиболее распространенные пьезоэлектрические материалы – кварц, цирконат-титанат свинца (PZT), нитрид алюминия и пьезокерамика, которая в свою очередь является наиболее перспективным пьезоэлектрическим материалом.*

Abstract: *Piezoelectric elements are dielectrics that can induce an electric charge under the influence of deformation or can deform under the influence of an external electric field. The piezoelectric effect is the ability to induce an electric charge. It can be direct and reverse. The most common piezoelectric materials are quartz, lead zirconate titanate (PZT), aluminum nitride and piezoceramics, which in turn is the most promising piezoelectric material.*

Ключевые слова: *пьезоэлементы, пьезоэффект, пьезотрансформатор, пьезоэлектрический преобразователь, актуатор.*

Keywords: *piezoelectric elements, piezoelectric effect, piezo transformer, piezoelectric transducer, actuator.*

Введение

Пьезоэлементы (они же пьезоэлектрики) – это диэлектрики, в которых происходит пьезоэффект, то есть те диэлектрики, которые могут под действием деформации индуцировать электрический заряд на своей поверхности (прямой пьезоэффект) или под влиянием внешнего электрического поля деформироваться (обратный пьезоэффект).

Основная часть

Пьезоэлектричество – обратимая электромеханическая связь электрической поляризации, т.е. индукции, и механический деформаций (напряжений) в анизотропных диэлектрических средах, которые обладают конкретной кристаллической структурой и симметрией.

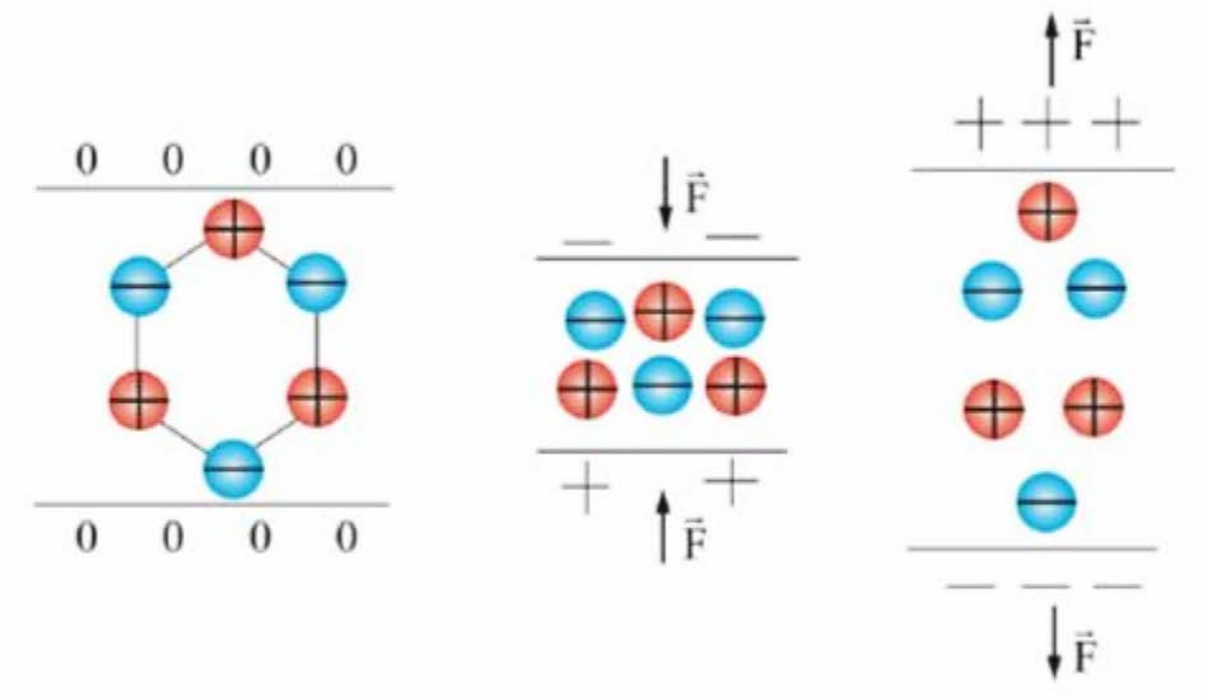


Рисунок 1 – Схема образования пьезоэффекта

Механизм пьезоэлектрического эффекта.

Если любой пьезоэлектрический кристалл сжать или растянуть в определенном направлении, на отдельных гранях появятся электрические заряды с положительным и отрицательным значением. Разность потенциалов таких зарядов будет незначительной. Для того чтобы понять природу пьезоэффекта, необходимо соединить электроды между собой и поместить их на гранях кристалла. При кратковременном сжатии или растяжении в цепи, образованной электродами, можно заметить образование короткого электрического импульса. Именно он является электрическим и физическим проявлением пьезоэффекта. Если же кристалл испытывает постоянное давление, в этом случае импульс не появится. Данное свойство кристаллических материалов широко используется при изготовлении точных чувствительных приборов.

Если прикладывается новое усилие или изменяется приложенное ранее, мгновенно образуется еще один токовый импульс. Данное свойство, известное как прямой и обратный пьезоэффект, успешно используется в устройствах, регистрирующих совсем слабые механические колебания. В самом начале открытия пьезоэффекта решение такой задачи было невозможно из-за слишком незначительной силы тока в колеблющейся кристаллической цепи. В современных условиях ток может быть усилен многократно, а некоторые виды кристаллов имеют довольно высокий пьезоэффект. Ток, полученный от них, не требует дополнительного усиления и свободно передается по проводам на значительные расстояния.

Прямой пьезоэффект.

Прямой пьезоэффект был открыт братьями Жаком и Пьером Кюри в 1880-1881 годах. При нем деформация пьезоэлектрического образца приводит к возникновению связанных зарядов на поверхностях деформируемого твёрдого

тела и к появлению электрического напряжения между этими поверхностями. То есть, можно сказать, что под действием механических напряжений (или деформаций) в пьезоэлементе возникает электрическая поляризация, величина и направление которой зависит от приложенного напряжения.

Обратный пьезоэффеект.

Обратный эффект был предугадан в 1881 году Липпманом, исходя из термодинамических соображений и в том же году экспериментально открыт братьями Кюри. Обратный пьезоэффект состоит в том, что под действием приложенного электрического поля в пьезоэлектрике возникает механическая деформация (или напряжение), величина и тип которой зависит от приложенного поля.

Пьезоэлектрические материалы.

В природе существует огромное количество пьезоэлектрических материалов - уникальных веществ, которые могут генерировать электрическое напряжение под воздействием механического давления и наоборот. В их число входят кварц, цирконат-титанат свинца (PZT), и нитрид алюминия. Каждый из этих материалов обладает своими уникальными свойствами, которые определяют их применение в различных областях.

Кварц является одним из самых известных природных пьезоэлектриков. Для него характерны высокая стабильность, низкий коэффициент температурного расширения, что делает его идеальным для применения в часовой промышленности, в качестве стабилизатора частоты в радиоэлектронных устройствах, в кварцевых резонаторах.

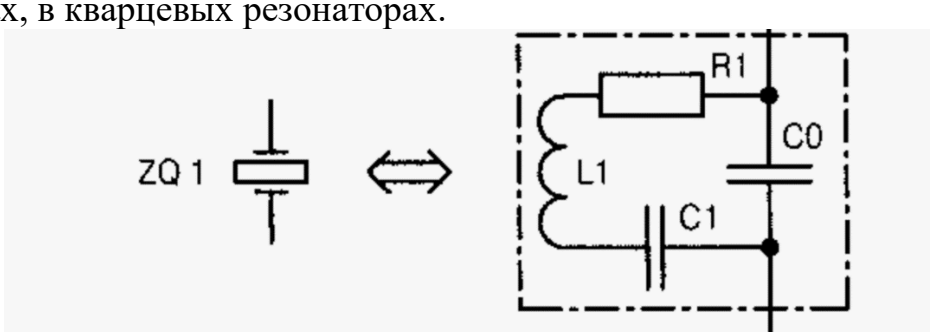


Рисунок 2 – Кварцевый резонатор

Цирконат-титанат свинца (PZT) – это синтетический пьезоэлектрик, который обладает значительно более высоким пьезоэлектрическим коэффициентом по сравнению с кварцем. Благодаря этому, PZT находит широкое применение в преобразователях для ультразвуковой техники, датчиках давления и актуаторах.

Нитрид алюминия выделяется среди пьезоэлектрических материалов благодаря своей совместимости с полупроводниковыми процессами. Это делает его идеальным для интеграции в микроэлектромеханические системы (MEMS). Нитрид алюминия также обладает высокой термической стабильностью и сопротивлением к химическому воздействию, что расширяет область его потенциального применения.

Также одним из наиболее перспективных материалов является пьезокерамика, которая была открыта в 19 веке, однако из-за уникальности свойств, даже в 21 веке являющаяся одной из наиболее используемых.

В последнее время активно исследуются новые способы использования пьезокерамики, в том числе в качестве генераторов, актуаторов и в комбинированных системах. Это связано с современными требованиями к энергосбережению, миниатюризации и адаптации к компьютерным системам управления. Результатом таких исследований является разработка новых типов пьезокерамики и совершенствование уже существующих элементов, особое внимание уделяется пьезокерамическим трансформаторам, актуаторам и преобразователям.

Пьезотрансформаторы

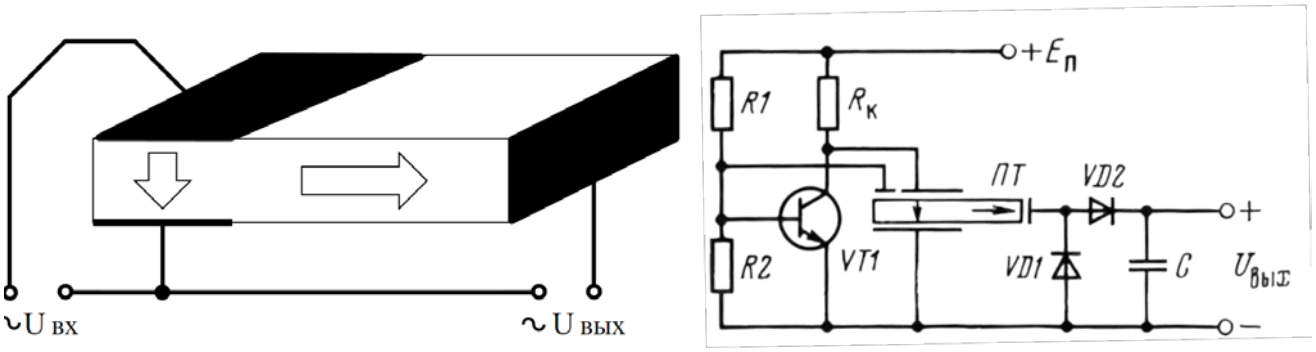


Рисунок 3 – Конструкция пьезотрансформатора, применяемого для генерации высокого напряжения и его схема

Пьезотрансформатор – это прибор, в котором прямой и обратный пьезоэлектрический эффекты используются для преобразования электрической энергии или сигнала. Цель данного преобразования – изменение амплитуды напряжения или гальваническая развязка.

На пластинку (кольцо или брусок), которая изготовлена из пьезокристалла (например, кварца) определенным способом нанесены 3 или более электродов. Этот кристалл поляризуют в одном или нескольких направлениях, что зависит от его конструкции.При подаче переменного напряжения на электроды первичной цепи, благодаря обратному пьезоэлектрическому эффекту возникают механические напряжения, которые приводят к деформации пьезокристалла, которая, благодаря прямому пьезоэлектрическому эффекту, вызывает изменение напряжения во вторичной цепи.

Широко применяется в генераторах высокого напряжения (преобразователях) для газоразрядных ламп, а также в качестве резонансных DC-AC конвертеров в бытовой и производственной осветительной технике. Исследования подтверждают, что многослойные пьезокерамические трансформаторы могут стать важной частью нового поколения осветительных устройств, способных экономить до 80% электроэнергии.

Пьезоэлектрические преобразователи.

Принцип работы данных устройств основан на превращении генерируемых прибором электрических импульсов в ультразвуковые и наоборот.

Основные элементы – мембранный упругий элемент (4), кристалл (2), соединительный рычажный механизм и усилитель напряжения (5). При приложении давления на мембрану сила, которая идет от рычажного механизма,

вызывает давление на кристалл, которое в свою очередь вызывает на нем небольшое напряжение.

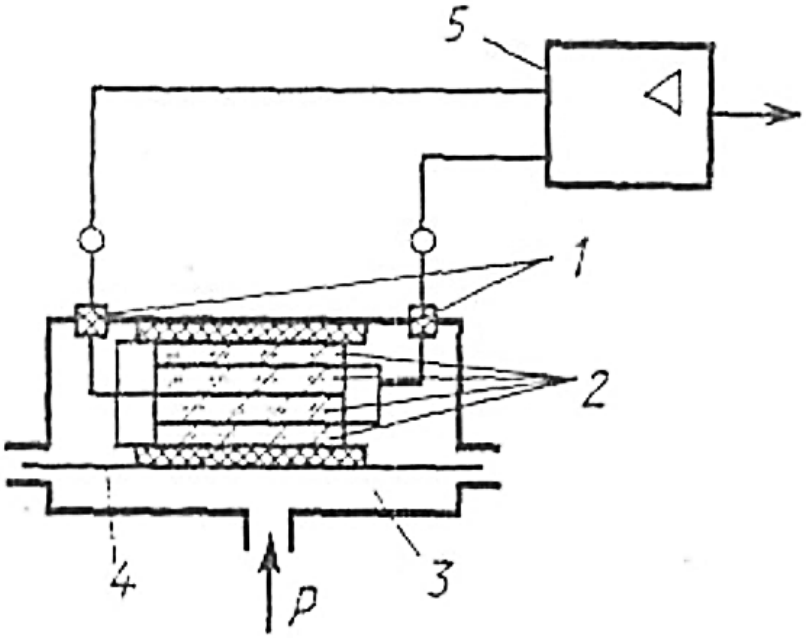


Рисунок 4 – Схема пьезоэлектрического измерительного преобразователя.

Актуаторы.

Принцип работы актуатора заключается в преобразовании электрической энергии за счет пьезоэффекта в механическую или наоборот.

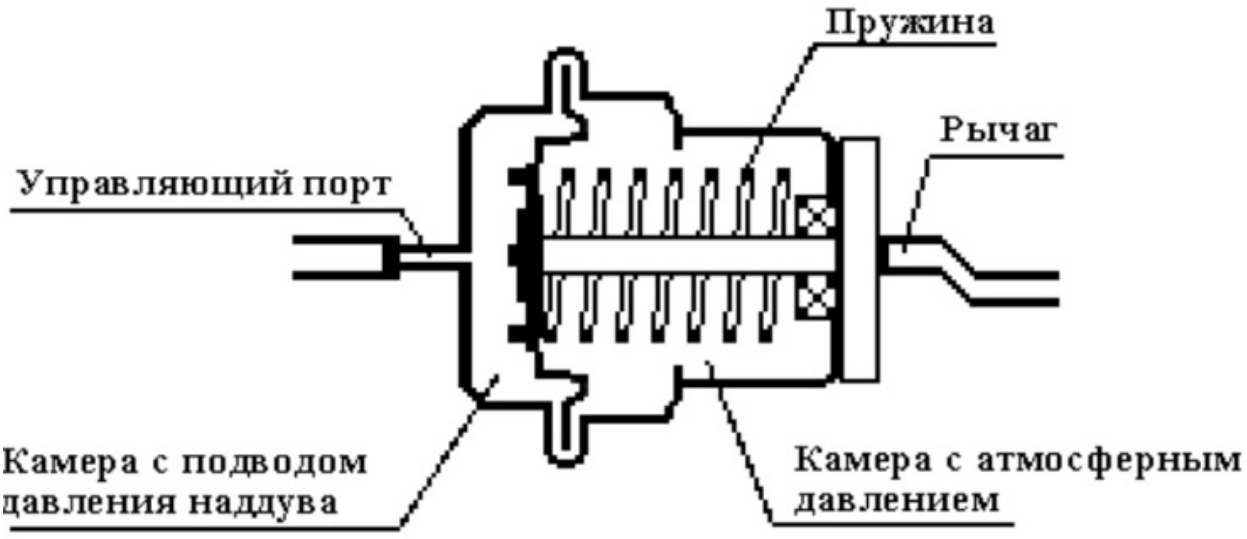


Рисунок 5 – Гибкие актуаторы, применяемые в турбинных установках.

Актуаторы также представляют большой интерес, особенно мощные пакетные актуаторы и маломощные гибкие актуаторы, такие как биморфы и ленточные актуаторы. Пакетные актуаторы уже используются в космической, лазерной технике и оптических инструментах, а ещё находят применение в точной настройке станков и подавлении вибраций. Гибкие актуаторы широко

используются в пьезоэлектрических датчиках и в качестве электронных переключателей, а также в турбинных установках в энергетике.

Заключение

На данный момент пьезокерамика является наиболее перспективным материалом. Из-за особенных свойств, найти замену которым у ученых еще не получилось, пьезокерамические устройства и устройства, изготовленные из кварца, являются самыми перспективными сейчас и в ближайшем будущем.

Литература

1. Плонский, А.Ф. Пьезоэлектричество: государственное издательство технико-теоретической литературы / А.Ф. Плонский, – Москва, 1953.
2. Плонский, А.Ф. пьезокварц в технике связи: госэнергоиздат / А.Ф. Плонский, – Москва, 1951.
3. Дьяков, А. Кварцевые генераторы: статья / А. Дьяков – 1981.
4. Альтшуллер, Г.Б. Кварцевая стабилизация частоты: изд. «Связь» / Г.Б. Альтшуллер – Москва, 1974.

УДК 628.35

МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТЬ ЕДИНИЦ ТЕПЛОВЫХ ВЕЛИЧИН
METROLOGICAL TRACEABILITY OF THERMAL UNITS

А.В.Лебёдкина, А.С. Лефтерова
Научный руководитель – Е.Н. Савкова, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Lebedkina, A. Lefterova
Supervisor – Y. Saukova, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В докладе рассматривается основы для сравнения метрологической прослеживаемости тепловых величин. С помощью нормативных документов, эталонов и референтных методов.*
Abstract: *The report examines the basis for comparing the metrological traceability of thermal quantities. With the help of normative documents, standards and reference methods.*
Ключевые слова: *прослеживаемость, эталон, тепловые величины, референтные методы, стандартные образцы.*
Keywords: *traceability, standard, thermal values, reference methods, standard samples.*

Введение

Метрологическая прослеживаемость единиц тепловых величин — это процесс, который обеспечивает возможность связать измеренные значения тепловых величин с их эталонами через последовательность сопоставимых измерений. Этот процесс важен для обеспечения точности, надежности и сопоставимости результатов измерений.

Одним из ключевых элементов метрологической прослеживаемости является существующая система эталонов и стандартов, которые обеспечивают единые основы для сравнения измерений. Это гарантирует, что измеренные величины обладают необходимой точностью и могут быть интерпретированы на разных уровнях, от специализированных лабораторий до конечных пользователей.

Сравнение метрологической прослеживаемости тепловых величин требует глубокого анализа существующих методов измерений, используемых стандартов и интерфейсов между различными системами. Это включает в себя как традиционные термометры, так и современные методы, такие как инфракрасные термометры и термограмметрия. Важно также учитывать влияние факторов, таких как окружающая среда, и опыт оператора, которые могут значительно влиять на точность измерений.

Данная работа направлена на изучение основ для сравнения метрологической прослеживаемости тепловых величин, а также анализ методов и стандартов, используемых в современных измерительных системах. Мы рассмотрим существующие подходы к обеспечению надежности и точности измерений, выявим основные проблемы и предложим возможные пути их решения. Обобщение

полученных данных позволит установить единые критерии для оценки метрологической прослеживаемости, что, в свою очередь, будет способствовать улучшению качества и надежности измерений в различных областях науки и техники.

Основная часть

В последнее время важность понятия метрологическая прослеживаемость все чаще подчеркивается различными международными организациями (например, BIPM, IUPAC, EURACHEM) и документами (например, ГОСТ ISO/IEC 17025-2019). И любая организация, которая выполняет измерения должна не просто правильно понимать, что такое метрологическая прослеживаемость, но и уметь ее обеспечить.

Для того, чтобы установить метрологическую прослеживаемость результатов измерений необходимы следующие элементы:

– основа для сравнения;
– непрерывная цепь калибровок;
– неопределенность измерений.

В качестве основы для сравнения могут выступать: единица измерения, методика измерений, эталон (в том числе сертифицированный стандартный образец) или их сочетание.

Непрерывная цепь калибровок позволяет связать значение величины, воспроизводимой основой для сравнения, с результатом измерения, который получается с применением измерительной системы согласно методике измерений. Эта связь обеспечивается последовательной калибровкой эталонов и на последнем этапе калибровкой измерительной системы по рабочему эталону.

Нормативные документы и эталоны.

Для обеспечения метрологической прослеживаемости в области тепловых величин существуют различные нормативные документы и стандарты, например:

– ISO 9001 – стандарт на системы менеджмента качества.
– ISO/IEC 17025 – общий стандарт для испытательных и калибровочных лабораторий.
– GOST P ИСО/МЭК 17025 – российский стандарт, аналогичный ISO/IEC 17025.
– ISO 7899 – измерения температуры в различных приложениях.

Эталоны тепловых величин, используемые в национальных и международных системах, проходят регулярные проверки и калибровки для поддержания их точности и соответствия заявленным характеристикам.

Эталоном единицы средство измерений (комплекс средств измерений), предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы величины) и передачи ее размера другим, менее точным, средствам измерений.

По метрологическому назначению эталоны делятся на первичные, вторичные и специальные. Первичный эталон служит для воспроизведения единицы с наивысшей в стране точностью. Значения вторичных эталонов устанавливаются по первичным.

Эталон, воспроизводящий единицу физической величины с наивысшей точностью, достигнутой в данной области измерений, называется первичным.

Первичный эталон, утвержденный в качестве исходного средства измерений для страны, называется государственным эталоном единицы величины. В международной практике государственные эталоны обычно называются национальными, а эталоны, хранимые в Международном бюро мер и весов – международными. В нашей стране термин «национальный эталон» используется по отношению к государственному в тех случаях, когда отечественные государственные эталоны применяются для сличения с международными эталонами или с эталонами, принадлежащими другим государствам.

К первичным эталонам относят как соответствующие эталоны основных единиц Международной системы единиц (международное сокращенное наименование – SI, в русской транскрипции – СИ), так и производных единиц СИ.

По приоритету воспроизведения и хранения единицы первичному эталону соподчиняются вторичные и рабочие эталоны.

Размер единицы, воспроизводимой вторичными эталонами, «поддерживается» с помощью первичных (государственных) эталонов единиц величин.

Рабочие эталоны получают размер единицы, как правило, от вторичного эталона и служат для передачи размера единицы другим рабочим эталонам (меньшей точности) и рабочим средствам измерений.

Международные эталоны хранятся в Международном бюро мер и весов, и в соответствии с международными соглашениями с их помощью периодически проводятся сличения национальных эталонов разных стран, в том числе взаимные сличения национальных эталонов. Например, национальные эталоны килограмма сличаются один раз в 20–25 лет, а эталоны Вольта и Ома и ряд других сличаются раз в три года.

Заключение

В ходе работы мы выяснили, что метрологическая прослеживаемость единиц тепловых величин является критически важной для обеспечения точности и надежности измерений. Нормативные документы и эталоны играют ключевую роль в установлении стандартов и поддержании высокого уровня точности. Применение стандартных образцов в научных исследованиях позволяет снизить уровень неопределенности и повысить доверие к получаемым результатам.

Таким образом, знание основ метрологии и применения метрологической прослеживаемости является необходимым условием для успешной работы в области измерений тепловых величин.

Литература

1. Компания «Профилаб» [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://profilab.by/ – Дата доступа: 22.10.2024.

2. Компания «Метрологический консалтинг» [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://metrcons.ru/– Дата доступа: 22.10.2024.

УДК 629.331

ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ
DEVICE FEATURES HYBRID VEHICLES

М.В. Шугаев, С.М. Поляк
Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
M. Shugaev S. Polyak
Supervisor – G. Mikhaltsevich, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В статье описывается устройство, принцип работы гибридных автомобилей.*
Abstract: *The article describes structure and working principle of hybrid cars.*
Ключевые слова: *гибридные автомобили, параллельный гибрид, последовательный гибрид.*
Keywords: *hybrid electric vehicle, parallel hybrid, series hybrid.*

Введение

На сегодняшний день почти все мировые автопроизводители работают над уменьшением выбросов вредных веществ автомобилями и снижением расхода топлива. Одним из наиболее целесообразных решений является применение гибридных автомобилей, которые способны эффективно использовать двигатели внутреннего сгорания (ДВС) и избежать некоторых проблем из-за применения полностью электрических автомобилей. Гибриды можно разделить на 3 вида: последовательный, параллельный и последовательно-параллельный [1].

Основная часть

При последовательной схеме автомобиль приводится в движение электродвигателем (рис. 1). А ДВС соединён с генератором, который в свою очередь питает электродвигатель и (или) подзаряжает аккумуляторную батарею.

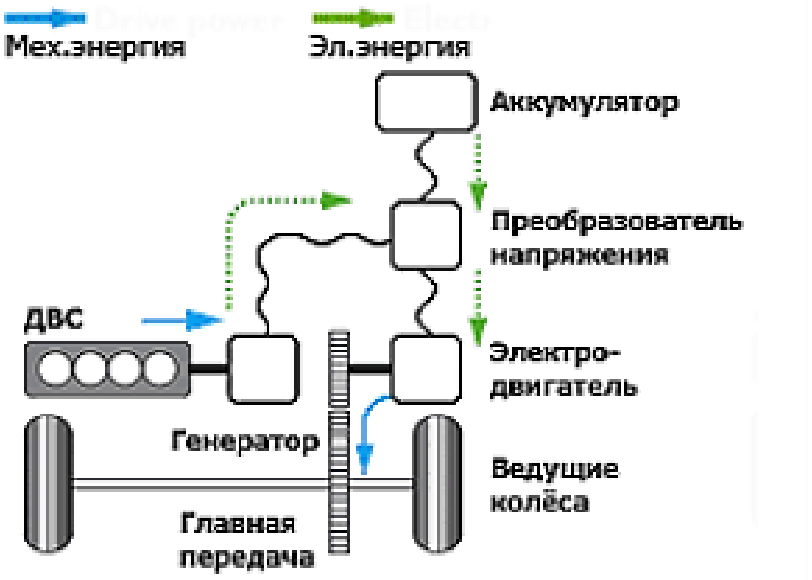


Рисунок 1 – Схема последовательного гибрида

При параллельной схеме ДВС соединен с электродвигателем и трансмиссией с помощью сцепления (рис. 2). Данная схема имеет несколько режимов работы:

– Электро режим. На малых скоростях автомобиль приводится в движение электродвигателем, сцепление разомкнуто, ДВС выключен.
– Гибридный режим. При увеличении скорости или при появлении нагрузки сцепление соединяет ДВС с электродвигателем. Что позволяет использовать крутящий момент электродвигателя и ДВС одновременно.

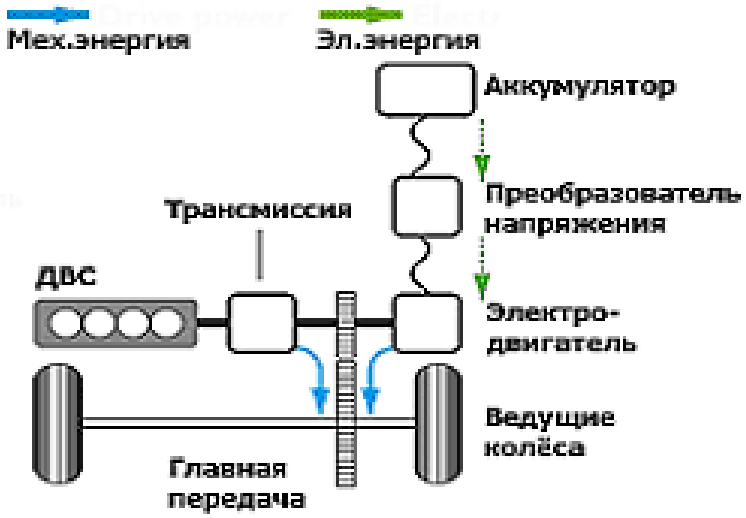


Рисунок 2 – Схема параллельного гибрида

Последовательно-параллельная схема. Рассмотрим на примере разработанной японскими инженерами системы Hybrid Synergy Drive (HSD) которая включает в себя два предыдущих типа (рис. 3). В этой схеме ДВС, электромотор и ведущие колёса связаны между собой планетарным механизмом, без коробки передач и сцепления. Это делает всю силовую установку единым целым, позволяя управляющей электронике распределять мощность между узлами в любых соотношениях. Эффективность такой системы очень высока.

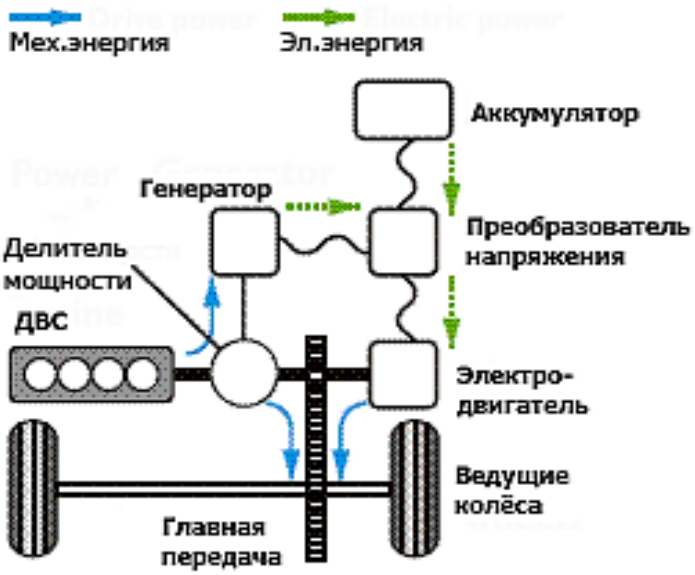


Рисунок 3 – Схема последовательно-параллельного гибрида

Заключение

Таким образом, гибридные автомобили являются наиболее эффективным решением для современного транспортного сектора. Они сочетают в себе преимущества двух видов двигателей, что позволяет снизить расход топлива и увеличить запас хода. При этом развитие технологий и постоянное совершенствование конструкции гибридных автомобилей позволяет им стать все более доступными и популярными на рынке автомобильной индустрии. В итоге, гибридные автомобили играют важную роль в улучшении качества жизни людей и защите окружающей среды.

Литература

1. Гиперавто [Электронный ресурс]/ Особенности гибридных автомобилей – Режим доступа: https://hyperauto.ru/articles/gibrid-gibridu-rozn-otlichiya-phev-rex-i-priusov-1-207 – Дата доступа: 10.09.2024

2. Молодой ученый [Электронный ресурс] / Анализ конструктивных схем гибридных автомобилей – Режим доступа: https://moluch.ru/archive/297/67297 – Дата доступа: 10.09.2024

СЕКЦИЯ ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УЧЁТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ВЕТРОЭНЕРГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКЕ

М.Р. Хританьков, А.А. Цалко
Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент

АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА РЕЧНОЙ СТОК

Д.А. Панкратов, А.О. Боровикова
Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель

БЕСКОНТАКТНЫЕ ЛАБИРИНТОВЫЕ УПЛОТНЕНИЯ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ТУРБИН

А.И. Снапкова
Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель

БИОГАЗ КАК АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ВИД ТОПЛИВА

А.Н. Медведева
Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ НА ЭФФЕКТИВНУЮ РАБОТУ ТУРБИН

А.С. Лукашук, Д.И. Мицкевич
Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель

ВТОРИЧНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЭЦ

В.А. Новикова
Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель

ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ ШВЕЙЦАРИИ МОЩНОСТЬЮ 900 МВТ

Н.Д. Рудаков, Д.В. Данилович
Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент

ГРАФИТОВЫЕ УПЛОТНЕНИЯ ПАРОВЫХ ТУРБИН

А.И. Сироткин, Г.Ю. Витецкая
Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель

ДИНАМИЧНЫЕ ИННОВАЦИИ В ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

В.А. Новикова, А.И. Снапкова
Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент

ИОННО-ПЛАЗМЕННЫЕ ПОКРЫТИЯ ЛОПАТОК ТУРБИНЫ

В.Р. Бежелев, В.А. Желенков
Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОГАЗОВЫХ ТУРБИН НА ТЭС

А.Н. Медведева, Е.В. Барбарич
Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ОТ ТЭС НА ТВЁРДОМ ТОПЛИВЕ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

А.Н. Медведева
Научный руководитель – С.И. Ракевич, старший преподаватель

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛОМЫ ОТ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ С ПОМОЩЬЮ ДВИГАТЕЛЯ СТИРЛИНГА

А.А. Мильяненко
Научный руководитель – А.Г. Герасимова, к.т.н., доцент

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧАСТИЦ ТОПЛИВА TRISO В РЕАКТОРАХ ВТГР

В.А. Андриевич, А.С. Печеньков, В.А. Москальчук
Научный руководитель – И.А. Евсеенко, ассистент

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАМЕЩЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА СИНТЕЗ-ГАЗОМ, ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ ГАЗИФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕРЕВООБРАБОТКИ И МЕБЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

С.А. Варварский
Научный руководитель – С.И. Ракевич, старший преподаватель

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОТЛА БКЗ-320-140ГМ

И.Г. Черенкевич, Н.Д. Рудаков
Научный руководитель – Н.В. Левшин, доцент, к.т.н.

КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛА НА ТЭЦ

В.В. Бакалова, Н.Д. Самсонов
Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель

МЕМБРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ВОДЫ

В.Р. Бежелев, Е. М. Стельмак
Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель

МЕТОД КОАГУЛЯЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

А.В. Шунькевич, Л.В. Маркевич
Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель

МЕТОДЫ УДАЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА ИЗ ВОДЫ

В.Н. Санько, Д.А. Махонько
Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель

МОБИЛЬНЫЕ ГАЗОТУРБИННЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Н.Д. Рудаков, М.В. Горбунов
Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент

ОСНОВНЫЕ НАСОСЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ НА ТЭС. ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА И ПРЕДНАЗНАЧЕНИЕ

О.А. Ковальчук, Е.А. Иссарь
Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, старший преподаватель

ОТЛОЖЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТЯХ НАГРЕВА КОТЛОВ

А.О. Боровикова, Д.А. Панкратов
Научный руководитель – Н.Б. Карницкий, д.т.н., профессор

ОЧИСТКА КОНДЕНСАТОРОВ ПАРОВЫХ ТУРБИН

А.С. Печко, А.И. Павловская
Научный руководитель – Н.В. Левшин, доцент, к.т.н.

ПАРОВАЯ ТУРБИНА КП-77-6,8

Г.Ю. Витецкая, А.И. Сироткин
Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ЭКОНОМИЧНОСТИ СИСТЕМ ТРАНСПОРТА ТЕПЛОТЫ

В.В. Бакалова, В.Д. Лукьяненко
Научный руководитель – Л.А. Тарасевич, к.т.н., доцент

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПРЯМОТОЧНЫХ КОТЛОВ ЗА СЧЕТ ИХ НАДСТРОЙКИ ГАЗОПОРШНЕВЫМИ АГРЕГАТАМИ

Е.Д Жабров, Е.А. Иссарь
Научный руководитель – Н.В. Левшин, доцент, к.т.н.

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Е.М. Стельмак
Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, старший преподаватель

ПРИМЕНЕНИЕ СЖИЖЕННОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА (СНГ) НА СОВРЕМЕННЫХ АВТОМОБИЛЯХ С БЕНЗИНОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

А.А. Герасимович
Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ НУЖД ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В.Р. Бежелев, В.А. Желенков
Научный руководитель – Л.А. Тарасевич, к.т.н., доцент

ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА ДЛЯ ОЧИСТКИ ОРОСИТЕЛЕЙ ИСПАРИТЕЛЬНОЙ БАШЕННОЙ ГРАДИРНИ

А.Н. Кривелёва
Научный руководитель – И.А. Некало, старший преподаватель

ПРИЧИНЫ НАРУШЕНИЯ НОРМАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПАРОВЫХ ТУРБИН

В.В. Бакалова, В.Д. Лукьяненко
Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТА ТРАНСПОРТНО-УПОКОВОЧНОГО КОНТЕЙНЕРА ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ОЯТ

А.М. Стапура
Научный руководитель – И.А. Евсеенко, ассистент

СИСТЕМА МАСЛОСНАБЖЕНИЯ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

В.Д. Лукьяненко
Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ НА ОСНОВЕ БЛОКЧЕЙН

А.С. Гурина, А.С. Парфёнова
Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель

СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ЕЕ РОЛЬ НА ЗДРАВООХРАНЕНИЕ ТЕРРИТОРИИ

А.С. Печко, А.И. Павловская
Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент

ТЕРМОАКУСТИЧЕСКОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ

Д.А. Панкратов, А.О. Боровикова
Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель

ТЕХНОЛОГИИ ХРАНЕНИЯ, УЛАВЛИВАНИЯ И УТИЛИЗАЦИИ УГЛЕРОДА

О.А. Ковальчук, А.А. Таркайло
Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент

ТЕХНОЛОГИЯ И МЕТОДЫ БЕСКОНТАКТНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ

Д.А. Бабак, А.С. Гребень
Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент

ТУРБОДЕТАНДЕРНЫЕ УСТАНОВКИ

Н.И. Козак, А.В. Геут
Научный руководитель – Л.А. Тарасевич, к.т.н., доцент

УМНЫЕ ГОРОДА: ИНТЕГРАЦИЯ IOT В СИСТЕМУ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

Д.В. Данилович, Д.В. Чуйко
Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД: КОАГУЛИЦИЯ И ФЛОКУЛЯЦИЯ

В.А. Новикова, А.И. Снапкова
Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГТУ НА ПРИМЕРЕ ГРОДНЕНСКОЙ ТЭЦ-2

И.Г. Черенкевич, М.В. Горбунов
Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ И ВИХРЕВЫХ РАСХОДОМЕРОВ-СЧЕТЧИКОВ, ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

В.А. Фомина, В.В. Куделко
Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент

УДК 621.311

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УЧЁТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ВЕТРОЭНЕРГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКЕ

AUTOMATED SYSTEM FOR CONTROL AND ACCOUNTING OF ELECTRIC ENERGY AT A WIND ELECTRIC PLANT

М.Р. Хританьков, А.А. Цалко
Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
M. Hritankov, A. Tsalko
Supervisor – V. Kravchenko, Candidate of Economic Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Проект, описанный в тексте, касается автоматизированной система контроля и учета электрической энергии на ветроэнергетической установке (ВЭУ). Он включает в себя использование электрического счетчика «Гран-электро СС-301» и трансформаторов тока класса точности 5S, также используются каналы связи RS-485. Проект также предусматривает использование программного обеспечения «EnergyControl». Реализация проекта позволит оптимизировать использование электроэнергии, повысить защищенность и узаконенность информации о электропотреблении, улучшить измерение, сбор, обработки и накопление данных о потребление электроэнергии.*

Abstract: *The project described in the text concerns an automated system for monitoring and accounting of electric energy at a wind power plant (WPP). It includes the use of an electric meter "Gran-electro CC-301" and current transformers of accuracy class 5S, and RS-485 communication channels are also used. The project also provides for the use of the software "EnergyControl". The implementation of the project will optimize the use of electricity, increase the security and legitimacy of information on electricity consumption, improve the measurement, collection, processing and accumulation of data on electricity consumption.*

Ключевые слова: *АСКУЭ, СС-301, УСПД, РП-155, ВЭУ, СУБД, счетчики, устройство.*

Keywords: *ASCAE, CC-301, DCTD, RP-155, WPP, DMS, counters, device.*

Введение

Разрабатываемая автоматизированная система для контроля и учёта потребления электрической энергии, направленная на оптимизацию расчётного (коммерческого) учета электрической энергии ВЭУ. Данная система создана для выполнения ряда задач, измерение, сбор, обработку, накопление, отображение, документирование и распределение точной, защищённой и точной информации о потреблении энергии в каждой точке коммерческого учёта предприятии.

Основная часть

Условно систему можно разделить на несколько территориально, разнесенных подобъектов, которые взаимодействуют между собой по каналам связи:

- точка учета электрической энергии в ячейке 10 кВ ВЭУ РП-155;

- точки учета электрической энергии в ячейках 10 кВ на ПС 110 кВ;
- проектируемый шкаф АСКУЭ с УСПД в РП-155;
- информационная система АСКУЭ.

В состав АСКУЭ входят все точки учёта электроэнергии, которые участвуют в коммерческих расчётах электрической энергии (таблица 1).

В ячейке РП-155 ВЭУ предусматривается установка трансформатора тока класса точности 0,5S. На ПС 110 кВ с ячейкой 10 кВ подключение счетчиков производится следующим образом к существующим трансформаторам тока к обмотке класса точности 0,5S.

Передача данных со счётчика ячейки ВЭУ РП-155 к устройству сбора и передачи данных (далее УСПД), установленному в РП-155, осуществляется по витой паре RS-485. Передача данных со счётчиков ячеек 10 кВ ПС 110 кВ к УСПД, осуществляется по 3G каналу связи. Полученная информация об энергопотреблении из УСПД передается по 3G каналу связи.

Таблица 1 – Характеристика точек учета электроэнергии [1]

Точка учета	Наименование	к-т. ТТ	Кол-во ТТ	U num.
PIK1	Ячейка 10 кВ ВЭУ РП-155	300-150/5	3 х 0,5S	0,1 кВ
PIK2, PIK3	Ячейки 10 кВ на ПС 110 кВ	300/5	3 х 0,5S	0,1 кВ

На 1-м уровне собирается информация о потреблении и выработке электроэнергии, предварительно обрабатывается, храниться и передается в информационную систему следующего уровня. Источниками информации является токоизмерительные трансформаторы и напряжения, к вторичным измерительным обмоткам которых подключаются многофункциональные электронные многотарифные счетчики электрической энергии «Гран-электро СС-301» (рис. 1).



Рисунок 1 – Трехфазный электросчетчик «Гран-электро СС-301» [2]

Счётчики электрической энергии в свою очередь подключается к УСПД, расположенному в существующей РП-155. Счетчики типа «Гран-электро СС-301» внесены в государственный реестр средств измерений Республики Беларусь и включены в отраслевой рекомендованный перечень средств коммерческого учета электроэнергии для использования в составе АСКУЭ. Информация, хранимая в электронной базе счетчиков, является первичной и достоверной, так как счетчики являются средствами измерений и имеют действующие свидетельства государственной метрологической службы.

Локальная информационная система объекта, являющаяся верхним уровнем системы АСКУЭ, включает в себя существующий сервер лаборатории АСКУЭ, а также имеющиеся автоматизированные рабочие места (АРМ) отдела сбыта.

АСКУЭ использует 3G-связь для считывания данных с УСПД, установленного на РП-155, и выполняет расчет потребления и генерации энергии. На АРМах в отделе, под управлением операционной системы Windows XP или выше, установлено клиентское ПО «EnergyControl», которое через корпоративную сеть передачи данных (КСПД) обращается к серверу АСКУЭ Инженерного центра, представляя информацию о потреблении и генерации энергии Wind Energy Units (ВЭУ) в удобном графическом формате.

В проектируемой системе АСКУЭ инициатором получения информации является устройство, находящееся на более высоком уровне иерархии (сервер сбора), которое обращается к опрашиваемому устройству (УСПД) с запросом на получение информации. В случае отсутствия данных это устройство через некоторый промежуток времени повторяет запрос, либо диагностирует ошибку и выполняет действия в соответствии с заложенным в него алгоритмом работы. Если в момент запроса на опрашиваемом устройстве отсутствует необходимая информация, то данное устройство (сервер) может инициировать запрос к устройствам более низкого уровня (УСПД). Каждый уровень иерархии осуществляет сбор информации с заданной периодичностью. В зависимости от требований к актуальности информации (оперативности данных) устройство верхнего уровня осуществляет опрос устройств нижнего уровня каждые 3 или 30 минут [2].

К нештатному режиму работы АСКУЭ относятся ситуации, при которых не обеспечивается работа системы в автоматизированном режиме либо не обеспечивается сбор информации со всех приборов учета, включенных в систему.

Структура построения системы, технические и программные средства, применяемые при её построении, позволяют обеспечить сохранность информации об электропотреблении (хранение данных во внутренней памяти счётчиков, УСПД и на сервере баз данных АСКУЭ) при возникновении сбоев в работе каналов связи. При восстановлении работоспособности каналов система в автоматическом режиме выполнит «дозапрос» и поместит недостающую информацию в базу данных.

В случае неполного сбора данных (перебои в работе каналов связи, случай сбоя программного обеспечения и других неполадок) заполнение СУБД может быть выполнено в ручном режиме (по запросу оператора).

При необходимости можно добавить недостающие данные с приборов учета в СУБД при помощи переносного компьютера либо внести данные вручную. При этом формируется метка с указанием способа помещения информации на сервере.

При выходе из строя элементов 1-го уровня (измерительные трансформаторы, счётчики) полное восстановление информации невозможно. Дублирование УСПД и счётчиков не предусматривается. Требуется замена вышедших из строя элементов учёта и сбора информации. При этом ПО верхнего уровня АСКУЭ позволяет внести недостающие данные в СУБД с соответствующего документа (совместный акт энергоснабжающей организации и потребителя электроэнергии).

При выходе из строя элементов 2-го уровня (сервер) коммерческая информация в полном объеме сохраняется в первичных средствах измерения - электронных счётчиках электроэнергии. При восстановлении работоспособности система производит сбор недостающих данных.

Проектируемая АСКУЭ работает в непрерывном круглосуточном режиме.

Техническое обслуживание включает в себя следующие виды работ:

- Ежедневный осмотр: проверка наличия электропитания, состояния внутренних часов электронных часов (синхронизация времени), работоспособность каналов связи;
- Ежеквартальный технический осмотр включает осмотр и очистку компонентов системы (счётчик, внешняя антенна и др.) от пыли, а также оценку состояния монтажа;
- Внеплановое обслуживание, связанное с заменой вышедших из строя элементов, предусматривает замену неисправных модулей и компонентов с использованием обменного фонда (ЗИП) обслуживающих организаций. По завершению ремонта необходимо выполнить проверку работоспособности системы передачи данных.

Для подключения приборов учета используются измерительные трансформаторы тока с обмоткой класса точности 0,5S и трансформаторы напряжения с обмоткой класса точности 0,5 номин. Выходная мощность не менее 25 ВА [2].

В ячейке 10 кВ ВЭУ РП-155 применяется трехфазный электросчетчик СС-301 с версией ПО от 3.50, позволяет получить удаленный доступ по RS-485 каналу связи. Многофункциональный трехфазный электрический счётчик «Гран-Электро СС-301» с несколькими тарифами предназначен для измерения как активной, так и реактивной электроэнергии, а также мощности в трехфазных сетях переменного тока. Он находит применение как в коммерческих, так и в технических целях для учёта потребляемой энергии на предприятиях, в энергетических системах и при межсистемных перетоках. При этом счётчик может работать как в автономном режиме, так и в составе автоматизированной системы мониторинга и учёта электроэнергии.

Для работы в автоматизированной системы учёта и контроля, счётчик «Гран-Электро СС-301» предоставляет возможность:

- производить корректировку времени с помощью цифрового интерфейса;
- получить именованные величины в соответствии с заданными коэффициентами;

– получить сертифицированные измеренные данные токов и напряжений;
– выполнять операции с параметрами и данными (считывание и запись).

В таблице 2 приведены Основные технические характеристики многотарифного трёхфазного электросчетчика «Гран-Электро СС-301»

Таблица 2 – Основные технические характеристики трёхфазного многотарифного электросчетчика «Гран-Электро СС-301» [2]

Наименование характеристики	Значение
Номинальный ток	Номинальный ток 5 А, максимальный 7,5 А
Номинальное напряжение	3х230/400 В
Наличие и тип интерфейса связи	Оптический + 2xRS-485
Наличие телеметрических выходов	Импульсные выходы отсутствуют
Количество тарифов	8 тарифов
Типы измеряемой энергии и мощности	Активная и реактивная по двум направлениям
Тип дисплея	LCD индикатор с подсветкой
Дополнительные опции	Дополнительные опции отсутствуют
Тип модуля расширения	Интерфейс RS-485

В основную часть АСКУЭ входит УСПД, которое создано для выполнения сбора, обработки, хранения и передачи защищённой и точной информации в цифровом виде от счетчиков электрической энергии на верхний уровень АСКУЭ, он также выполняет измерение времени и синхронизацию часов счетчика. GSM/GPRS/3G- модемы входят в состав УСПД и имеют возможность передачи данных по каналу (модемное соединение) с технологией Circuit Switched Data(CSD), передачи команд по SMS или передачи сообщений по SMS, TCP-пакетов на IP-адрес, электронных писем на E-Mail или в качествеTCP-сервера в режиме пакетной передачи данных с технологией 3G.

Сервер сбора, обработки и хранения данных АСКУЭ промышленных предприятий, реализованных с использованием СЭМ-3G. В качестве ПО верхнего уровня также используется ПО «EnergyControlCentr» производства УПП «Микрон».

По завершении текущих суток в автоматическом режиме ПО формирует шаблон данных формата АТС 80020 и обеспечивает передачу информации в ПО «Emcos Corporate» верхнего уровня АСКУЭ.

Подключение проектируемого оборудования выполнено [2]:
– в РП-155 от проектируемого измерительного трансформатора напряжения 10 000/100 В и трансформаторов тока;
– на ПС 110 кВ от существующих измерительных трансформаторов напряжения 10 кВ и трансформаторов тока, установленных на 3-й и 4-й секциях шин 10 кВ.

Заземление проектируемого оборудования выполнено от существующих контуров заземления РП-155 и ПС 110 кВ.

Подсистема электроснабжения АСКУЭ должна соответствовать требованиям «Правил технической эксплуатации потребителей» и «Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей». Цепи заземления должны соответствовать нормам ПТБ, ПУЭ.

АСКУЭ ВЭС основывается на базе технических средств (счетчики электрической энергии), зарегистрированных в Государственном реестре средств измерений Республики Беларусь. Измерительные каналы АСКУЭ включают в себя также первичные масштабные преобразователи – ИТТ и ИТН, типы которых утверждены Госстандартом Республики Беларусь. Смонтированная и прошедшая опытную эксплуатацию АСКУЭ должна пройти метрологическую экспертизу юридическими лицами, входящими в государственную метрологическую службу, в качестве системы коммерческого учета электроэнергии.

Виды и частота метрологического контроля измерительных средств, входящих в систему, указаны в эксплуатационной и сертификационной документации на эти средства. Ответственность за соблюдением сроков проведения периодического метрологического контроля измерительных средств возложена на сотрудников предприятия, владеющего данными средствами. Периодический метрологический контроль проводится на основании договора с региональным Центром стандартизации, метрологии и сертификации или другими юридическими лицами, входящими в состав государственной метрологической службы Республики Беларусь, в соответствии с законодательством.

К техническим средствам не измерительного назначения относится оборудование АСКУЭ, используемое для цифровых преобразований над результатами измерений. В данном проекте применены следующие средства не измерительного назначения:

- сервер сбора, обработки и хранения данных;
- автоматизированные рабочие места пользователей и операторов АСКУЭ;
- каналообразующее оборудование.

Заключение

В данной работе была изучена структурная схема АСКУЭ, были рассмотрены отдельные устройства системы АСКУЭ и их характеристики. Кроме того были изучены режимы работы и их назначение в системе АСКУЭ. На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что АСКУЭ очень важна в системе ВЭУ, а также имеет место для развития и добавления более современного оборудования.

Литература

1. СТБ 2096-2010 Автоматизированные системы контроля и учета электрической энергии.

2. Счетчик активной электрической энергии Гран-Электро СС-301-5.1 [Электронный ресурс] / Счетчик активной электрической энергии Гран-Электро СС-301-5.1. – Режим доступа: https://belroselektro.by/schetchiki/schetchik-aktivnoj-elektricheskoj-energii-gran-elektro-ss-301-5-1-u-p-l-k-rs485-transf-vklyucheniya-detail/#g-mainbar /. – Дата доступа: 14.10.2024.

УДК 621.311

АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА РЕЧНОЙ СТОК
ANTHROPOGENIC IMPACT ON RIVER FLOW

Д.А. Панкратов, А.О. Боровикова
Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
D. Pankratov, A. Borovikova
Supervisor – V. Romanko, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация**: В статье исследуется влияние антропогенных потребителей пресной воды на поверхностные источники.*
***Annotation**: The article examines the influence of anthropogenic freshwater consumers on surface sources.*
***Ключевые слова**: река, водопотребление, эффективность.*
***Key words:** river, water consumption, efficiency.*

Введение

Вода является основой жизни и важнейшим ресурсом на планете. Её роль переценить невозможно, так как благодаря уникальным свойствам воды, а именно свойству накапливать тепло, она является идеальным теплоносителем. Однако нерациональное использование этого ресурса может привести к пересыханию рек и озёр, что, в свою очередь, может стать причиной к остановке в работе многих энергетических предприятий.

Основная часть

Цель данного исследования заключается в анализе деятельности энергетических предприятий, использующих воду, и выявлении взаимосвязи между объёмом воды в поверхностном источнике и уровнем возможного потребления энергии населённым пунктом. Кроме того, изучить технологии, позволяющие более рационально использовать водные ресурсы без ущерба для окружающей среды. В завершение выявить тенденции в развитии технологий, направленных на повышение эффективности водозабора.

Предметом исследования является свойство потребителей воды, направленное на более эффективное и экономичное её использование.

Объект исследования данной статьи – поверхностные источники воды, которые могут быть использованы в технологическом процессе, а также рассматриваются основные предприятия, потребляющие воду в промышленных масштабах, численность населения и основные области использования пресной воды.

Сейчас почти 45% жителей планеты испытывают проблемы с доступом к пресной воде, поэтому, в данной теме проводится множество исследований направленные на сохранение водного баланса в мире. Так же, следует отметить, что в настоящее время более 2 миллиардов человек пьют воду, не соответствующую СанПиН. К 2035 году около 900 миллионов человек могут столкнуться с нехваткой воды и стать вынужденными переселенцами.

Соответственно, в регионах, в которых есть недостаток воды для бытовых нужд населения, строительство электрических станций невозможно. Основные исследователи в этой сложной теме являются [1]:

- ЮНЕСКО – это организация, занимающаяся проблемами водных ресурсов, а также защищает их от антропогенных загрязнений.
- Всемирный банк – это международная организация, которая инвестирует огромные средства в разработку новых технологий для защиты водных источников и более экономичного их использования.
- Международный союз охраны природы – это организация, которая борется за очищение непригодных источников пресной и морской воды.
- Greenpeace – это глобальная некоммерческая организация, которая борется за защиту окружающей среды и экологическую ответственность.
- Всемирная организация здравоохранения – международная организация, которая занимается вопросами здравоохранения, а, следовательно, выступает за потребления чистой воды.

В ходе исследования изучены потребности населения и предприятий в пресной воде, а также возможности обеспечения их этим ресурсом из открытых источников, составлен график, который показывает, как с увеличением населения растет потребность в пресной воде [2].

С увеличением численности населения и растёт энергопотребление и, следовательно, количество потребляемой воды (рис. 1).

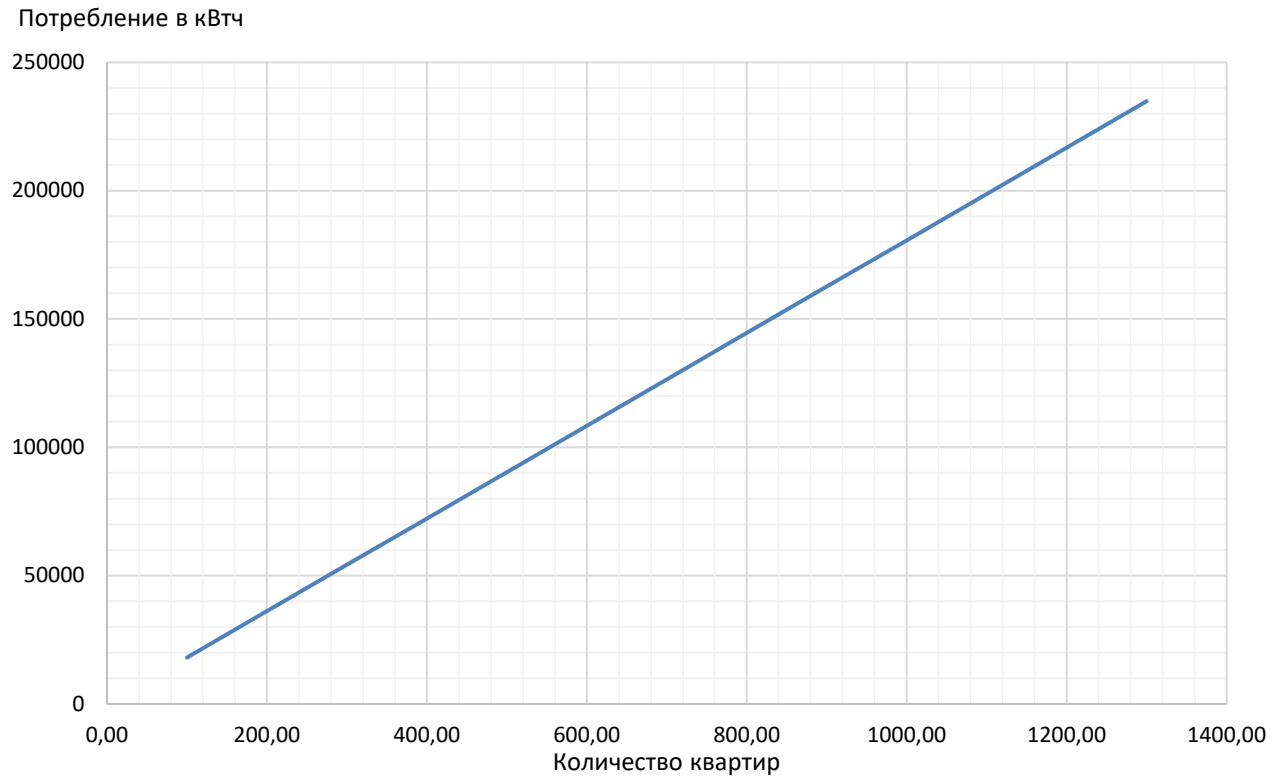


Рисунок 1 – Зависимость потребления кВт·ч от количества квартир

Из этого графика видно, как количество квартир влияет на количество производимых кВт·ч. В таблице ниже показано отношение производимых кВт·ч

к количеству потребляемой воды, в зависимости от давления пара на входе в турбину.

Таблица 2 – Отношения воды к кВт·ч в зависимости от давления пара [3]

Параметры пара, МПа	Удельный расход технической воды при выработке энергии		Параметры пара, МПа	Удельный расход технической воды при выработке энергии	
	Электрической, м³/(МВт·ч)	Тепловой, м³/Гкал		Электрической, м³/(МВт·ч)	Тепловой, м³/Г кал
Для КЭС:			Для ТЭЦ:		
			3,4	9,4	0,49
8,8	6,86	-	8,8	5	0,42
12,7	5,81	-	12,7	3,88	0,42
23,5	4,96	-	23,5	2,94	0,386

Чем выше давление и температура пара на входе в турбину, тем большее количество тепла пар отдаст в конденсаторе охлаждающей воде и, следовательно, тем больше будет расход технической воды (рис. 2).

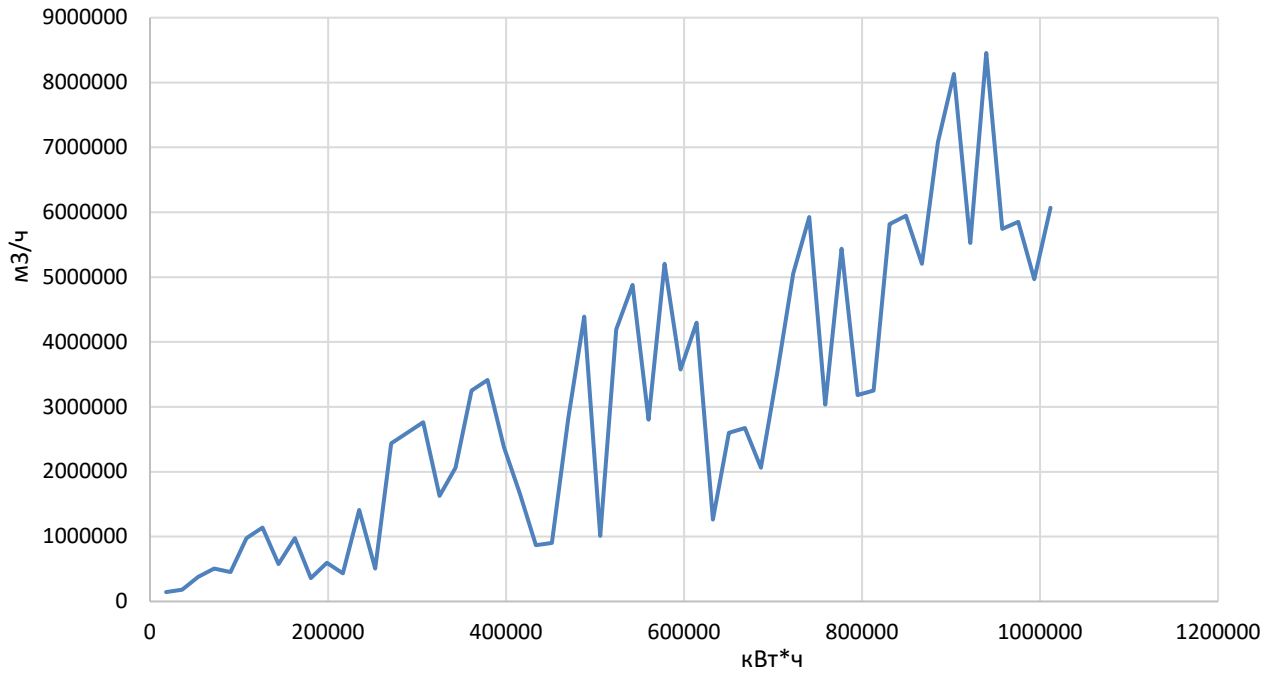


Рисунок 2 – Количество потребляемой воды в зависимости от потребляемой энергии в кВт·ч

Заключение

В заключение следует подчеркнуть, что рациональное использование водных ресурсов имеет ключевое значение для сохранения окружающей среды и обеспечения устойчивого развития человечества. Необходимо принимать эффективные меры по экономии воды, такие как установка счётчиков, ремонт кранов и устранение утечек, а также повышение экологической осведомлённости населения. Только совместные усилия и ответственное отношение к водным ресурсам позволят сохранить нашу планету для будущих поколений.

Литература

1. Компетентные организации для решения проблемы с недостатком и качеством воды [Электронный ресурс] / Компетентные организации для решения

проблемы с недостатком и качеством воды. – Режим доступа: https://мочур.рф/blog/kompetentnye-organizacii-dlya-resheniya-problemy-s-nedostatkom-i-kachestvom-vody /. – Дата доступа: 21.10.2024.

2. Социальная норма 250 кВт·ч в месяц. В Минэнерго привели расчёты на примере электроприборов [Электронный ресурс] / Социальная норма 250 кВт·ч в месяц. В Минэнерго привели расчёты на примере электроприборов. – Режим доступа: https://www.gazeta.uz/ru/2022/06/13/energy-limits /. – Дата доступа: 21.10.2024.

3. Вода в предприятиях теплоэнергетики [Электронный ресурс] / Вода в предприятиях теплоэнергетики. – Режим доступа: https://ros-pipe.ru/tekh_info/tekhnicheskie-stati/vodoprovodnye-sistemy-i-oborudovanie/otraslevye-resheniya/voda-v-predpriyatiyakh-teploenergetiki /. – Дата доступа: 21.10.2024.

УДК 621.165

БЕСКОНТАКТНЫЕ ЛАБИРИНТОВЫЕ УПЛОТНЕНИЯ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ТУРБИН
NON-CONTACT LABIRUNTH SEALS OF THE FLOW PART OF TURBINES

А.И. Снапкова
Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Snapkova
Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье рассматривается один из видов концевых уплотнений, используемый в проточной части многоступенчатых турбин. Этот тип уплотнений, как и все концевые уплотнения, помогает в уменьшении проблемы, связанной с потерями от утечек рабочего тела.*
Abstract: *This article discusses one type of end seal, used in the flow part of multi-stage turbines and helping to reduce the problem associated with losses from leakage of the working fluid.*
Ключевые слова: *надежность, уплотнения, протечки пара, расход пара, всасывание воздуха, ступенчатые, прямоточные.*
Key words: *reliability, seals, fluid leaks, steam consumption, air suction, stepped, straight-through.*

Введение

Надежность функционирования турбин на теплоэлектростанциях зависит от множества различных факторов, которые могут оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на их работу. Одним из немаловажных аспектов, оказывающих непосредственное воздействие на общую надежность действия турбины, можно выделить конструктивное выполнение концевых уплотнений. Для минимизации концевых потерь широкое применение в энергетическом производстве получил такой вид уплотнений, как лабиринтовые уплотнения.

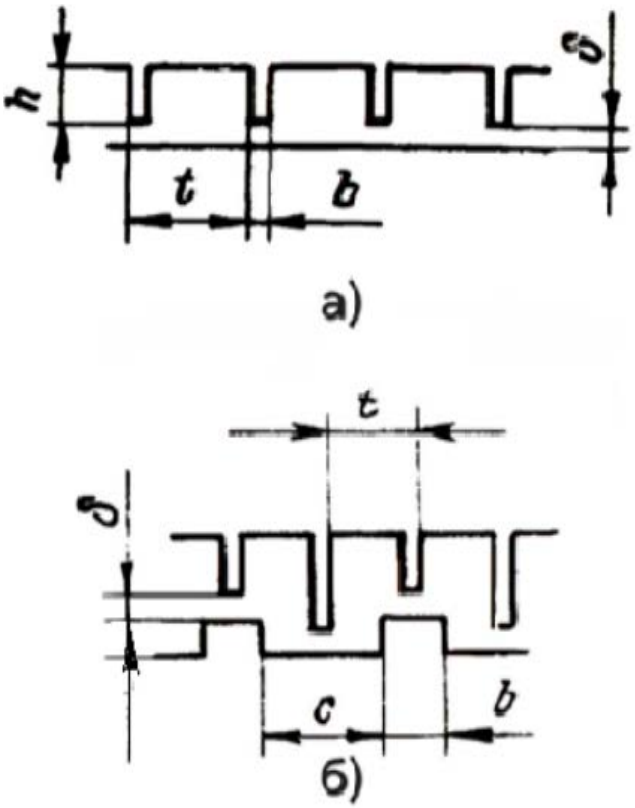
Основная часть

Уплотнения цилиндров паровых или газовых турбин играют ключевую роль в снижении протечек пара наружу из областей с высоким давлением и для недопущения всасывания воздуха в тех частях, где давление ниже атмосферного. Лабиринтовые уплотнения, также известные как бесконтактные, специально разработаны с целью сокращения утечек, возникающих в промежутках между ротором и статором турбины. Данные уплотнения представляют собой цепочку последовательных сужений, которые значительно затрудняют прохождение потока рабочего тела [1].

При изготовлении энергетического оборудования выполняют два основных типа лабиринтовых уплотнений: прямоточные и ступенчатые. Что касается конструкции ступенчатых уплотнений, то там используются гребни (они располагаются на корпусе) с острыми кромками, которые формируют щели. На

роторе в этом случае предусмотрены сообразные выступы и углубления, которые в объединении с гребнями создают дополнительные сужения. В отличие от ступенчатых, прямоточные уплотнения не имеют углублений и выступов на роторе.

Для избежания локального перегрева ротора и его различного рода деформаций при взаимодействии с лабиринтовым уплотнением, гребни наиболее часто размещаются на роторе, а выступы и впадины – на деталях статора. Такое конструктивное решение позволяет в лучшей степени управлять тепловыми нагрузками и, тем самым, обеспечивает наиболее устойчивую организацию работы любой турбоустановки.



h – высота гребня, t – шаг гребня, b – ширина выступа,
δ – радиальный зазор, c – осевой разбег
Рисунок 1 – Схемы лабиринтовых уплотнений: а) прямоточного типа,
б) ступенчатого типа [2]

Среди основных преимуществ лабиринтовых уплотнений можно выделить несколько важных пунктов:

- надежность, компактность, а также простота в изготовлении и эксплуатации, так как уплотнения легко интегрируются в систему и их установка требует минимальных затрат времени и ресурсов;
- детали уплотнений имеют высокий уровень износостойкости. Это происходит благодаря тому, что между вращающимися элементами осутствует механический контакт, тем самым детали демонстрируют высокий уровень устойчивости. Это позволяет значительно сократить частоту технического обслуживания и продлить срок службы оборудования:

- улучшение плавности работы турбины, что приводит к снижению вибрационных нагрузок и увеличению общей работоспособности системы;
- обеспечение стабильной работы турбины в различных режимах (при изменении давления и температуры);
- адаптивность лабиринтовых уплотнений, так как они могут быть настроены под специфические условия работы, что делает их универсальным решением для широкого спектра промышленных приложений, включая не только энергетическую, но и нефтегазовую и химическую отрасли.

Принцип функционирования уплотнений в паровых и газовых турбоагрегатах заключается в многократном дросселировании, выполняющемуся через ряд элементов, расположенных поочередно друг за другом и образующих зазоры. Эти элементы и представляют собой каналы (щели, для прохождения пара), котрые формируются за счет наличия гребней в поверхности ротора. В промежутках между гребнями возникают вихревые камеры. В то время, когда пар проходит под гребнем в образованной щели, его потенциальная энергия переходит в кинетическую. Затем вихревые камеры, которые возникают непосредственно между гребнями, служат местом, где кинетическая энергия потока замедляется и пребразуется в тепловую энергию. В результате всего этого, по мере продвижения пара от камеры к другой камере, наблюдается снижение давления, однако важно отметить, что энтальпия пара постоянна на протяжении всех камер уплотнения, поскольку тепло от пара не выводится наружу через уплотнение [3].

Весь упомянутый процесс течения пара в ступенчатом уплотнении более наглядно можно проиллюстрировать с помощью h, s-диаграммы (рис. 2).

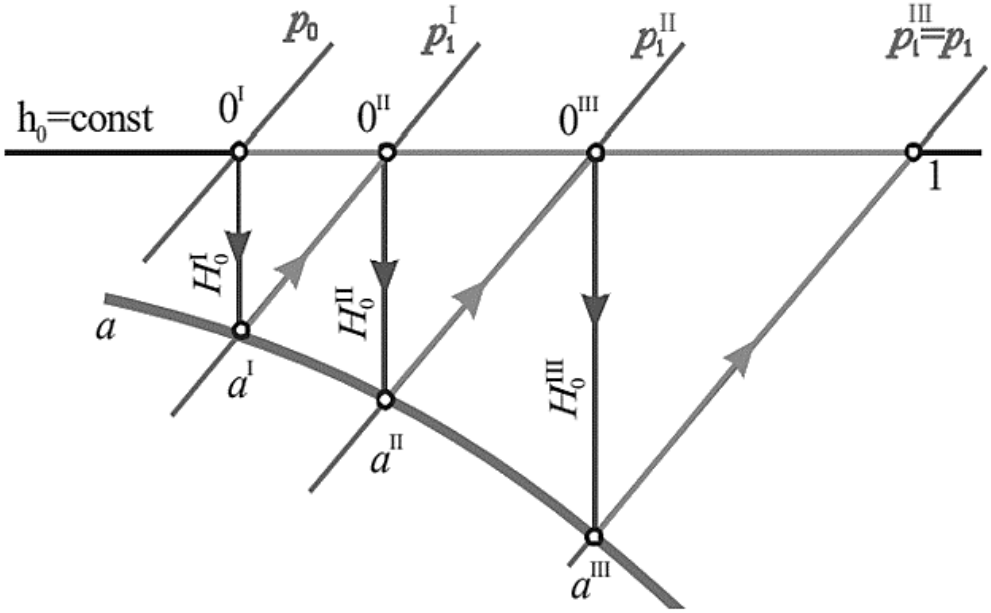
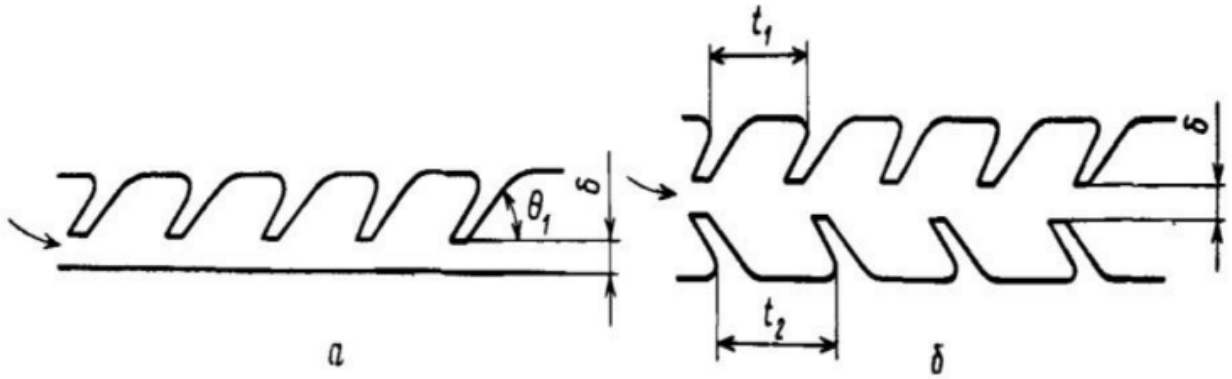


Рисунок 2 – Процесс изменения состояния пара в уплотнении ступенчатого типа в h,s-диаграмме [1]

При рассмотрении изображения процесса нужно заметить, что состояние пара перед щелью отмесаются точками o^I, o^{II}, o^{III}, а точки, где отображается состояние пара в щелях обозначены соответственно как a^I, a^{II}, a^{III}. Эта линия состояния пара, образованная последними точками, носит название – линия Фанно. Изобарное торможение потока, где происходит процесс преобразования из одного вида энергии в другой (переход кинетической энергии в тепловую) отображается на отрезках $a^I o^{II}$, $a^{II} o^{III}$, $a^{III}1$. Давления в процессе расширения обозначаются как $p_0, p_1^I, p_1^{II}, p_1^{III}=p_1$, а теплоперепады соответственно H_0^I, H_0^{II}, H_0^{III}.

В случае применения в конструкции турбин прямоточных уплотнений стоит отметить, что поток пара не останавливается полностью между гребнями. Это обстоятельство приводит к тому, что кинетическая энергия струи из предыдущей щели лишь частично преобразуется в тепловую энергию. Оставшаяся часть энергии также тратится для увеличесния скорости потока в следующей щели. Из этого можно сделать вывод, что расход пара через лабиринтовые прямоточные уплотнения будет выше, чем если бы были использованы в таких же условиях ступенчатые уплотнения.

Это различие в расходе обусловлено тем, что в ступенчатых уплотнениях происходит более эффективное преобразование энергии за счет полной остановки потока между гребнями, что способствует требуемому уменьшению утечек. В свою очередь, прямоточные уплотнения могут быть менее эффективными с точки зрения управления утечками, но этот тип уплотнений может быть полезен в определенных условиях эксплуатации. Для того, чтобы протечки в уплотнениях прямоточного типа стали значительно меньше, на практике применяется наклон гребней навстречу потоку под углом θ = 45°. Также гребни могут располагаться не только в одну сторону, но также и в двухстороннем порядке (рис. 3).



а — одностороннее расположение гребней; *б* — двустороннее расположение гребней с различными шагами *t* (коническое)

Рисунок 3 – Прямоточные уплотнения с наклонными гребнями [2]

На утечку рабочего тела в уплотнениях с наклонными гребнями не влияет кольцевое или винтовое исполнение гребней, но стоит отметить, что отклонение от обычной прямой формы гребней не помогает поддержанию в использовании

исходной величины зазора и исходной конфигурации гребней из-за возможных задеваний.

Учитывая все эти факты, при весьма значительных температурных удлинениях ротора относительно статора в области уплотнения необходимо отказаться от использования ступенчатых уплотнений. Это связано с тем, что при таких удлинениях расстояние между гребнями уплотнений становится слишком большим. Поэтому вместо этого рекомендуется использовать более компактные упрощенные в конструкции уплотнения прямоточного исполения [3].

Заключение

Таким образом, лабиринтовые уплотнения являются важным компонентом паротурбинных установок, обеспечивая их стабильную и эффективную работу. Данные уплотнения – это действенное решение, чтобы снизить потери и повысить производительность вращающихся механизмов. Благодаря своей уникальной конструкции и способности функционировать в различных условиях, они способствуют продлению срока службы турбин и снижению эксплуатационных затрат. Также ведутся новые разработки новых материалов и технологий для создания более эффективных лабиринтовых уплотнений, способных работать в более экстремальных условиях сверхвысоких температур и давлений, характерных для современных энергоблоков.

Литература

1. Турбины тепловых и атомных электрических станций: учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / А.Г. Костюк [и др.]; под ред. А.Г. Костюка, В.В. Фролова. – М: Издательство МЭИ, 2001. – 488 с.

2. Уплотнения и уплотнительная техника: справочник / А.А. Кондаков [и др.]; под ред. А.А. Кондакова, А.И. Голубева. – М: Машиностроение, 1986. – 464 с.

3. Турбины тепловых и атомных электрических станций: учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / А.Г. Костюк [и др.]; под ред. А.Г. Костюка, В.В. Фролова, А.Е. Булкина. – М: Издательство МЭИ, 2016. –557 с.

УДК 628.385

БИОГАЗ КАК АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ВИД ТОПЛИВА
BIOGAS AS AN ALTERNATIVE TYPE OF FUEL

А.Н. Медведева
Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Medvedeva
Supervisor – V. Kravchenko, Candidate of Economic Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье рассматривается перспектива получения биогаза путем переработки органических отходов и его использование в качестве альтернативного вида топлива.*
Abstract: *This article considers the prospect of biogas production by processing organic waste and its use as an alternative fuel.*
Ключевые слова: *альтернативное топливо, биогаз, анаэробный процесс, ферментер.*
Keywords: *alternative fuel, biogas, anaerobic process, fermenter.*

Введение

В настоящее время мировые ресурсы истощаются и способствуют изменению климата. Поиск альтернативных видов источников энергии стал актуальной проблемой. В последние годы их развитие приобрело значительный импульс: уже сегодня широко распространено использование солнечной энергии, энергии ветра, энергии потоков рек, однако уже стоит вопрос о проблеме утилизации солнечных панелей. Одним из перспективных видов топлива для получения энергии является биотопливо, получаемое из органических веществ, растений и водорослей, сельскохозяйственных отходов, бытовых отходов (rdf топливо), которое предлагает более чистую и устойчивую альтернативу традиционным видам ископаемого топлива.

Предприятия тяжелой промышленности, а также энергетика наносят серьезный вред окружающей среде, поэтому ныне актуальными вопросами экологии являются вопросы переработки CO и CO_2, уменьшение количества парниковых газов, а следовательно, и снижение парникового эффекта, уменьшение количества промышленных отходов и безопасная их переработка, поиск замены для традиционного топлива с целью уменьшить потребление основных природных ископаемых.

Основная часть

Биогаз по способу получения и «происхождения» можно разделить на: сельскохозяйственный, биогаз с очистных сооружений, свалочный и промышленный биогаз. Отличаются они не только способом получения, но также и своим составом.

Свалочный газ естественным образом образуется на свалках [3]. Одним из главных методов утилизации твердых бытовых отходов по всему миру остается их захоронение в приповерхностной геологической среде. В таких условиях

отходы активно разлагаются, что приводит к образованию свалочного газа, или биогаза. Он включает в себя не только парниковые газы, такие как метан и углекислый газ, но и токсичные вещества, такие как оксид углерода, оксиды азота, сероводород и диоксид серы. Сжигание отходов также высвобождает канцерогенные соединения, такие как бензол и бензапирен. Попадание свалочных газов в воздух негативно сказывается на окружающей среде как локально, так и глобально.

При анаэробном разложении органических отходов образуется большое количество метана, составляющего более 20 % от всего объёма, ежегодно попадающего в атмосферу. С одной тонны твердых бытовых отходов (ТБО) получается около 200 м³ биогаза, который в первые 15-20 лет выделяется в объеме до 7,5 м³ в год, после чего активность снижается. Биогаз, считающийся одной из причин возгораний на полигонах, также вредит местной флоре, вытесняя кислород из почвы. Для устранения негативного воздействия необходимо сокращать выбросы биогаза в атмосферу. Снижение уровня загрязнения требует более разумного использования ресурсов, включая переработку твердых бытовых отходов. На хорошо управляемых участках этот газ отсасывается через систему трубопроводов и сжигается, и довольно часто он используется для выработки электроэнергии. Но для этого прежде всего биогаз очищают от примесей, таких как H_2S и силоксаны, затем сжимают и направляют в газовые турбины для использования в качестве топлива.

Согласно простому принципу, один миллион тонн захороненных твердых бытовых отходов может за двадцать лет произвести свалочный газ, достаточный для питания газового двигателя мощностью 1 МВт.

Принцип получения свалочного биогаза, следующий (рис. 1): в теле полигона устанавливают перфорированные трубы, которые связываются системой трубопроводов. Далее с помощью воздуходувки газ вытягивают с полигона, затем сжимают, сушат и подают в двигатель, работающий на свалочном газе. Электричество, получаемое от станции, работающей на таком биогазе, обычно подается в теплосеть. В большинстве случаев, поскольку нет спроса на выделяемое тепло, тепловую энергию можно преобразовать в дополнительное электричество [1].

Органические вещества, содержащиеся в сточных водах, также можно использовать для производства биогаза. Генерация биогаза происходит в метантенках в ходе разложения осадков сточных вод, полученных на очистных сооружениях. Обычно процесс очистки сточных вод разделен на два этапа: механический и биологический. Сначала сточные воды проходят через решетки, песколовки и первичные отстойники, после чего направляются на биологическую очистку в аэротенки. Оттуда смесь сточных вод и активного ила перемещается во вторичные отстойники. Далее образующийся в первичных отстойниках осадок и избыточный ил из вторичных отстойников поступают в метантенки. В этих них происходит разложение органических веществ под воздействием анаэробных микроорганизмов. Благодаря этому процессу происходит образование углекислого газа и метана. Полученный биогаз, согласно существующей системе, собирается в газгольдере, откуда затем

поступает в котельную. Помимо производства возобновляемой энергии, биогазовая установка также делает процесс очистки сточных вод более эффективным, снижая требования для дальнейшей очистки.

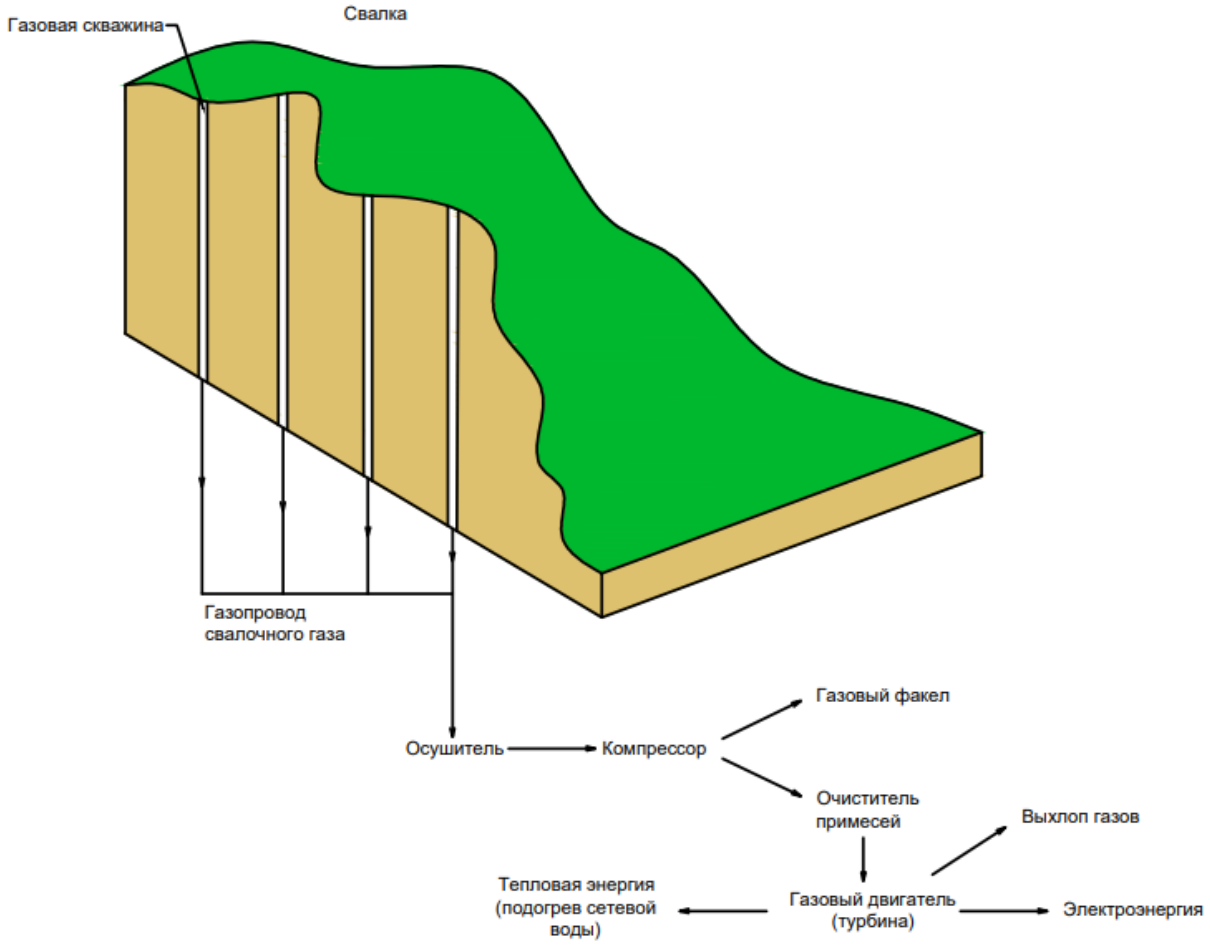


Рисунок 1 – Схема выработки и использования свалочного биогаза [1]

Пищевая промышленность может использовать отходы своего процесса производства для получения энергии в целях экономии. Этот процесс приносит пользу компании-владельцу биогазовой установки, поскольку производство может экономить на затратах на электроэнергию, вырабатывая свою собственную. Кроме того, завод может перерабатывать отходы в энергию, избегая расходы на транспортировку и утилизацию отходов. Эти факторы положительно влияют на энергоэффективность, снижение производственных издержек, а также за счет передовой технологии повышают конкурентоспособность предприятия.

Самым оптимальным вариантом получения биогаза является переработка сельскохозяйственных отходов, в особенности для стран с преобладающей аграрной промышленностью. Сельскохозяйственный биогаз формируется в результате ферментации навоза, а также других отходов, таких как остатки животных, растительности и пищевых продуктов. Процесс его образования не является чем-то новым в природе, поскольку биогаз образуется в анаэробных условиях, например, в болотах и трясинах, а также в пищеварительном тракте животных во время усвоения ими корма. Когда органические вещества

накапливаются без доступа кислорода, начинают действовать бактерии, которые производят метан (палочки, кокки, микоплазмы, спирали, спирохеты, и нити бактерий). При их воздействии запускается механизм образования газа.

Биогаз – это побочный продукт деятельности бактерий, который возникает при расщеплении ими органических веществ.

Начальным этапом процесса разложения является гидролиз. Микроорганизмы выделяют внеклеточные ферменты, которые влияют на разложение органических веществ, включая клетчатку, липазу, амилазу и протеазу. В процессе разложения при помощи ферментов происходит преобразование сложных высокомолекулярных органических веществ (белков, углеводов, жиров и целлюлозы) в более простые соединения — моносахариды, аминокислоты, жирные кислоты и воду.

Вторым этапом разложения является работа кислотопродуцирующих бактерий. В результате него в среде образуются первичные продукты брожения – преимущественно карбоновые кислоты, такие как метановая (муравьиная) кислота ($HCOOH$), этановая (уксусная) кислота (CH_3COOH), бутановая (масляная) кислота (C_3H_7COOH), пропановая (пропионовая) кислота (CH_3CH_2COOH)), низкомолекулярные спирты, такие как этанол (C_2H_5OH) и некоторые газы: углекислый газ (CO_2), сероводород (H_2S), аммиак (NH_3), водород H_2. Исходные вещества для получение непосредственно метана (уксусную кислоту, водород и углекислый газ) производят бактерии уксусной кислоты. Эти элементы являются источником пищи для метан-формирующих бактерий, которые преобразуют органические кислоты в биогаз.

Последняя ступень сбраживания представляет собой разложение уксусной кислоты на метан, углекислый газ и воду (1):

$$CH_3COOH \Rightarrow CH_4 + CO_2 + H_2O \quad (1)$$

Также в дальнейшем происходит и дополнительное образование метана и воды из углекислого газа (CO_2) и водорода (H_2) (2):

$$CO_2 + 4H_2 \Rightarrow CH_4 + 2\,H_2O \quad (2)$$

Данные процессы происходят одновременно, более того, бактерии, образующие в конечном итоге метан, более прихотливы к условиям существования и протекания процессов, чем бактерии, образующие кислоты. Им необходима анаэробная среда и более длительный промежуток времени для воспроизводства. Процесс разложения органических веществ на отдельные составляющие их дальнейшее их преобразование в метан возможен только во влажной среде, поскольку бактерии способны перерабатывать только растворенные вещества. Кроме того, для протекания данной реакции необходима определенные температурные условия [4]. Существует 3 температурных режима, благоприятных для разложения и при которых возникают локальные максимумы интенсивности брожения. Объем биогаза, выделяемого в единицу времени чаще всего служит показателем интенсивности протекания этого процесса. Первый температурный режим, связанный с анаэробной ферментацией, называется психрофильным, он происходит в

диапазоне температур 15-25 °С. Второй диапазон температур характеризует мезофильный режим, при таком режиме брожение происходит при температурах 30-40 °С. Наконец, третий температурный режим известен как термофильный. Он характеризуется брожением, которое происходит в диапазоне температур 50-56 °С. Образующийся в результате биогаз имеет следующий состав, представленный в таблице 1 [2].

Таблица 1 – Химический состав биогаза, полученного сельскохозяйственным путем

Вещество	**Содержание, %**
Метан (NH_4)	40-75
Углекислый газ (CO_2)	25-55
Водяной пар (H_2O)	0-10
Азот (N_2)	<5
Кислород (O_2)	<2
Водород (H_2)	<1
Сероводород (H_2S)	<2
Аммиак (NH_4)	<1
Водород (H_2)	<1

Наиболее распространенным получением биогаза в сельскохозяйственной промышленности является его получение за счет ферментации навозной жижи. Существует несколько путей его производства.

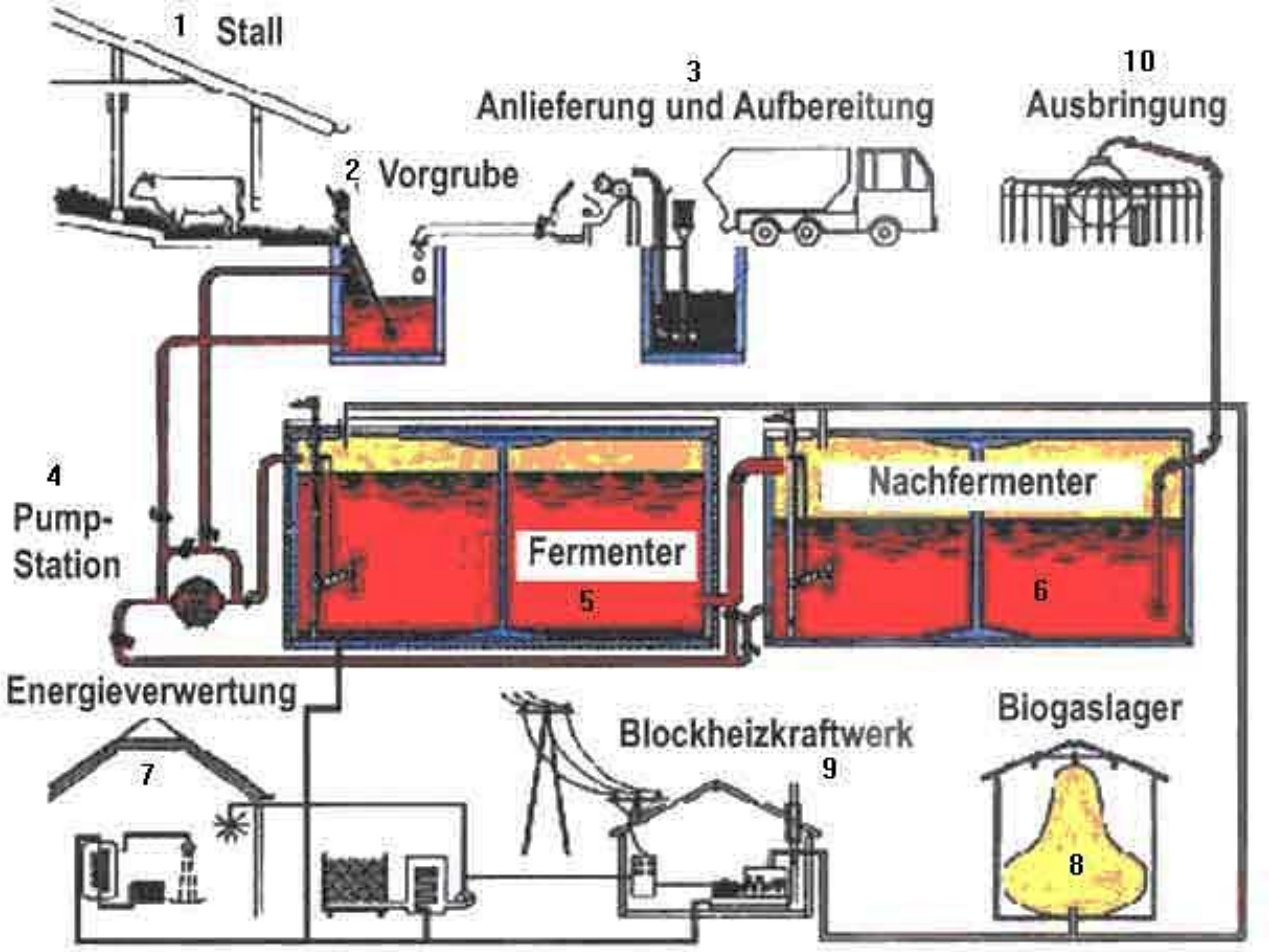
Первый вид установки для получения биогаза – это накопительная поточная система на базе герметичного контейнера для навозной жижи. Такая установка представляет собой емкость для навозной жижи, выполненную из бетона с помощью опалубки, расширенную до биогазовой установки. Складирование и ферментация осуществляются в одной емкости. Загрузка осуществляется непрерывно. Преимущественным является относительно малые размеры установки. В последнее время в эту систему добавляют также биогазовый накопитель.

Также существует накопительная поточная система с конечным ферментером. Данный тип установок является широко распространенным. Основной и конечный ферментеры образуют единое целое и могут быть обозначены как закрытая система.

В данной системе (рисунок 2) ферментер сооружается (как и в случае с герметичным хранилищем навозной жижи) как правило из бетона с помощью опалубки. Однако все чаще в качестве ферментера используются стальные емкости. Конечный ферментер также может быть выполнен из бетона, но может также изготовляться из стали.

Третий вид установки – поточный ферментер с втулками, более известный как трубочный ферментер. Хотя данное оборудование также оснащено специальной системой перемешивания, добиться однородной смеси не удается, и субстрат вынужден проходить через ряд втулок. Основным элементом трубочного ферментера является размещенный по оси перемешивающий лебедочный модуль. Такое размещение модуля формирует определенное направление для движения субстрата. Количество оборотов перемешивающего

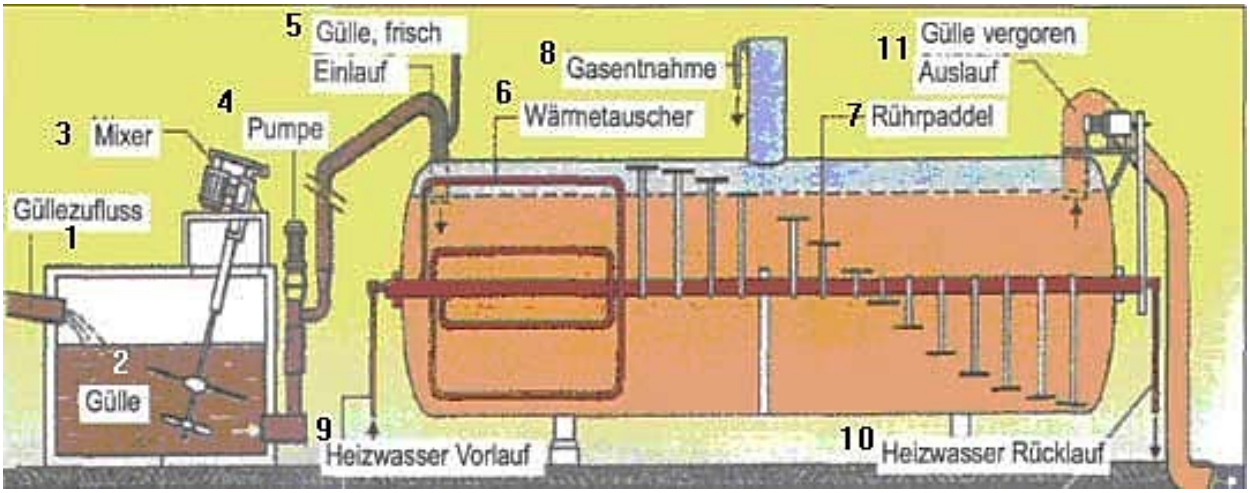
устройства варьируется, поэтому это значение получают исходя из средней скорости: от одного до четырех оборотов в минуту.



1 – хлев; 2 – приямок; 3 – подвоз и подготовка; 4 – сосная станция; 5 – основной ферментер; 6 – конечный ферментер; 7 – преобразователь энергии; 8 – хранилище биогаза; 9 – блочная тепловая установка; 10 – вывоз

Рисунок 2 – Накопительная поточная система с конечным ферментером [2]

Конструкция трубчатого ферментера представлена на рисунке 3: он включает в себя горизонтальный стальной резервуар вместе с проточным блоком и приямком для навозной жижи, в котором также может размещаться твердый навоз. Крайне важно, чтобы перекладины мешалки были расположены таким образом, чтобы они охватывали не менее 95% объема камеры ферментации. В зависимости от различных условий размещение этих перекладин может отличаться. Модуль перемешивания играет важную роль в создании компактных вихрей потока, которые дополнительно усиливаются точно установленными интервалами запуска, обычно устанавливаемыми каждые 15 или 30 минут. Такое время способствует эффективному удалению слоев как с поверхности, так и в осадке. Кроме того, система нагрева проточного ферментера с втулками может быть напрямую интегрирована в механизм перемешивания.



1 – подвод навозной жижи; 2 – навозная жижа; 3 – миксер; 4 – насос;5 – подвод свежей навозной жижи; 6 – теплообменник; 7 – трубочная мешалка; 8 – забор газа; 9 – подвод горячей воды; 10 – отвод горячей воды; 11 – отток перебродившей навозной жижи

Рисунок 3 – Поточный ферментер с втулками [2]

Заключение

Если рассмотреть преимущества применения и оценить общий потенциал использования биогазовых установок, можно сделать вывод, что использование биогаза представляет собой отличную альтернативу традиционным видам топлива: газу, нефти и местным видам топлива и так далее. Биогаз – один из немногих типов возобновляемого топлива, который способен обеспечивать электроэнергию круглосуточно и удовлетворять теплофикационные потребности промышленных процессов. Однако применение и получение биогаза также имеют свои недостатки.

Как было упомянуто ранее, в состав биогаза входят также токсичные вещества, которые могут разрушить любой поршневой двигатель, использующий газ. Поэтому перед использованием в промышленных целях или в качестве топлива для турбин биогаз должен пройти определенный процесс очистки.

Поскольку производство биогаза является естественным, а не искусственным процессом, то его можно контролировать только относительно медленно.

Биогаз нередко остается вне внимания в обсуждениях о возобновляемых источниках энергии несмотря на то, что он обладает значительным потенциалом, а его преимущества не ограничиваются только генерацией электроэнергии. В ряде случаев местное производство биогаза может снизить уровень загрязнения почвы и водоемов, а также способствовать переработке ценных удобрений, таких как фосфаты.

Ввиду поиска замены ископаемому топливу и перехода к более чистым источникам энергии в последние годы количество биогазовых установок в Европе постоянно растет. Согласно последним данным Европейской ассоциации биогаза, в Европе работают 17 240 установок по производству биогаза и 367 установок по производству биометана общей установленной мощностью 8 293

МВт. Это примерно соответствует мощностям восьми средних атомных электростанций.

Литература

1. Производство электроэнергии из свалочного газа [Электронный ресурс] / Производство электроэнергии из свалочного газа | Энергетические решения | Дженбахер. – Режим доступа: https://www.jenbacher.com/en/energy-solutions/energy-sources/landfill-gas /. – Дата доступа: 12.10.2024.

2. Энергия биомассы. Проект ПРООН/ГЭФ [Электронный ресурс] / Энергия биомассы. Проект ПРООН/ГЭФ. – Режим доступа: https://energoeffect.gov.by/bioenergy/htdocs/mejdu_1.htm /. – Дата доступа: 12.10.2024.

3. Энергетический потенциал свалочного газа на полигонах ТБО [Электронный ресурс] / Энергетический потенциал свалочного газа на полигонах ТБ. – Режим доступа: https://belfes.ru/Library/TKO/Vladivostok.pdf – Дата доступа: 11.10.2024.

4. Кучур, С.С. Биоэнергетика: учебно-методическое пособие / С.С. Кучур, С.П. Кундас. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 64 с.

УДК 628.1.03

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ НА ЭФФЕКТИВНУЮ РАБОТУ ТУРБИН
INFLUENCE OF WATER QUALITY ON TURBINE PERFORMANCE

А.С. Лукашук, Д.И. Мицкевич
Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Lukashuk, D. Mitskevich
Supervisor – V. Romanko, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Целью данной статьи является определение влияния качества воды на эффективную работу турбин.*
Abstract: *The purpose of this paper is to determine the impact of water quality on the efficient operation of turbines.*
Ключевые слова: *гидравлическая турбина, качество воды, примеси, водоочистка.*
Keywords: *hydraulic turbine, water quality, impurities, water purification.*

Введение

Гидравлическая турбина, или гидротурбина – это устройство, которое выполняет превращение потенциальной энергии воды в механическую работу. Используемая жидкость в таких системах – вода. Недостаток данных турбин в появлении кавитации. Проявляется она при сильных напорах вод. Существует множество типов турбин. При выборе нужной учитывают определенные факторы и требования к работе турбины [1].

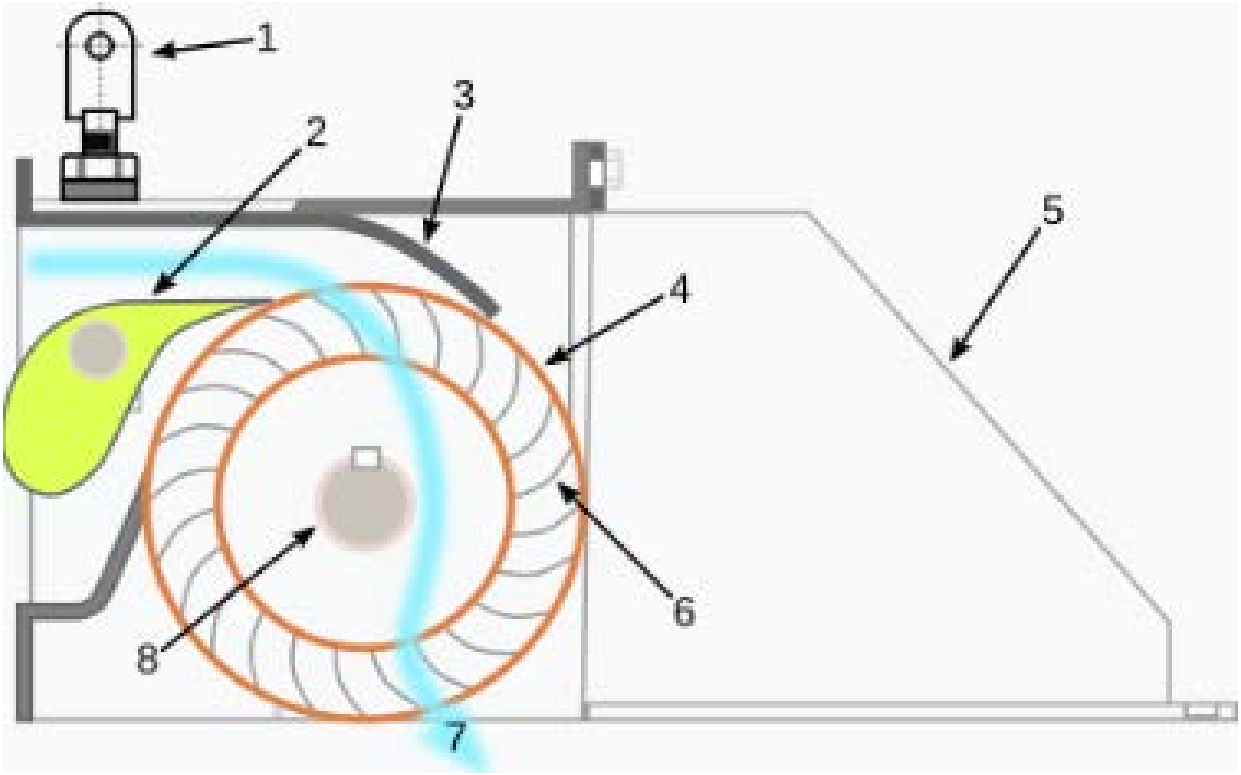
По принципу действия есть турбины активные и реактивные. Они в свою очередь подразделяются на турбины более узкого типа использования.

Основными применяемыми в мире типами гидротурбин являются [2]:

- пропеллерные;
- поворотно-лопастные (Каплан);
- радиально-осевые (Френсис);
- ковшовые (Пельтон);
- поперечного потока (турбина Банки-Митчелла или турбина Оссбергера).

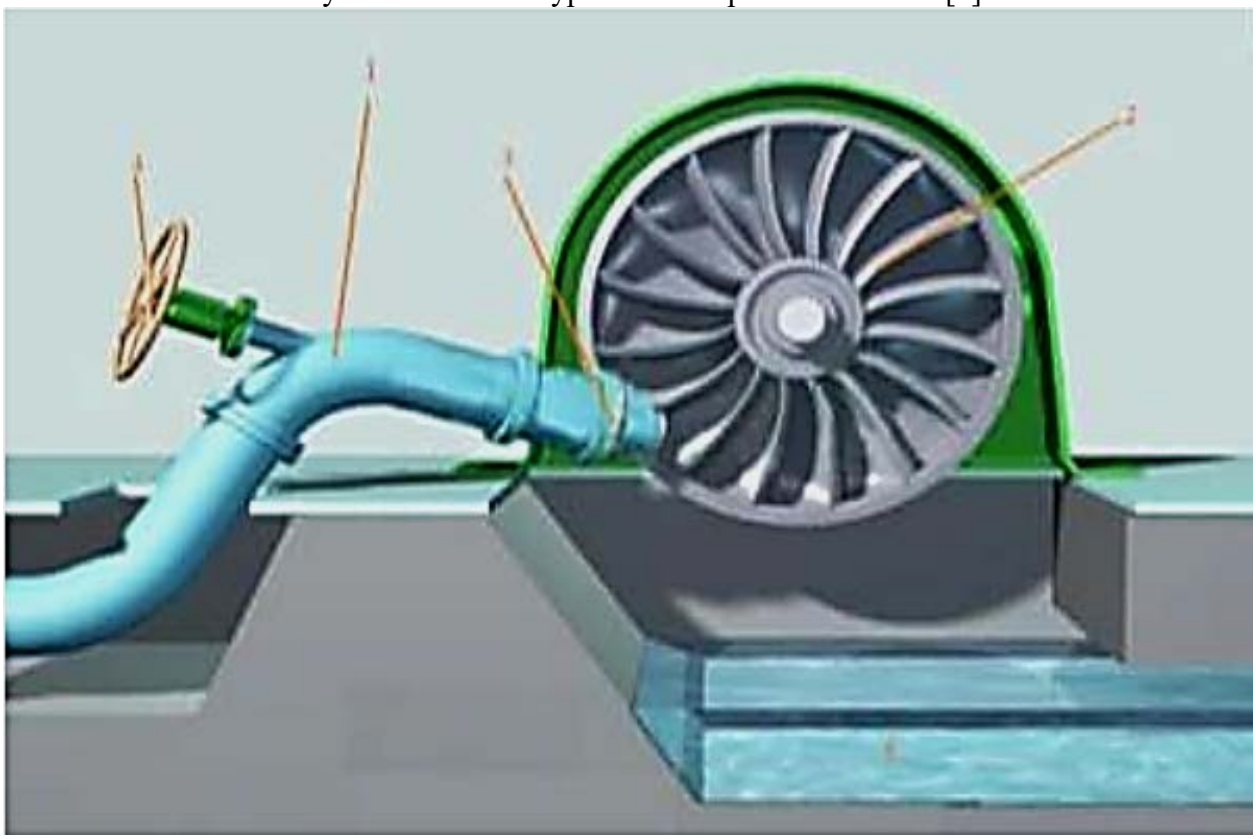
Выбор типа гидравлической турбины для гидроэлектростанции зависит от показателей напора и расхода воды. Гидротурбины пропеллерного и поворотно-лопастного типа применяются, как правило при малых напорах и больших расходах. Радиально-осевые гидротурбины используют на средних напорах и при средних расходах. Ковшовые гидротурбины применяются при малых расходах и больших напорах, как правило, в горных районах.

На рисунках 1-3 приведены: схема турбины поперечного потока; турбины Турго и Пелтона.



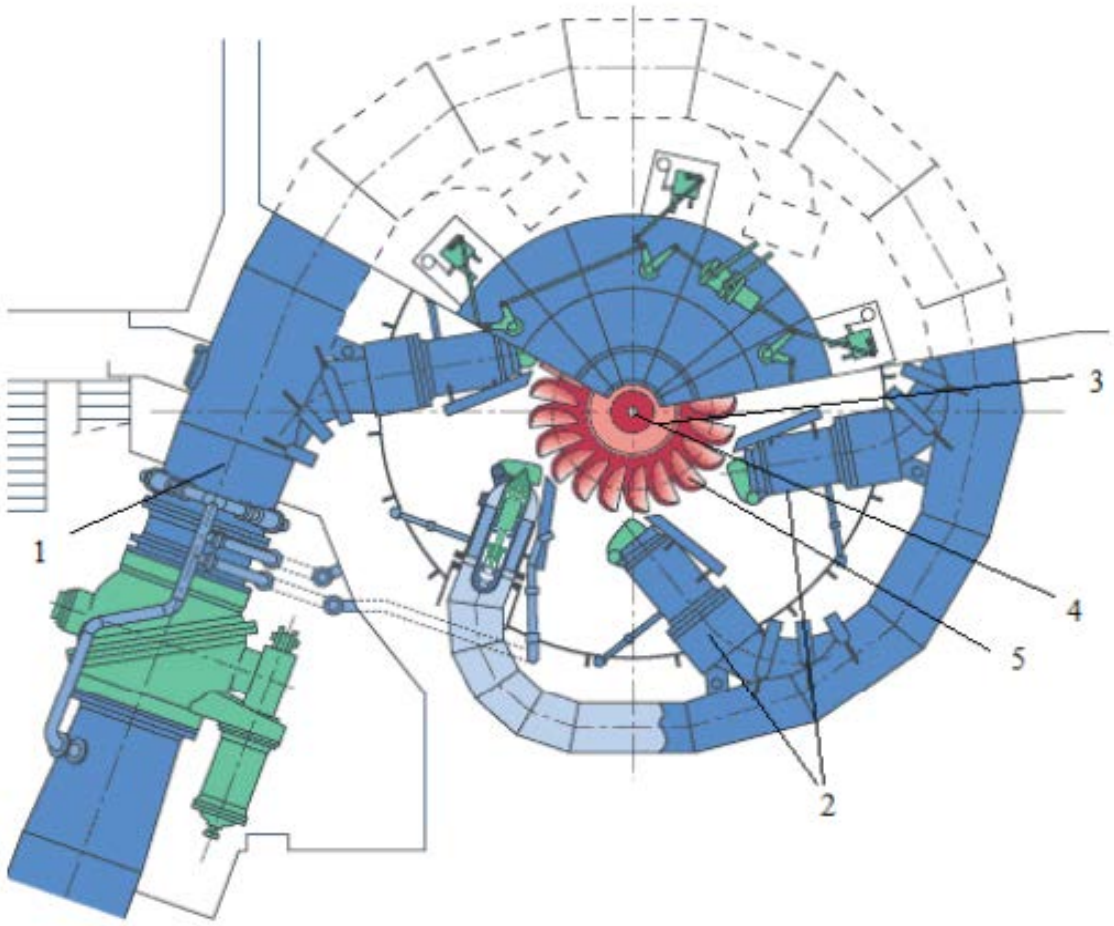
1 – воздушно-выпускной клапан; 2 – узел контроля подачи потока воды; 3 – корпус турбины; 4 – ротор; 5 – съёмная задняя крышка корпуса; 6 – лопасти; 7 – поток воды; 8 – вал

Рисунок 1 – Схема турбины поперечного потока [2]



1 – водопроводная турбина; 2 – рабочее колесо; 3 – сопло; 4 – регулятор потока (вентиль); 5 – пруд

Рисунок 2 – Турбина Турго [2]



1 – подводящий трубопровод; 2 – сопло; 3 – рабочее колесо; 4 – вал; 5 – рабочие лопасти
Рисунок 3 – Турбина Пелтона [2]

Основная часть

Одной из основополагающих причин проблем с гидротурбинами является загрязнение воды. Вода может содержать примеси, такие как грязь, песок, ржавчина и другие механические частицы, просачивающиеся в систему, тем самым провоцируя повреждение ее компонентов. Это оказывает неблагоприятное влияние на надежность и долговечность оборудования, понижает его производительность и эффективность.

Качество воды может оказывать химическое воздействие на материалы, применяемые в гидротурбинах. Показатель pH воды может снизить совместимость с материалами устройства, высокий pH воды приводит к коррозии и отложениям. Коррозия является серьезной проблемой, приводящей к разрушению металлических компонентов и гипотетическим утечкам. Кроме того, загрязняющие вещества, такие как песок и ржавчина, могут засорять фильтры, увеличивая вероятность поломок. Также необходимо учитывать температуру воды, так как высокие температуры могут привести к разрушению уплотнений.

Чтобы предотвратить разные проблемы и гарантировать эффективную работу гидротурбин, следует акцентировать внимание на качество воды, используемой для работы. А именно поставить системы фильтрации и очистки,

которые минимизируют механические загрязнения и помогут регулировать химические параметры воды. Систематические осмотры и инженерное обслуживание турбин содействуют своевременному обнаружению и устранению возможных неисправностей, что увеличивает надежность всего оборудования.

Существует несколько методов очистки воды. Одним из наиболее распространенных считается фильтрация, которая может быть механической или химической. Механические фильтры предназначены для задерживания механических частиц всевозможного размера. Они могут быть сетчатыми (с помощью специальных сеток или сит из нержавеющей стали), решетчатыми (с отверстиями соответственного размера) или с картриджами (с пористой мембраной). Преимуществом механических фильтром является то, что они не требуют использования химических реагентов и легко устанавливаются и обслуживаются. Недостатком же является их ограниченность, то есть такие фильтры не могут удалять химические загрязнения, которые могут присутствовать в воде. В то время как химические фильтры удаляют органические и неорганические вещества. Преимуществом таких фильтров является наличие широкого спектра действия: химические фильтры способны удалять разные типы загрязнений, в том числе и химические вещества. Они могут содержать специальные химические реагенты, которые связывают и удаляют определенные вещества из воды. Но и у этого типа фильтров есть свой недостаток, а именно сложность установки и обслуживания. Еще одним методом очистки является размещение отстойников для удаления песка и нерастворимых примесей. Также применяется обратный осмос, который эффективно очищает воду, удаляя соли и минералы через полупроницаемую мембрану.

Заключение

Из всего выше сказанного делаем вывод, что качество воды имеет огромное влияние на эффективность работы гидравлических турбин. Для того чтобы не допустить быстрого износа оборудования и обеспечить надежную работу гидросистем, необходимо следить за качеством воды, внедрять системы фильтрации и регулярно проводить техническое обслуживание турбин.

Литература

1. Влияние качества воды на работу гидравлических систем [Электронный ресурс] / Влияние качества воды на работу гидравлических систем. – Режим доступа: https://psm-st.com/blog/vliyanie-kachestva-vody-na-rabotu-gidravlicheskih-sistem /. – Дата доступа: 30.09.2024.

2. Гидравлическая турбина [Электронный ресурс] / Гидравлическая турбина. – Режим доступа: https://bigenc.ru/c/gidravlicheskaia-turbina-af9d23 /. – Дата доступа: 30.09.2024.

УДК 621.311

ВТОРИЧНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЭЦ
RECYCLING ASH AND SLAG WASTE OF COMBINED HEAT AND POWER PLANTS

В.А. Новикова
Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
V. Novikova
Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье рассмотрено отрицательное влияние отходов, получаемых на ТЭЦ, в ходе сжигания твёрдого топлива, а также возможность повторного их использования в различных отраслях экономики, в том числе в строительстве.*

Abstract: *This article examines the negative impact of waste generated at CHP plants during the combustion of solid fuels, as well as the possibility of their reuse in various sectors of the economy, including construction.*

Ключевые слова: *твердое топливо, токсичность, золошлаковая смесь, промышленная ценность, магнитный концентрат, вторичный уголь, инертная масса, полезные компоненты.*

Key words: *solid fuel, toxicity, ash-slag mixture, industrial value, magnetic concentrate, secondary coal, inert mass, useful components.*

Введение

При работе предприятий по сжиганию твердого топлива образуется много золошлаковых отходов (ЗШО), использование которых в хозяйственных целях весьма ограничено, в том числе из-за их токсичности. Хранение и золы, и шлака отрицательно влияет на экологию и существенно снижает экономичность процесса горения, однако, учитывая важные компоненты этих отходов, можно сделать вывод, что они довольно полезны в различных сферах экономики [1].

Основная часть

Золошлаки и их характеристика.

На ТЭЦ твердое топливо (уголь) подвергается процессу горения при температурах от 1100 до 1600 °С, в ходе которого формируются различные вещества, в зависимости от составляющих используемого топлива. К примеру, органическая составляющая угля сжигается с образованием летучих веществ, а несгоревшая составляющая – твердых остатков, представляющих собой пылевидную золу и кусковой шлак. Объем золы и шлака в топливе занимает практически половину от всего объема угля, поэтому первоначально уголь измельчают и для более эффективного сгорания к нему добавляют небольшое количество мазута. В процессе такого сжигания самые легкие частицы золы смешиваются вместе с дымовыми газами и уносятся в атмосферу. Эти частицы получили название «золы уноса», а их размер варьируется от 5 до 150 микрон.

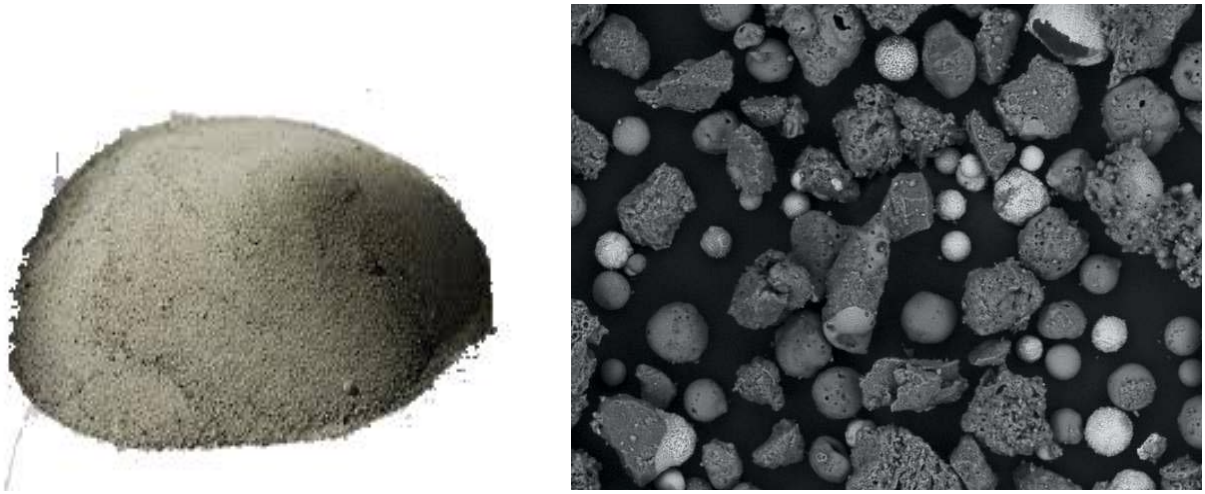


Рисунок 1 – Зола уноса и микрофотография образца микроSil [2]

Улавливание золы уноса осуществляется при помощи золоуловителей, которые поддерживают как мокрое золоулавливание (скрубберы), так и сухое (электрофильтры). Отсеянная зола оседает, образуя более крупные частицы шлака размером от 0,05 до 30 см, которые впоследствии размельчаются и удаляются с помощью воды. Сначала измельченные шлак и зола удаляются по отдельности, а после они объединяются и формируют золошлаковую смесь. Количество золы и шлака в упомянутой смеси зависит от вида котла, типа топлива и режима его сгорания. В среднем, содержание золы может достигать 70-80 % от общего объема смеси, когда содержание шлака – 10-20 %.

Для ТЭЦ, работающих на каменном угле, свойственно высокое содержание оксида серы в составе золы и малое содержание оксидов кремния, железа и магния, по сравнению с ТЭЦ, использующих бурый уголь в качестве топлива. Если говорить про шлаки, то они, наоборот, имеют высокую концентрацию вышеперечисленных оксидов металлов и низкое содержание оксида серы.

Таблица 1 – Примерный химический состав ЗШО на ТЭЦ

Элементы (оксид)	Содержание, %		Элементы (оксид)	Содержание, %	
	Min – Max	Средний показатель		Min-Max	Средний показатель
SiO_2	51-60	54,5	TiO_2	0,5-0,9	0,75
Al_2O_3	16-22	19,4	Na_2O	0,2-0,6	0,34
Fe_2O_3	5-8	6,6	P_2O_5	0,1-0,4	0,24
CaO	3,0-7,3	4,3	MnO	0,1-0,3	0,14
MgO	1,1-2,1	1,64	SO_3	0,09-0,2	0,14
K_2O	0,7-2,2	1,56	и т.п.	5,8-18,8	10,6

Ценные компоненты золошлаков.

В составе ЗШО можно обнаружить довольно полезные составляющие, например, вторичный уголь и инертная масса.

Вторичный уголь получается путем флотации и часто его называют угольным концентратом. Данный компонент обладает высокой теплотворной способностью, из-за чего его также называют «зольным углем». Такой уголь получил широкое применение не только в качестве топлива для сжигания на ТЭЦ, но и для его продажи в форме брикетов.

Инертная масса – это остаточная фракция, которая остается после извлечения из золы полезных компонентов и вредных примесей. Ее объем занимает примерно половину от общей массы золошлака, а химический состав сопоставим с химическим составом исходной золы, но с более низкой концентрацией оксида железа и токсичных веществ [1].

Инертная масса благодаря своим физико-химическим и экологическим свойствам является ценным вторичным сырьем. Она активно используется в производстве строительных материалов, а также в качестве заполнителя для дорог и насыпей в строительстве.

Ещё одним направлением использования инертной массы является сельское хозяйство, где данная фракция применяется в качестве мелиоранта, заменяющего традиционную известковую муку. Она улучшает структуру почвы и делает ее более плодородной.

В настоящее время можно выделить следующие направления использования зольно-шлаковых отходов:

- изготовление строительных материалов;
- изготовление наполнителей;
- применение в дорожном строительстве;
- использование в сельском хозяйстве.

Строительные материалы.

При производстве строительных материалов из ЗШО можно получать кирпич, цемент, блоки, основными составляющими которых являются оксид кальция, диоксид кремния, окиси алюминия и оксид железа. Золошлаки с высоким содержанием кальция характеризуют изготовление цемента, в то время как низкое содержание кальция свойственно для производства бетона.

Одним из наиболее эффективных методов утилизации ЗШО является производство геополимеров. Геополимеры рассматриваются как наиболее экологичная альтернатива традиционным стройматериалам. Однако для оптимизации процесса и улучшения качества материала требуются дополнительные исследования.

Инертные заполнители.

В качестве замены традиционным заполнителям в строительстве может применяться искусственный пористый материал – аглопорит, который формируется путем синтеза песчано-глинистой породы, некоторого алюмосиликатного материала и, собственно, зольно-шлаковых отходов. В сравнении с простым использованием ЗШО как заполнителя, в процессе производства аглопорита происходит спекание при высокой температуре, что приводит к образованию прочного и долговечного материала с уникальной структурой. В результате этого процесса готовый продукт становится более прочным и устойчивым к низким температурам, чем другие материалы подобного типа.



Рисунок 2 – Искусственные пористые заполнители на основе ЗШМ [3]

Современное строительство все чаще обращается к сборному железобетону, стремясь оптимизировать его характеристики. При рассмотрении легкого бетона можно отметить, что такой вид широко используется в дорожном строительстве, а именно: закатывается в цементобетон (слой основания) либо же используется в составе асфальтобетонной фракции (верхний слой). Такие дороги имеют свойство не промерзать и срок службы у них гораздо выше. Если говорить про другой вид бетона – тяжелый – то он хоть и является традиционным материалом в строительстве, но в настоящее время довольно уступает место легкому бетону с применением искусственных пористых заполнителей. Одним из наиболее распространенных таких заполнителей является как раз-таки аглопорит, который обеспечивает низкую плотность и в результате готовые конструкции меньше весят [3].

Ввод в эксплуатацию легких бетонов на основе аглопорита дает значительное снижение нагрузки на фундамент и несущие конструкции здания, что ведет к уменьшению затрат на их возведение. Помимо этого, такие бетоны обладают более низкой теплопроводностью, что приводит к улучшению теплоизоляции здания и существенно снижает расходы на отопление и кондиционирование.

Дорожное строительство.

На сегодняшний день ЗШО ТЭЦ все чаще применяются при построении мостов, эстакад, путепроводов, а также для производства шпал железных дорог. Особо высокий потенциал для использования зольно-шлаковых отходов в

железнодорожном строительстве имеют такие направления, как производство шпал из железобетона и возведение насыпей для ж/д путей [4].

Аналогично железнодорожному строительству, золошлаки могут быть использованы в строительстве взлетно-посадочных полос и объектов аэропортовой инфраструктуры. В данной области используется зола уноса тепловых электростанций на подобии той, которая утилизируется в качестве стройматериала – бетона.

Золошлаковые материалы.

Новосибирская ТЭЦ-3, крупнейший источник энергии в Новосибирске, внедрила инновационный подход к утилизации золы. Пару лет назад стартовала пилотная программа по передаче твердых отходов, в частности, золы, на специализированное предприятие «Спецавтохозяйство». Это стало значительным шагом в решении проблемы утилизации отходов теплоэнергетики и снижении экологической нагрузки на город. Зола, прошедшая тщательную проверку и экологическую экспертизу, получила сертификат, подтверждающий ее статус золошлаковых материалов (ЗШМ). Это означает, что она отвечает всем необходимым требованиям безопасности и может быть использована в различных отраслях промышленности [4].

Значительное количество ЗШМ найдет применение в качестве насыпи для неиспользуемого карьера. Засыпание карьера ЗШМ преследует две основные цели. Во-первых, это значительное сокращение объёма отходов, которые в противном случае были бы захоронены на традиционных золоотвалах, занимающих значительные площади и представляющих угрозу для окружающей среды. Золоотвалы, как правило, требуют постоянного мониторинга и специальных мероприятий по предотвращению внедрения вредных веществ в почву и грунтовые воды. Использование ЗШМ для засыпки карьера позволяет избежать создания новых подобных объектов, практически сводя к нулю негативное воздействие на ландшафт и экосистемы.

Во-вторых, засыпка карьера ЗШМ не допускает возникновение пожаров на существующей свалке. Золошлаковые материалы обладают низкой горючестью и, благодаря своей плотности, эффективно перекрывают доступ кислорода к горючим отходам, а значит существенно снижают риск самовозгорания.

Мелиорант и почвенное удобрение.

Золошлаки также могут иметь хорошее достоинство в применении их в сельском хозяйстве. Как уже говорилось выше, инертная масса, которая является одним из компонентов золошлаков, имеет высокие показатели для ее применения в качестве материала для почвенной стабилизации. При добавлении ЗШО в почву ее гидрофильные свойства заметно увеличиваются, что приводит к повышению эффективности полива и удерживающей способности необходимых питательных веществ. Качество использования золошлаков в с/х проявляется характеристиками почвы, на которой и планируется внедрение зольно-шлаковых отходов [3].

Вторичная руда металлов.

Золошлаковые отходы могут быть использованы в качестве сырья для производства железного концентрата, глинозема и магния за счет извлечения из них металлов.

Одним из более перспективных направлений использования ЗШО является извлечение глинозема. Например, в Китае активно развивается технология по добыче глинозема из ЗШО является одной из наиболее развивающихся. Для производства же глинозема страна активно импортирует бокситы, однако с течением времени такие операции становятся довольно неэкономичны. Поэтому для уменьшения числа импортного глинозема, Китай все больше внедряется в современные технологии по извлечению данного компонента.

Как результат, недавно была обнаружена зола, в которой содержание глинозема в разы превышает обычное его количество, в связи с чем, данный вид золы был включен в список приоритетных материалов промышленного производства Китая. А в существующих реалиях в Китае уже работают свыше 10 зольно-глиноземных заводов, способных производить 5 млн тонн глинозема ежегодно из затраченных 15 млн тонн ЗШО [5].

Заключение

Золошлаковые отходы (ЗШО), возникающие при сжигании твердого топлива на тепловых электростанциях, являются ценным сырьем и обладают множеством важных свойств, которые могут быть эффективно использованы в различных областях экономики. Так, широкое распространение утилизации ЗШО получили такие направления, как использование золошлаков в качестве удобрений почв, обеспечение насыпей карьеров и добыча некоторых полезных веществ, в том числе глинозема. Использование золошлаков же в строительной отрасли также активно развивается и однозначно может привести к положительным экономическим, технологическим и экологическим эффектам.

Литература

1. Комплексная переработка золошлаковых отходов ТЭЦ [Электронный ресурс] / Комплексная переработка золошлаковых отходов ТЭЦ. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnaya-pererabotka-zoloshlakovyh-othodov-tets-rezultaty-laboratornyh-i-polupromyshlennyh-ispytaniy/viewer /. – Дата доступа: 14.02.2009.

2. Жаростойкий бетон [Электронный ресурс] / Жаростойкий бетон в Туле. – Режим доступа: https://www.zavod-7.com/structure/himicheskij-sostav-zoly-unosa.htm /. – Дата доступа: 14.02.2023.

3. Химический состав золы уноса [Электронный ресурс] / Химический состав золы уноса. – Режим доступа: https://tula.prom-gbi.ru/zharostojkij-beton /. – Дата доступа: 03.09.2018.

4. Утилизация золошлаковых отходов: пути решения проблемы [Электронный ресурс] / Утилизация золошлаковых отходов: пути решения проблемы. – Режим доступа: https://dprom.online/chindustry/utilizatsiya-zoloshlakov-puti-resheniya /. – Дата доступа: 28.01.2022.

5. Утилизация золошлаков ТЭС как новая кроссотраслевая задача [Электронный ресурс] / Утилизация золошлаков ТЭС как новая кроссотраслевая задача. – Режим доступа: https://energypolicy.ru/utilizacziya-zoloshlakov-tes-kak-novaya-k/energetika/2020/13/21 /. – Дата доступа: 21.07.2020.

УДК 621.311.214

ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ ШВЕЙЦАРИИ МОЩНОСТЬЮ 900 МВТ
SWITZERLAND'S 900 MW PUMPED STORAGE POWER PLANT

Н.Д. Рудаков, Д.В. Данилович
Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
N. Rudakov, D. Danilovich
Supervisor – S. Kachan, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Приведены основные характеристики гидроаккумулирующей электростанции, введенной в эксплуатацию летом 2022 года в Швейцарии. Показан масштаб проекта и особенности эксплуатации «водяной батареи».*
Abstract: *The main characteristics of the pumped-storage power plant, which was commissioned in the summer of 2022 in Switzerland, are presented. The scale of the project and the operating features of the «water battery» are shown.*
Ключевые слова: *гидроаккумулирующая электростанция, особенности устройства и эксплуатации «водяной батареи».*
Keywords: *pumped storage power plant, features of the design and operation of the «water battery».*

Введение

С лета 2022 года в Швейцарии находится в эксплуатации огромная гидроаккумулирующая электростанция (ГАЭС) – или как ее называют «water battery» – водяная батарея. ГАЭС Nant de Drance мощностью 900 МВт, которая обошлась в 2 млрд евро, и на строительство которой ушло 14 лет, расположена на глубине почти 600 м под землей в Швейцарских Альпах [1].

Основная часть

ГАЭС Nant de Drance была построена между водохранилищами Emosson и Vieux Emosson в Вале, кантоне на юго-западе Швейцарии (рис. 1) [1].

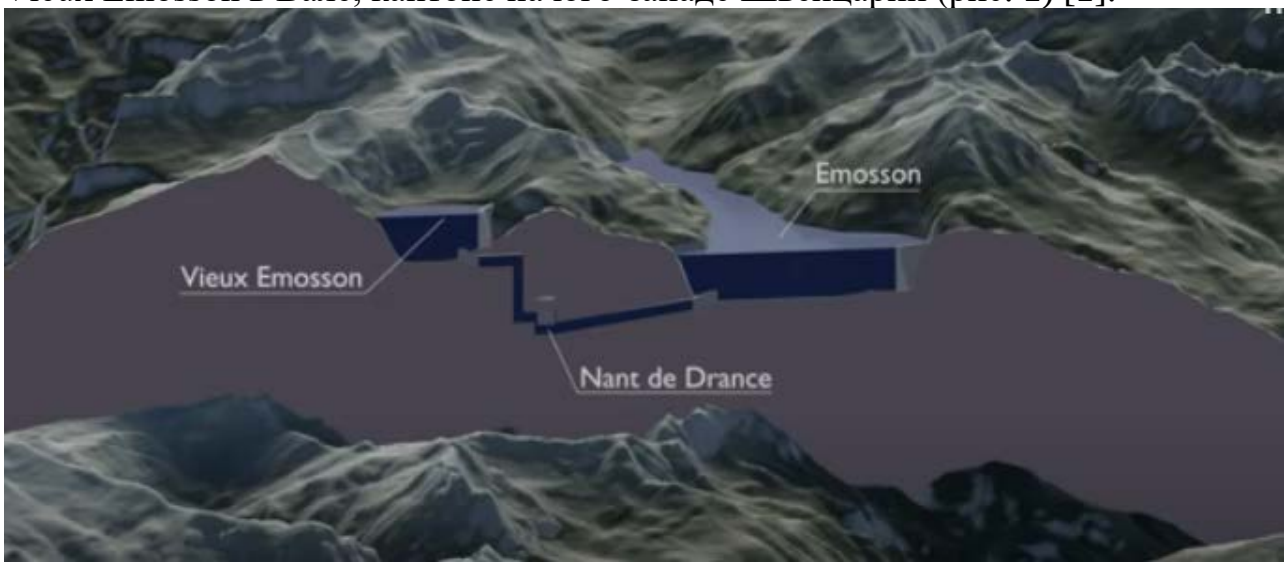


Рисунок 1 – Подземная ГАЭС Nant de Drance в Швейцарии [1]

Огромное машинное отделение электростанции, которое находится на глубине почти 600 м под землей, имеет ширину более 32 м и длину около 200 м (рис. 2) [1].



Рисунок 2 – Строительство машинного отделения электростанции Nant de Drance [2]

О масштабе проекта Nant de Drance Швейцарии свидетельствует следующее:

Инженерам пришлось сначала прорыть туннели через Альпы, чтобы доставить строительные материалы на площадку. Общая длина туннелей, соединяющих два резервуара, составила около 18 км. После добавления 20 м к высоте плотины Vieux Emosson, в «батарее» можно хранить больше энергии.

ГАЭС теперь находится в рабочем состоянии и при максимальной эффективности может одновременно снабжать электроэнергией 900 000 домов.

Использование гидроаккумулирующих электростанций насчитывает уже несколько веков. ГАЭС работает следующим образом. Станция состоит из 2 больших бассейнов с водой, расположенных на разной высоте (рисунок 1).

При увеличении выработки электроэнергии в энергосистеме избыточная энергия используется для закачки воды из нижнего бассейна в бассейн на большей высоте. Это сопоставимо с зарядкой обычной батареи.

Когда в энергосистеме увеличивается спрос на электроэнергию, вода из более высокого уровня перемещается в нижний бассейн, при этом проходя через турбины, которые вырабатывают электроэнергию, используемую для питания сети.

Заключение

«Водяная батарея» емкостью 20 миллионов кВт·ч, которая недавно начала работать в Швейцарии, эквивалентна емкости аккумуляторов 400 000 электромобилей. Таким образом, она поможет стабилизировать энергосистему Швейцарии и другие подключенные сети в Европе. Всего шесть турбин станции могут вырабатывать 900 МВт электроэнергии.

Литература

1. Inside Switzerland’s giant water battery [Электронный ресурс] / Inside Switzerland’s giant water battery. – Режим доступа: https://www.swissinfo.ch/eng/sci-tech/inside-switzerland-s-giant-water-battery/46915530 /. – Дата доступа: 05.10.2024.

2. Switzerland’s Giant “Water Battery” Starts Working [Электронный ресурс] / Switzerland’s Giant “Water Battery” Starts Working. NFK EDITORS – December 1, 2022 /. – Режим доступа: https://newsforkids.net/articles/2022/12/01/switzerlands-giant-water-battery-starts-working /. – Дата доступа: 05.10.2024.

УДК 621.311

ГРАФИТОВЫЕ УПЛОТНЕНИЯ ПАРОВЫХ ТУРБИН
GRAPHITE SEALS FOR STEAM TURBINES

А.И. Сироткин, Г.Ю. Витецкая
Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Sirotkin, G. Vitetskaya
Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье описывается новый тип концевых уплотнений для паровых турбин на основе применения втулок и колец из графита. Применение этих уплотнений позволяет значительно сократить утечки пара через зазор между валом и корпусом турбины, а в некоторых случаях и полностью избежать их. Благодаря определённым свойствам графита появилась возможность значительно уменьшить зазор между гребнем уплотнения и ротором турбоустановки, что является ключевым фактором на пути к снижению утечек. Установка графитовых концевых уплотнений на паровых турбинах позволит сократить дополнительные потери в агрегате и, как следствие, увеличить внутренний относительный КПД турбоагрегата.*

Abstract: *This article describes a new type of end seals for steam turbines based on the use of graphite bushings and rings. The using of these seals makes it possible to significantly reduce steam leaks through the gap between the shaft and the turbine body, and in some cases completely avoid them. Due to certain properties of graphite, it has become possible to significantly reduce the gap between the seal ridge and the rotor of the turbo unit, which is a key factor on the way to reducing leaks. The installation of graphite end seals on steam turbines will reduce additional losses in the unit and, as a result, increase the internal relative efficiency of the turbine unit.*

Ключевые слова: *паровая турбина, концевые уплотнения, графит, энергоэффективность, обоймы уплотнений, дросселирование.*

Key words: *steam turbine, end seals, graphite, energy efficiency, seal clips, throttling.*

Введение

Эффективность любой турбоустановки определяется в первую очередь её относительным внутренним КПД. Этот параметр отражает эффективность использования потенциальной энергии пара в проточной части агрегата и показывает, какая часть располагаемого теплоперепада преобразуется в кинетическую энергию движения пара [1]. Относительный внутренний КПД учитывает все виды потерь, которые возникают в турбоустановке: как основные, так и дополнительные. К основным потерям в турбине относят потери в сопловых и рабочих решётках, а также потери с выходной скоростью. Дополнительными потерями являются потери на трение диска и лопаточного бандажа, потери от перетечек в ступени, потери от парциального подвода пара, потери от влажности и некоторые другие потери, возникающие в турбинах ввиду их определённых специфических особенностей конструкции.

Основные потери обусловлены несовершенством проточной части агрегата и отдельных его ступеней и характеризуют эффективность преобразования энергии в ступенях турбины. Эти потери невозможно устранить полностью, а только лишь минимизировать, если организовать работу ступеней турбины при оптимальном отношении скоростей [1]. Это учитывается при проектировании и тепловом расчёте турбоагрегатов. Величина же дополнительных потерь изменяется в зависимости от конструкции, режима работы, правильной эксплуатации и своевременного ремонта турбоагрегата. Некоторые виды этих потерь в определённых случаях могут и вовсе отсутствовать. Например, в турбинах ТЭС практически нет потерь от влажности, поскольку все ступени, кроме двух-трёх последних, работают на перегретом паре. Эти потери в большей степени проявляются в турбинах АЭС.

Однако есть и дополнительные потери, которые присутствуют практически во всех типах турбоагрегатов. Значительную их часть составляют потери от утечек пара через зазоры между ротором и корпусом турбоагрегата. Этот зазор обусловлен тем, что невозможно создать механизм, где подвижные и неподвижные его части будут находиться вплотную друг к другу. При эксплуатации это будет неизбежно приводить к местным разогревам ротора и статора, поломкам и авариям. Поэтому с одной стороны, зазор между валом и корпусом турбины необходим, а с другой стороны – часть пара, которая могла бы совершить работу в турбине, будет через этот зазор утекать в окружающее пространство. Это приведёт к снижению энергоэффективности турбоустановки и потерям рабочего тела. В связи с этим в турбинах применяют концевые уплотнения, которые хоть и не устраняют протечки, но позволяют несколько снизить их и также собрать протекающий через уплотнение пар и утилизировать его. В части низкого давления турбоагрегата, где давление ниже атмосферного, концевые уплотнения препятствуют подсосу воздушной смеси в проточную часть, что также благоприятно сказывается на работе машины.

Наиболее распространённым типом концевого уплотнения является лабиринтовое уплотнение (рис. 1). Оно представляет собой ряд сужений для потока протечек.

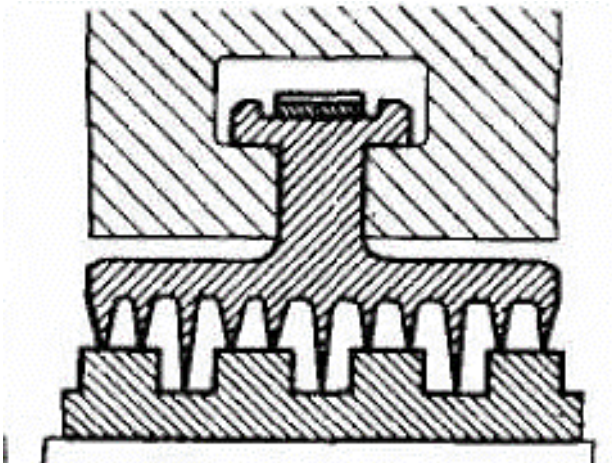


Рисунок 1 – Лабиринтовое концевое уплотнение турбины [1]

Сужения образованы гребнями и впадинами, которые сформированы в корпусе и на валу. Часто для исключения возможности местного разогрева

ротора и его искривления гребни располагают на валу, а впадины делают на статоре. Уплотнение выполняется ступенчато с применением гребней различного размера. Такая конструкция позволяет погасить кинетическую энергию потока при неизменной энтальпии и является наиболее удачной.

Несмотря на применение уплотнений, в турбине по-прежнему имеют место протечки пара, минимизация которых является одной из основных задач при проектировании современной турбины. В связи с этим инженерами разрабатываются новые типы конструкций уплотнений, применяются новые материалы, обладающие более хорошими тепловыми и фрикционными свойствами.

Основная часть

Одним из современных концевых уплотнений является уплотнение на основе графитовых втулок и колец. Применение материалов на основе углерода в конструкции концевых уплотнений было предложено ещё в XX веке. В литературе [2] упоминаются угольные уплотнения паровых турбин (рис. 2). В данном случае уплотнительные гребни располагаются на валу или втулке, насаженной на вал с натягом. В корпус же вставлены угольные полукольца, контактируя с которыми гребни сами прорезают себе впадины. Существуют также разработки, когда в корпус встраивается целая втулка из угля, а гребни располагаются на валу турбины. При вращении ротора нагревания вала не происходит, так как выделившаяся теплота из-за трения гребней о мягкий уголь незначительна, а сами гребни плохо проводят теплоту ввиду своих размеров. Кроме того, материалы из углерода обладают более высокой удельной теплоёмкостью по сравнению с металлами, а значит на их нагревание надо больше энергии. Поэтому разогрева угольных полуколец также не происходит.

Для более полной оценки положительного эффекта, достигаемого при использовании уплотнений из углеродных материалов, стоит понимать, какие параметры влияют на расход пара через концевые уплотнения (т.е. на утечку). Специалистами МЭИ эмпирическим путём была получена следующая формула [1]:

$$D_y = k_y \cdot \mu_y \cdot \pi \cdot d \cdot \delta \cdot \sqrt{\frac{p_0}{v_0}} \cdot \sqrt{\frac{1-\varepsilon^2}{z}}, \qquad (1)$$

где: k_y – поправочный коэффициент, учитывающий геометрические характеристики уплотнительных гребней;

μ_y – коэффициент расхода пара в уплотнении;

d – диаметр вала, м;

δ – величина зазора между гребнем уплотнения и валом, м;

p_0 – давление пара перед уплотнением, Па;

v_0 – удельный объём пара перед уплотнением, м^3/кг;

ε – отношение давлений пара до уплотнения и за ним;

z – количество гребней в уплотнении.

Кроме того, величина зазора между гребнем уплотнения и валом связана с диаметром вала следующим образом [2, 3]:

$$\delta = 0{,}001 \cdot d + 0{,}1 \ldots 0{,}2 \text{ [мм]} \quad (2)$$

Анализируя формулы (1) и (2), становится ясно, что наиболее сильно на протечки пара через концевые уплотнения влияют количество гребней, диаметр вала и величина зазора между валом и гребнем уплотнения.

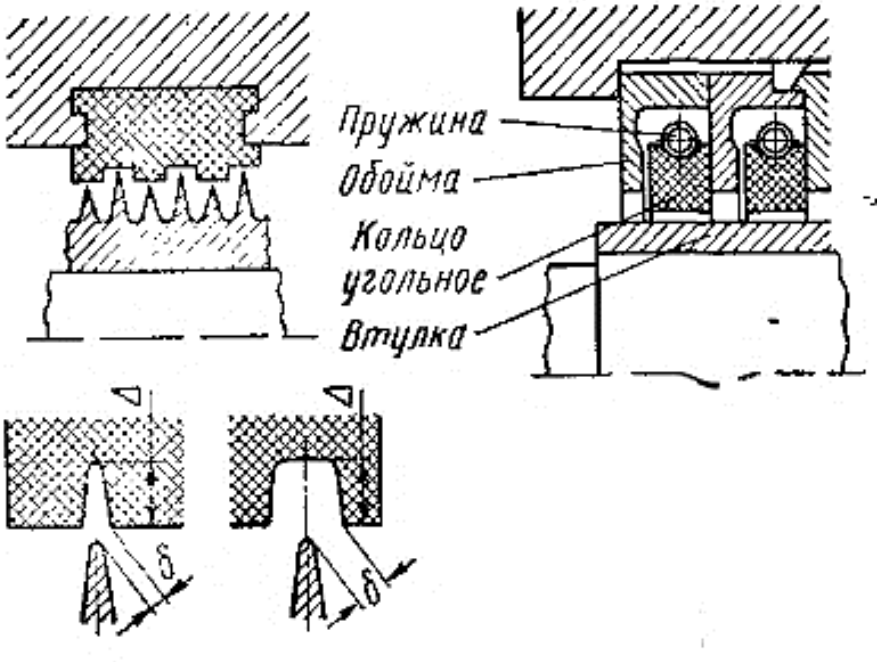


Рисунок 2 – Конструкция угольных уплотнений [2]

Величина зазора между гребнем уплотнения и валом значительно сокращается, если применять уплотнения из углеродных материалов. В этом случае ввиду того, что по вышеуказанным причинам местного разогрева ротора не происходит, зазор δ будет определяться лишь величиной биения вала, что для валов паровых турбин составляет не более 0,04…0,06 мм [3]. Поэтому зачастую эти уплотнения изначально ставятся без зазора, а уже затем, в процессе первых часов работы, гребни уплотнения сами пробивают себе впадины в углеродной втулке или полукольце.

Угольные уплотнения не нашли широкого применения из-за того, что уголь начинает разлагаться при контакте с водой. Это условие накладывало существенные ограничения на их использование. Однако новые разработки уплотнений уже на основе графитовых втулок и полуколец позволили избежать этого существенного недостатка. По своей сути конструкторское решение осталось тем же, однако графит оказался более устойчив к влаге и высоким температурам. Он является достаточно прочным и в то же время мягким материалом, затвердевает при высоких температурах. Для создания графитового уплотнения используют графитовые втулки, которые крепят на валу или располагают в корпусе (рис. 3).



Рисунок 3 – Графитовые втулки [4]

Соответственно, на ответной части выполняются гребни уплотнения. Обычно они изготавливаются из мягких и пластичных сплавов, таких как, например, латунь. В последнее время широко используется инконель – никель-хромовый жаропрочный сплав. Обоймы уплотнений делают подпружиненными, чтобы обеспечить плотное соприкосновение гребней и графита на этапе сборки и работы. В дальнейшем, когда гребни прорежут себе впадины в графите, пружины будут обеспечивать подвижность обойм при тепловых расширениях ротора турбины. Сами обоймы конструктивно объединяются в один съёмный корпус модульной конструкции, что позволяет значительно упростить их замену при ремонте турбины.

Для небольших турбин и турбоприводов уплотнительные гребни и вовсе исключают из конструкции. Вместо них применяют графитовые полукольца, имеющие прорезь. Эта прорезь, по сути, заменяет конструкцию традиционных гребней, а камеры между графитовыми полукольцами по-прежнему выполняют свои функции по торможению пара и уменьшению таким образом его кинетической энергии. На рисунке 4 представлен продольный разрез концевого уплотнения паровой турбины, которое изготавливается немецкой фирмой «EagleBurgmann». Немецкие инженеры сделали уплотнение модульным и в зависимости от начальных параметров пара перед уплотнением, а также других характеристик агрегата, они могут добавить либо убрать часть графитовых полуколец, чтобы обеспечить поддержание утечек на минимально возможном уровне. Пар, скапливающийся в камерах между графитовыми полукольцами, отводится по общей трубке с помощью эжектора. Само уплотнение поставляется цельным в сборе, заказчику лишь остаётся вмонтировать его в корпус турбины по заранее согласованному сборочному чертежу. Доступность и относительно небольшая цена графитовых втулок и полуколец позволяет производить достаточно широкую линейку концевых уплотнений для различных диаметров валов, работающих при различных скоростях и условиях. После обкатки уплотнение работает бесконтактно, поэтому турбина не теряет мощность при трении деталей ротора о статор. В добавок к этому, на валу не устанавливаются

дополнительные элементы, что благоприятно сказывается на его вибрационных свойствах. Сами графитовые полукольца сбалансированы и установлены внутри корпуса.

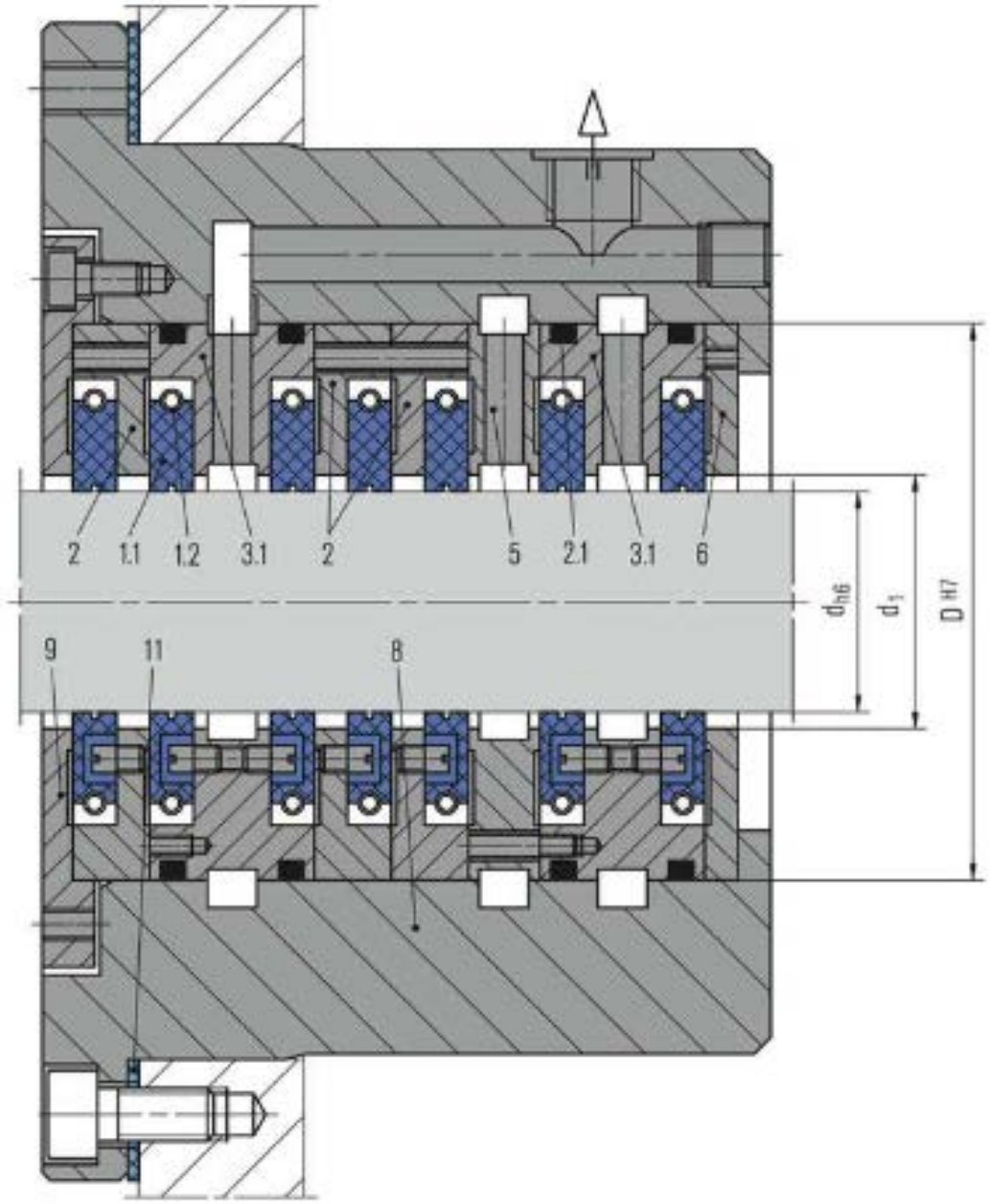


Рисунок 4 – Модульное уплотнение «WKA400HD» фирмы «EagleBurgmann» [5]

Среди других преимуществ графитовых уплотнений стоит отметить высокую надёжность, длительный срок эксплуатации, удобство обслуживания и ремонта, простоту конструкции, низкую утечку пара [5]. Однако использование уплотнений данного типа возможно только на турбинах, где начальное давление не превышает 7,5 МПа [5]. При большем давлении графитовые кольца не выдерживают действующего на них перепада давлений и могут разрушиться.

Заключение

Таким образом, приведенная выше конструкция концевых уплотнений позволяет практически полностью избежать утечек через зазор между ротором и корпусом турбин и турбоприводов мощностью от нескольких сотен киловатт до 100 МВт. Применение графитовых уплотнений позволит повысить внутренний

относительный КПД турбоустановки, а значит, сработать больший теплоперепад в её проточной части и выработать дополнительную мощность. Хотя конструкция не лишена своих недостатков, она уже успела зарекомендовать себя на турбинах малой мощности.

Литература

1. Паровые и газовые турбины: учебник для вузов / А.М. Трубилов, [и др.]; под ред. А.Г. Костюка, В.В. Фролова. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 352 с.
2. Конструкция и расчёт деталей паровых турбин / А.Н. Смоленский. – М.: Машиностроение, 1964. – 461 с.
3. Ремонт паровых турбин: учебное пособие / В.Н. Родин [и др.]; под общ. ред. Ю.М. Бродова, В.Н. Родина. – Екатеринбург: УПИ, 2002. – 455 с.
4. Завод углеродных материалов и металлообработки ООО «Графит-ресурс» [Электронный ресурс] / Графит-ресурс. – Режим доступа: https://grafit-resurs.ru /. – Дата доступа: 10.10.2024.
5. Espey WKA400HD shaft seal [Электронный ресурс] / EagleBurgmann. – Режим доступа: https://www.eagleburgmann.com/en /. – Дата доступа: 10.10.2024.

УДК 621.311

ДИНАМИЧНЫЕ ИННОВАЦИИ В ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ
DYNAMIC INNOVATION IN POWER SECTOR DIGITALIZATION

В.А. Новикова, А.И. Снапкова
Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
V. Novikova, A. Snapkova
Supervisor – V. Kravchenko, Candidate of Economic Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Быстрое внедрение цифровизации в электроэнергетике является ярким примером ее динамичных инноваций – непрерывной разработки и внедрения новых идей, продуктов или процессов для удовлетворения постоянно меняющихся потребностей рынка. В данной статье исследуется, как некоторые цифровые концепции оказывают влияние в сфере энергетики.*
Abstract: *The rapid adoption of digitalization in the power industry is a prime example of its dynamic innovation – the continuous development and implementation of new ideas, products or processes to meet changing market needs. This article explores how some complex digital concepts are making a powerful impact in the energy sector, from generation to consumer.*
Ключевые слова: *цифровизация, искусственный интеллект, энергоэффективность, чат-бот, цифровая эволюция, моделирование, беспроводные технологии, мониторинг, модель анализа данных, микросети.*
Key words: *digitalization, artificial intelligence, energy efficiency, chatbot, digital evolution, modeling, wireless technologies, monitoring, data analysis model, microgrids.*

Введение

Цифровизация – целостный процесс, включающий преобразование бизнес-моделей и операций в более связанную, универсальную и эффективную среду. Она стала признанным рычагом энергетического сектора по мере развития энергетики. До сих пор этот процесс включал в себя широкий спектр сложных и быстро развивающихся цифровых технологий, которые включают в себя множество подходов.

Основная часть

По крайней мере, два года назад специалисты по энергетике были в основном убеждены, что искусственный интеллект (ИИ) – способность машин быстро учиться на больших наборах данных, решать проблемы и постоянно адаптироваться к новым данным без вмешательства человека – является ажиотажем. Но благодаря достижениям в области вычислительных систем искусственный интеллект и его подвид (машинное обучение) приобретают всё большее значение, преобладая в области эффективности, использования, прогнозирования, а также управления и транспортировки источников энергии. Потенциал ИИ также процветает в области хранения энергии, очистки сточных

вод, контроля выбросов, производства биотоплива, управления поставками энергии, возобновляемых источников энергии, оценки рисков и реагирования на спрос.

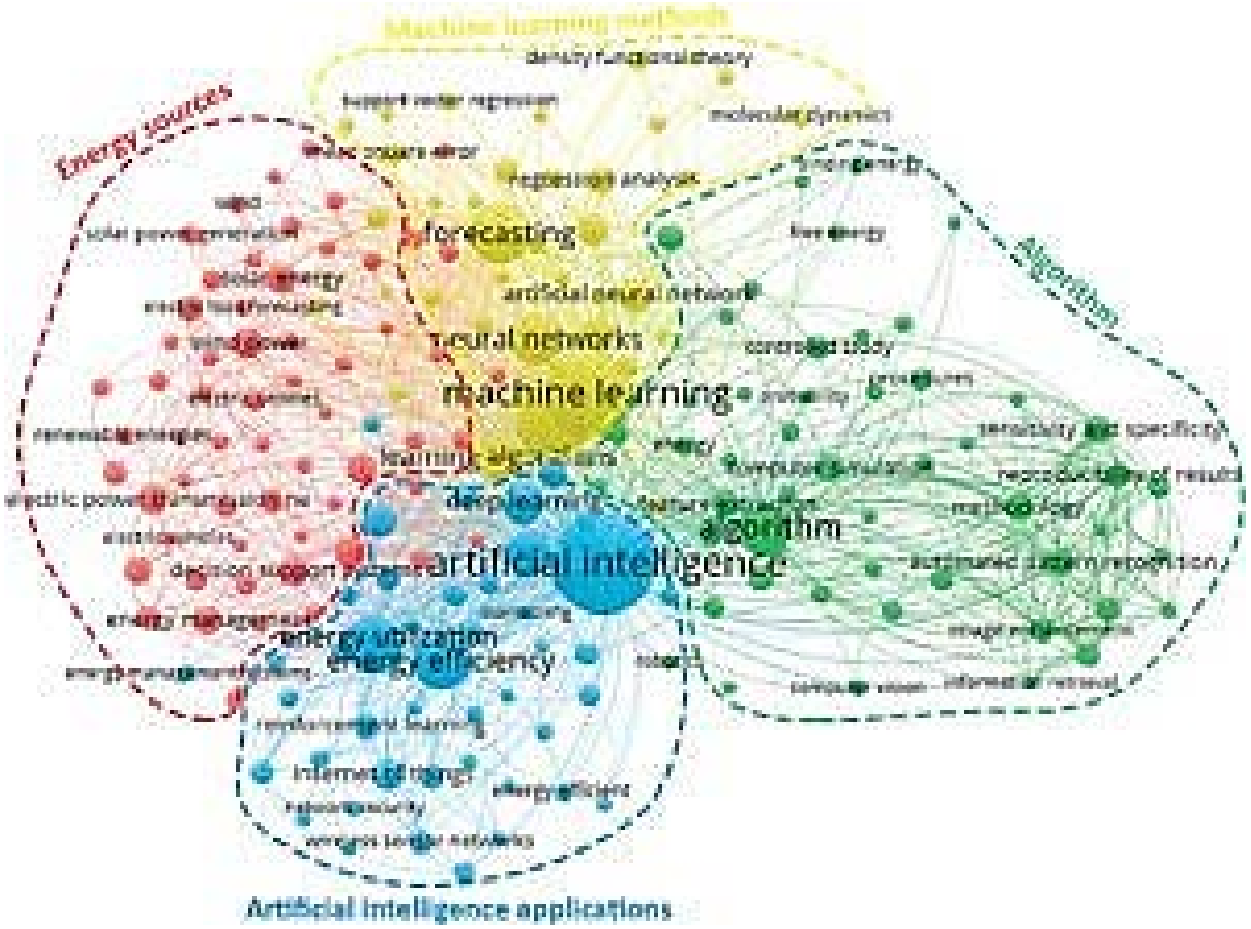


Рисунок 1 – Карта, созданная исследователями из Тегеранского университета, пытается проиллюстрировать связь между искусственным интеллектом (ИИ) и машинным обучением (МО) в сфере энергетики. Синий цвет охватывает приложения искусственного интеллекта в области энергоэффективности и использования энергии; желтый цвет охватывает МО и связанные с ним методы прогнозирования; зеленый охватывает алгоритмы и распознавание образов для обучающихся систем; а красный – источники и потребители энергии [2]

В январе 2023 года компания по маркетингу электроэнергии с поддержкой искусственного интеллекта представила Gridmatic Retail, позволяющую упростить закупку возобновляемой энергии. Другая компания, Imperium Predictive Analytics, использует ИИ, чтобы помочь потребителям принимать более обоснованные решения относительно стратегии закупок, поскольку они защищают корзины с помощью алгоритма, прогнозирующего краткосрочные, среднесрочные и долгосрочные горизонты.

Основатель Imperium заявил, что ключевая ценность сервиса – обеспечить прозрачность рынка посредством упрощённого процесса, позволяя большему количеству заинтересованных сторон оценивать и принимать решения на основе практических данных. Однако он также отметил, что самые большие проблемы с ИИ, особенно в сфере прогнозирования, по-прежнему связаны со сбором и проверкой данных, т.к. основной проблемой является точность и достоверность информации [1].

Варианты использования ChatGPT-подобных моделей в энергетике.

Выпуск OpenAI в 2022 году ChatGPT, коммерчески доступного чат-бота, основанного на модели искусственного интеллекта, положил начало широкому признанию того, что генеративный ИИ может существенно изменить интерфейс «человек-данные». И хотя данный ИИ уже меняет многие отрасли, он может иметь значительный потенциал для энергетического сектора, в частности помогать в автоматизации, разработке, передаче и анализе данных.

Наибольшую выгоду от специально разработанных программ генеративного ИИ можно было бы применить на всех этапах управления производительностью активов, в таких задачах, как выявление оборудования, для которого авто мониторинг вызывал бы срабатывание сигнализации. ИИ способен синтезировать все промышленные знания и делать действительно умные предложения, но в конечном счёте, последний выбор относительно того, что на самом деле необходимо делать, остаётся за человеком.

Кроме того, генеративные модели ИИ могут предоставлять ссылки на различные документы и помогать включать данные в графы знаний. Модель может, например, идентифицировать конкретный тип документа и позволить работникам с помощью человеческого языка быстро запрашивать и получать конкретные сведения о данном документе.

Переход в облако.

Облачные вычисления – средство, с помощью которого можно хранить и обрабатывать большие объёмы данных для эффективного анализа и принятия решений в режиме реального времени. Такие средства также набирают обороты в энергетической сфере. Amazon Web Services (AWS) недавно подписала выгодные соглашения с несколькими утилитами по предоставлению облачных технологий. Duke Energy, например, в ноябре 2022 года начала «многолетнее стратегическое сотрудничество» по созданию нового программного обеспечения и сервисов для интеллектуальных сетей на AWS, а также по расширению своих Intelligent Grid Services – набора специально созданных приложений, которые помогают коммунальному предприятию прогнозировать будущий спрос на энергию и определять где и как обновить электросеть.

Чтобы точно смоделировать будущие потребности в энергии и спланировать инвестиции в энергосистему, необходимо выполнить сотни миллионов расчётов – процесс, который занял бы недели с использованием традиционного оборудования информационных технологий. Используя облачные технологии, которые AWS разрабатывает для Duke Energy, можно выполнить то же моделирование за 15 минут или меньше.

Роботизированные достижения.

В то же время достижения в области робототехники могут изменить сложные задачи эксплуатации и технического обслуживания. Автономный роботизированный контроль уже используется в парке разнообразных роботов, которые подходят для работы в сложных или опасных условиях. Некоторые компании по отдельности используют Spot от Boston Dinamic, культового гибкого робота, похожего на собаку для проверки активов на критически важных электрических подстанциях компании, автономно фиксируя тепловые

сканирования и показания датчиков. Тем временем другие компании и Duke Energy используют Spot для инспекционных миссий на АЭС. Spot также использовался на ГЭС и в горнодобывающих районах, оценивая районы опасные из-за риска сейсмической активности, устойчивости горных пород или присутствия ядовитых газов [2].

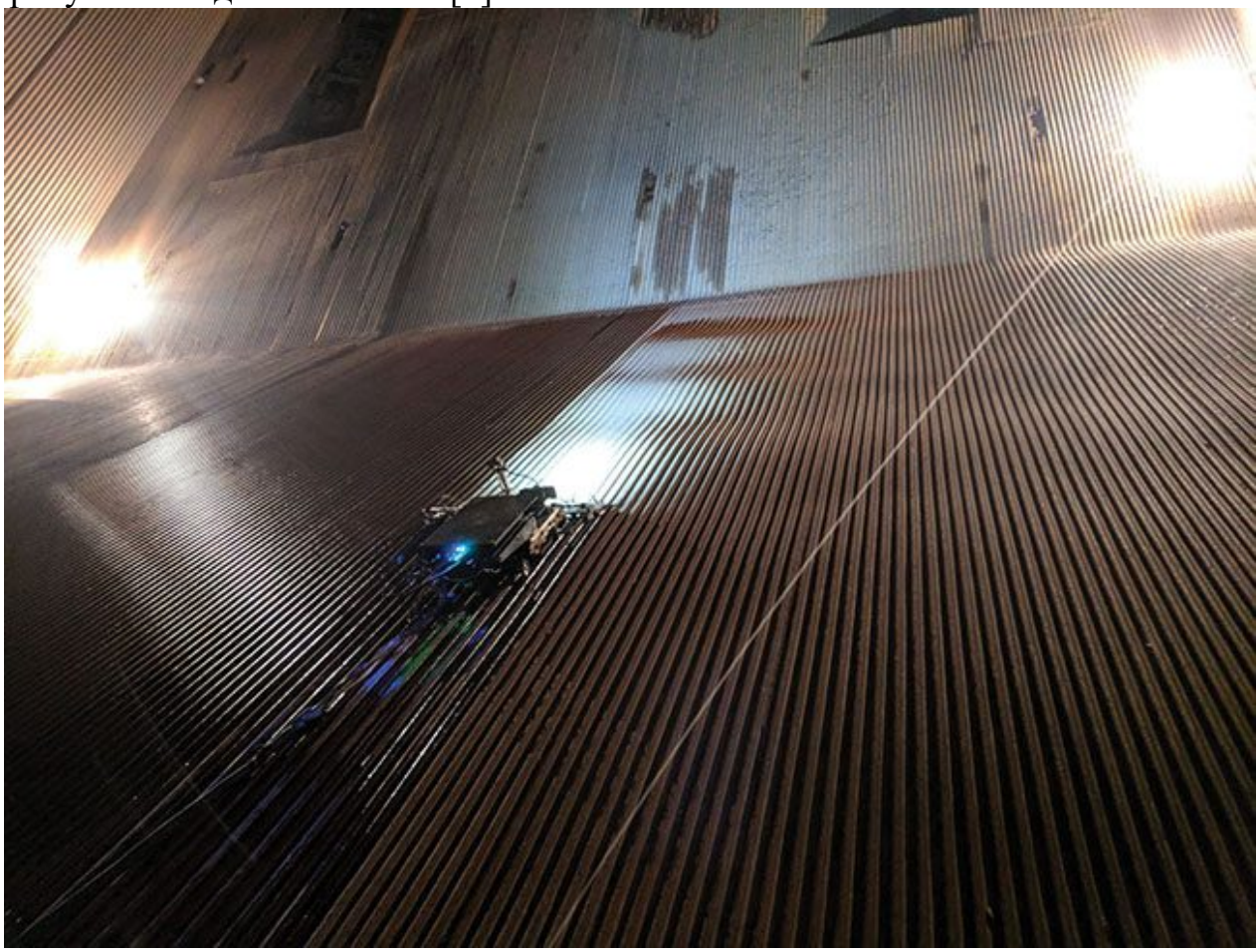


Рисунок 2 – Робот TOKA 4 компании Gecko масштабирует котел, собирая ультразвуковые данные для питания программной платформы на базе искусственного интеллекта [1]

Компания Gecko Robotics из Питтсбурга зафиксировала увеличение интереса к своим робототехническим решениям. В частности, взбирающиеся роботы серии TOKA (рис. 2), оснащённые многоугольным ультразвуковым сканированием и визуальными камерами, способны проводить инспекцию резервуаров, котлов, скрубберов, трубопроводов и измерение толщины стенок. Данный бизнес приобретает особую значимость в контексте старения активов в энергетическом секторе.

Gecko также предоставляет анализ данных с использованием искусственного интеллекта, основанный на результатах многократных проверок, что проводятся роботами. Применение современного ПО позволяет формировать прогнозы относительно выполнения определенных задач на основе собранных наборов данных, а также позволяет выявлять потенциальные проблемы. Это, в свою очередь, способствует рациональному распределению капитальных вложений для решения различных возникающих вопросов в будущем.

Цифровые инструменты, которые преобразовывают большую энергосистему.

Цифровые инструменты оказывают значительное влияние на трансформацию крупных энергетических систем. В дополнение к методам машинного обучения, способным прогнозировать выработку электроэнергии солнечными панелями в зависимости от погодных условий, разработаны новые технологии для создания виртуальных электростанций. Эти виртуальные ЭС интегрируют распределенные энергетические ресурсы с целью предоставления сетевых услуг, что значительно улучшает управление и эффективность функционирования энергосистем.

Также цифровые технологии так способствуют созданию микросетей – автономных энергетических систем, способных функционировать независимо от более крупных энергетических сетей. В январе 2023 года Национальная лаборатория возобновляемых источников энергии (NREL) и Национальная лаборатория Айдахо (INL) продемонстрировали возможность виртуальной синхронизации ядерной энергии и возобновляемых источников энергии с использованием оптоволоконных кабелей, управляемых сетью ESnet, а также цифровых симуляторов в реальном времени.

На основе цифровых технологий также развиваются новые платформы для торговли энергией, что обеспечивает более эффективную торговлю кредитами на возобновляемые источники энергии.

Заключение

Как итог, цифровые достижения способствуют оптимизации цепочек поставок и трансформации процессов строительства. В мае 2023 года компания Terabase Energy, специализирующаяся на цифровых и автоматизированных решениях, анонсировала создание первой в мире автоматизированной цифровой полевой фабрики для строительства солнечных электростанций (СЭС). Комплексная система Terafab интегрирует цифрового двойника проектной площадки, передовые системы управления цепочками поставок и запасами, локальный беспроводной цифровой командный центр, развернутую на местах автоматизированную сборочную линию и специализированные системы управления запасами.

Литература

1. Dynamic Innovation in Power Sector Digitalization [Электронный ресурс] / Dynamic Innovation in Power Sector Digitalization. – Режим доступа: https://www.powermag.com/dynamic-innovation-in-power-sector-digitalization /. – Дата доступа: 01.06.2023.

2. Energy Strategy Reviews: in 51 vol. / ed.: A. Entezari, A. Aslani. – Tehran: University of Tehran, 2019. – Vol. 45. – 564 p.

УДК 338.984

ИОННО-ПЛАЗМЕННЫЕ ПОКРЫТИЯ ЛОПАТОК ТУРБИНЫ
ION-PLASMA COATINGS OF TURBINE BLADES

В.Р. Бежелев, В.А. Желенков
Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
V. Bezhelev, V. Zhelenkov
Supervisor – N. Pantelei, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье рассмотрим ионно-плазменный метод покрытия и подробно описан принцип работы ионно-плазменных устройств и основные преимущества.*
Abstract: *In this article we will consider the ion-plasma coating method and describe in detail the operating principle of ion-plasma devices and their main advantages.*
Ключевые слова: *лопатка, покрытие, температура, материал.*
Keywords: *blade, coating, temperature, material.*

Введение

Лопатки являются неотъемлемой частью газовых и паровых турбин. Они испытывают предельные условия, а именно: критическо-высокая температура перегретого пара, механическая нагрузка, коррозионные и эрозионные воздействия и т.д. Эти все условия определяют надежность лопаток, что в свою очередь повышает эффективность самой турбины. Гарантия надежности обеспечивается еще на этапе производства лопаток и добивается путем общепринятых методов обработки и покрытий, сварке стеллитовых пластин. Но все эти методы, на нынешние реалии, стали не так эффективны. Опыты нам показали, что наиболее надежным методом является нанесение на поверхность лопаток пучков заряженных частиц: электронных, плазменных, ионных и т.д.

Основная часть

Чаще всего для предотвращения эрозии выходных кромок рабочих лопаток используют способ напайки стеллитовых пластинок. Для этого применяется серебряный припой ПСр45, которые гарантируют надежное крепление стеллита к лопаткам. Стеллитовые напайки приводят к изменению аэродинамической формы профиля выходных кромок лопатки и увеличивают центробежные силы на рабочую лопатку [1].

Ионно-плазменные покрытия или покрытия плазменного напыления это наиболее надежный метод покрытия лопаток, который служит для увеличения прочности и производительности лопаток и защиты от каплеударной эрозии и от жаростойкости [2].

Для осуществления ионно-плазменного покрытия лопаток необходимо осуществить следующие определенные этапы:

- Начальная подготовка. Нужно максимально очистить поверхность лопатки от внешних загрязнений, масел, осуществить шлифовку для исключения микротрещин или впадин и сделать поверхность идеально

ровной. Также может использоваться ультразвуковая очистки. Но в определенных случаях на поверхности лопатки создаются специальные параметры шероховатости (Ra, мкм), с помощью которых происходит повышение адгезии. Перед помещением в вакуумную камеру образец должен пройти полировку в установке ЭПП-100, которая основывается на полировке коррозионно-устойчивых металлов (титан *Ti*, никель-хромовые стали *NiCr*). Рассмотрим принцип работы установки ЭПП-100 (рисунок 1). В данной установке применяется электролитный раствор, который нужен для упрощения полировки. Полируемый предмет должен соединяться с анодом, одновременно с ним катод опускают в раствор электролита. За счет возникновения высокого напряжения между катодом и анодом, установка генерирует плазму вокруг полируемого предмета. Созданная плазма позволяет лучше и контролируемо удалять изъяны с поверхности. Плазменный разряд также позволяет интенсифицировать адгезию покрытий. Немало важное значение имеют устройства контроля за температурой раствора электролита, поддержание которой имеет первоочередное значение для осуществления нужного результата полировки. В установку встроены средства безопасности: кнопка немедленной остановки, контроль температуры электролита и необходимый уровень вентиляции. По итогу у полируемого материала наблюдается уменьшения шероховатости полируемой поверхности образца. Время полировки варьируется от 5 до 20 минут. У ЭПП есть два режима работы: автоматический и ручной. Для технической обработки используется ручной режим. Перед тем как отправить заготовку в вакуумную камеру необходимо промыть её изопропиловым спиртом.



Рисунок 1 – Установка ЭПП-100

– Наладка вакуумной камеры. Процедура подготовки для нанесения ионно-плазменного покрытия на заготовки происходит в вакуумной камере, которая играет важную роль для осуществления всего этого цикла. Данная камера необходима для полного исключения попадания различного рода загрязнений и создание искусственной управляемой среды. Принцип работы вакуумной камеры рассмотрим на основе установки “Гефест”, которая показана на рисунке 3. Нанесение самих покрытий происходит непосредственно в вакуумной камере, в котором с помощью специального оборудования создается вакуум с давлением 0,01 до 10 Па. Изготовки внутри этой камеры подвешиваются к специальному приспособлению, которое, для равномерного нанесения необходимого материала на все стороны поверхности изготовки, производит вращающиеся движения. Размеры камеры составляют: 1295 мм в высоту и 890 мм диаметром и имеет вид цилиндра. Вакуум создается с помощью определенного переходного модуля, которая соединяет камеру и систему откачки, которые, в свою очередь, представляют собой насосы и за счет этого происходит планомерная откачка по всей площади. Данная камера оборудована тремя специальными трубками для подачи технических газов, которые также равномерно распределяются. После чего уже происходит процесс ионно-плазменного покрытия [3].



Рисунок 3 – Вакуумная установка “Гефест”

Рассмотрим ионно-плазменное устройство по нанесению покрытий на лопатки, которое показано на рисунке 2. Основной процесс это создание источника плазмы, в основу которой входят такие газы как аргон или азот. Затем происходит процесс ионизации этого газа под действием высокого напряжения и формируется плазменный шлейф. Происходит нагрев газа до критически высокой температуры и впоследствии его ионизация, благодаря чему происходит осаждение материала покрытия. В качестве распылителя порошок, который направляется в плазменный шлейф и под действием высокой температуры частицы порошка начинают плавится. Затем эти расплавленные частицы попадают на поверхность образца. Попадая на образец эти частички быстро остывают и затвердевают образуя плотный слой. Этот процесс можно регулировать в зависимости от желаемой толщины слоя или однородности нанесения. После окончания процесса распыления образцы проходят строгий контроль качества для соответствия требуемым нормам или условиям заказчика.

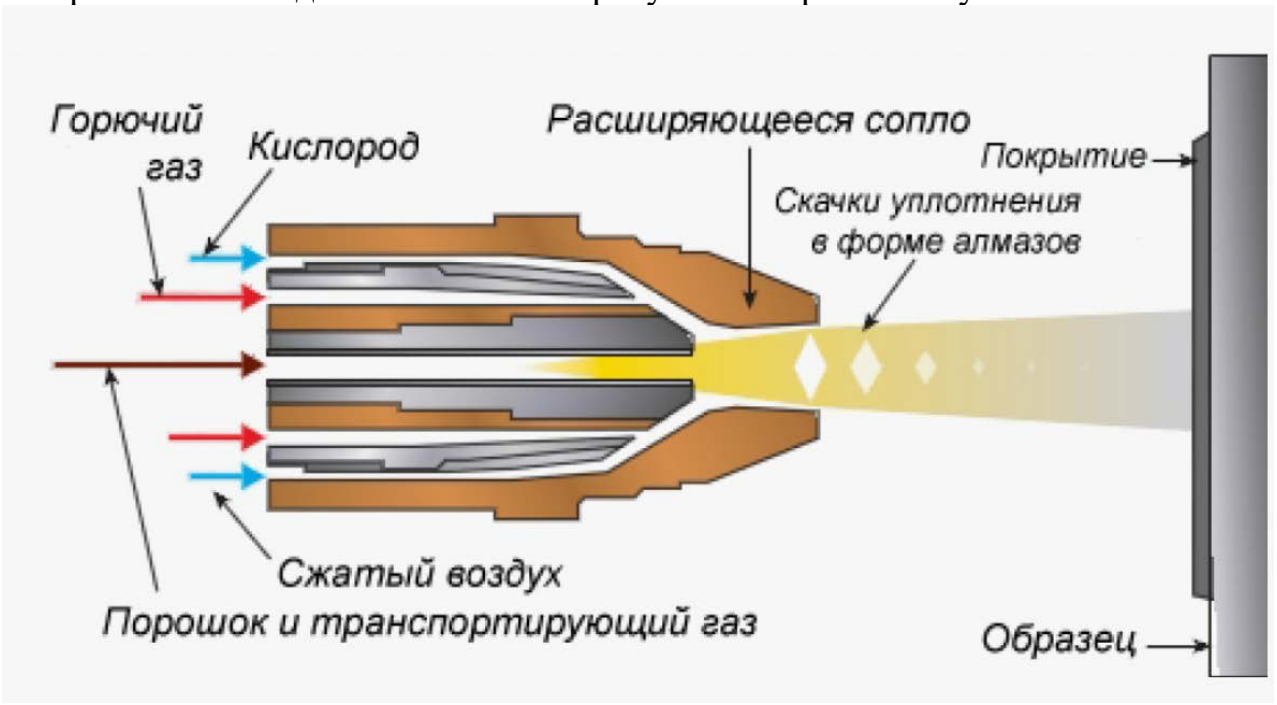


Рисунок 2 – Процесс нанесения ионно-плазменного покрытия

Ионно-плазменные покрытия бесспорно имеют некоторые преимущества, благодаря которым этот метод часто используют:

- Первой и самой главной составляющей этого процесса является достижение наибольшей износостойкостью и повышают адгезию. Это позволяет им сопротивляться большим механическим нагрузкам, в частности при работе с критически высокими температурами в турбинах;
- Это покрытие может действовать в качестве термического барьера, который служит для защиты сомой лопатки от различного рода воздействия, а также устойчивость к окислению;
- Защита от коррозии и эрозии. Увеличивают устойчивость к различным агрессивным средам;
- За счет нанесений данных покрытий увеличивается срок службы материалов, что в следствии со временем ведет к экономии денежных

средств, хотя первоначальные инвестиции могут весьма большие.

Применение ионно-плазменных покрытий лопаток турбин нашлись на некоторых российских атомных электростанций, в частности такая технология покрытий используется на Нововоронежской атомной электростанции.

Заключение

В общем и целом, ионно-плазменные покрытия привели к значительным успехам по защите материалов от высоких температур, особенно лопаток турбин, которые обеспечивают продление срока службы материала и соответственно экономии средств. Данный ионно-плазменный метод продолжает усовершенствоваться и находит все более широкое применению.

Литература

1. Конструкция, прочность и металлы элементов / А.Н. Смоленский. – Москва 1964. – 186 с.

2. Комбинированные ионно-имплантационные и вакуумно-пламенные технологии модифицирования поверхности, обеспечивающее повышение эксплуатационных свойств лопаток ЦНД паровых турбин [Электронный ресурс] / Комбинированные ионно-имплантационные и вакуумно-пламенные технологии модифицирования поверхности, обеспечивающее повышение эксплуатационных свойств лопаток ЦНД паровых турбин. –Режим доступа: https://tekhnosfera.com/kombinirovannye-ionno-implantatsionnye-i-vakuumno-plazmennye-tehnologii-modifitsirovaniya-poverhnosti-obespechivayuschie- /. – Дата доступа: 18.10.2024.

3. Повышение абразивной стойкости лопаточного аппарата первых ступеней цилиндров высокого и среднего давления мощных паровых турбин [Электронный ресурс] / Повышение абразивной стойкости лопаточного аппарата первых ступеней цилиндров высокого и среднего давления мощных паровых турбин. – Режим доступа: https://mpei.ru/diss/Lists/FilesDissertations/169-Диссертация.pdf /. – Дата доступа: 18.10.2024.

УДК 621.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОГАЗОВЫХ ТУРБИН НА ТЭС
USE OF BIOGAS TURBINES IN TPP

А.Н. Медведева, Е.В. Барбарич
Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Medvedeva, E. Barbarich
Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье рассмотрены перспективы использования турбин на биогазе для выработки тепло- и электроэнергии на электростанциях, преимущества и недостатки такого вида топлива, его влияние на экологию.*
Abstract: *This article considers the prospects of using biogas turbines for heat and electricity production in power plants, advantages and disadvantages of this type of fuel, its impact on the environment.*
Ключевые слова: *биогаз, анаэробное разложение, метан, биометан, газовые турбины, турбины Capsone.*
Keywords: *biogas, anaerobic decomposition, methane, biomethane, gas turbines, Capsone turbines.*

Введение

В последние десятилетия вопросы устойчивого развития и перехода на возобновляемые источники энергии становятся все более актуальными. Одним из малоизученных, но перспективных направлений в этой области является использование биогаза в качестве топлива для газовых турбин на теплоэлектростанциях (ТЭС). Биогаз, представляющий собой в основном смесь метана и углекислого газа, образующийся в результате анаэробного разложения органических веществ, становится важным ресурсом для энергетики, способным не только уменьшить зависимость от ископаемых ресурсов, но и сократить выбросы парниковых газов.

Применение биогазовых турбин на ТЭС открывает новые возможности для эффективного использования органических отходов, таких как сельскохозяйственные отходы, отходы жизнедеятельности человека и биомасса. Эти технологии позволяют не только генерировать электрическую и тепловую энергию, но и поддерживать переход к более экологически чистым источникам, соответствуя современным требованиям к энергоэффективности и снижению углеродного следа.

Основная часть

Использование биогаза в качестве альтернативы бензину и природному газу позволяет уменьшить объем свалочных территорий, оптимизировать работу предприятий, занимающихся переработкой отходов и уменьшить количество парниковых газов, попадающих в атмосферу ежедневно. Также это может позволить повысить энергоэффективность предприятий, позволяя экономить на затратах на электроэнергию. В сфере сельского хозяйства биогаз может быть

применен не только для выработки тепла и электричества, но и также в качестве сырья для синтетических удобрений. Кроме того, из очищенного биогаза возможно получить сырье для производства метанола.

Такой вид экологически чистого топлива, как биогаз, возможно получить из всевозможных органических отходов: травы, бытовых отходов, отходов молокозаводов (молочной сыворотки), отходов производства биодизеля (технического глицерина от производства биодизеля из рапса, отходы от производства соков (виноградная выжимка, мякоть фруктов, ягод и овощей), отходов жизнедеятельности животных на фермах, отходов сельскохозяйственной области и так далее.

Биогаз представляет собой газообразное топливо, получаемое в результате распада органического вещества. Другими словами, как только органическое вещество попадает в особую среду, бактерии начинают процесс разложения (путем анаэробного сбраживания при отсутствии кислорода), и в результате образуется смесь метана, углекислого газа, аммиака, сероводорода и других элементов – биогаз. Приблизительный состав биогаза представлен на рисунке 1.

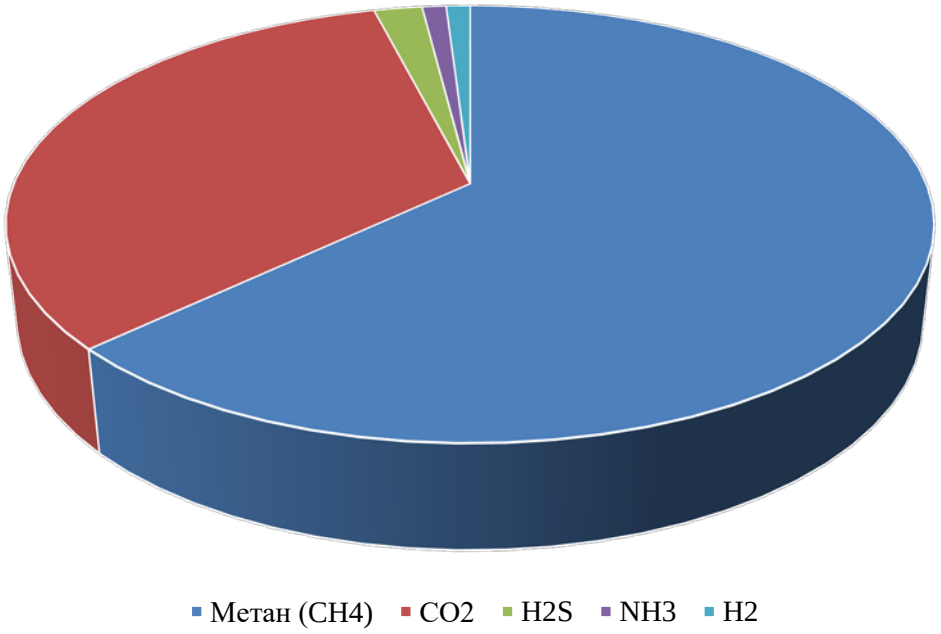


Рисунок 1 – Приблизительный состав биогаза

Существуют следующие виды биогаза: свалочный, сельскохозяйственный, промышленный и полученный с очистных сооружений [2].

Свалочный газ образуется естественным образом на свалках. Процесс его формирования происходит, когда большое количество органических отходов сваливается в одном месте. Ускорить этот процесс также позволяет изоляция данного органического материала, например, пленкой, создавая парниковый эффект и ограничивая доступ свежего воздуха. Бактерии на территории свалки перерабатывают органику, преобразовывая её в биогаз.

Сельскохозяйственный биогаз может быть получен из отходов жизнедеятельности животных на фермах или других органических отходов. В этом случае переработка позволяет улучшить циркуляцию питательных веществ

и снижает потребность использования синтетических удобрений для сельского хозяйства.

Биогаз сточных сооружений формируется в результате анаэробного распада органических веществ в процессе переработки и очистки хозяйственно-бытовых сточных вод. В большинстве стран сбор и обработка хозяйственно-бытовых сточных вод производится в системах централизованной аэробной очистки сточных вод. Хотя очистные сооружения выделяют сравнительно небольшое количество метана, в тоже время они также вырабатывают большое количество твердых органических отходов, которые могут увеличить показатели выбросов метана. В случае, если сбор и очистка сточных вод либо вообще отсутствуют, либо выполняются в небольшом объеме, применяются в основном анаэробные системы, что приводит к большему объему выделений метана. К этим системам относятся отстойники, септики и выгребные ямы.

Отрасли, занимающиеся производством пищевых продуктов и напитков, обладают потенциалом для значительной экономии энергии, используя отходы процесса для генерации необходимой энергии. Такой подход выгоден для владельцев биогазовых установок, поскольку позволяет получать доход от продажи электроэнергии или сокращать затраты на импортируемую электроэнергию. Вдобавок, переработка отходов в энергию уменьшает расходы на транспортировку и утилизацию. Все эти факторы способствуют повышению эффективности, что, в свою очередь, снижает производственные издержки и усиливает конкурентоспособность.

В настоящее время ведутся разработки нового типа турбин, которые могли бы работать на биогазе. Для этих целей целесообразно модифицировать газотурбинную установку, поскольку основным топливом для такого вида оборудования является газ.

Возможность модификации турбины для биогаза основывается на сходстве его состава с природным газом. Природный газ преимущественно состоит из метана, содержание которого составляет от 87 % до 97 %. Необработанный биогаз содержит не более 65% метана, и, хотя большая часть остатка газа не участвует в процессе сгорания, фраза «возобновляемый или обедненный природный газ» для биогаза довольно точна. Соответственно, для повышения эффективности использования данного вида топлива удаляют примеси, как правило, это сероводород и силоксаны для получения биометана, так как эти составляющие обладают агрессивными свойствами и могут стать причиной коррозии лопаток турбины. Далее газ сжимают и подают в качестве топлива в газовую турбину [1].

Области применения газотурбинных установок достаточно разнообразны: они могут использоваться в нефтегазовой отрасли, на производственных площадках, а также для бытовых нужд и в энергетических системах транспортных средств. Одним из ключевых преимуществ газотурбинных установок является низкое содержание вредных выбросов, таких как NO_x и CO, в выхлопных газах. Это позволяет безопасно устанавливать и эксплуатировать оборудование даже в городских условиях, вблизи жилых зон [3].

Газотурбинные установки на электростанциях в качестве основного типа двигателя для привода электрогенераторов применялись первоначально в районах с доступом к природному газу. Благодаря своей способности к быстрому пуску, они также используются для сглаживания пиковых нагрузок в энергосистемах во время кратковременных периодов максимального потребления. Основным топливом для газовой турбоустановки является природный газ, в частности – метан, который может составлять до 98 %. Таким образом, размещение ТЭС и мини-ТЭЦ с газотурбинными установками на биотопливе будет рационально в местах непосредственной переработки органических отходов: свалках, вблизи ферм и очистных сооружений.

Использование газотурбинных установок (ГТУ) в рамках мини-ТЭЦ является экономически обоснованным, особенно в сочетании с системами утилизации, которые позволяют применять тепло отработанных газов для нужд теплофикации.

Главное достоинство ГТУ – ее компактность. Прежде всего, в ГТУ отсутствует паровой котел, который имеет значительные габариты и требует отдельного помещения или системы помещений для установки.

ГТУ не требует охлаждающей воды. Как следствие, в тепловой схеме отсутствует конденсатор и система технического водоснабжения с насосной установкой и градирней (при оборотном водоснабжении). Все перечисленные факторы способствуют снижению стоимости 1 кВт установленной мощности газотурбинной электростанции, тем не менее, само изготовление ГТУ, ввиду своей технической сложности, стоит в 3-4 раза больше цены на паровые турбины аналогичной мощности.

Принцип работы установки прост: природный газ смешивается с воздухом и попадает в камеру сгорания под большим давлением – от 20 атмосфер. Внутри камеры сгорания находятся горелки, которые поджигают смесь. Дальше новые порции газа, поступающие в камеру, зажигаются от высоких температур.

После выхода из камеры сгорания нагретый газ переходит в область более низкого давления. В этой зоне газ расширяется и, соответственно, интенсивно ускоряется, приводя в движение установленные на дисках лопатки турбины. Эти диски соединены с вращающимся валом и образуют ротор. Роль статора выполняют неподвижные сопловые лопатки, которые располагаются вокруг ротора. Они направляют газ к лопаткам ротора под оптимальным углом, уменьшая турбулентность потоков газа и способствуя повышению КПД. Принципиальная схема ГТУ представлена на рисунке 2.

В настоящее время существуют компании, которые уже производят турбины для параметров отработки биогаза, некоторые из них уже активно используются. Например, микрогазовые турбины, работающие на биогазе, полученном с водоочистных станций, установлены в Мариямполе (Литва), Джейнсвиле (Висконсин, США), Йорк (Пенсильвания, США) [4].

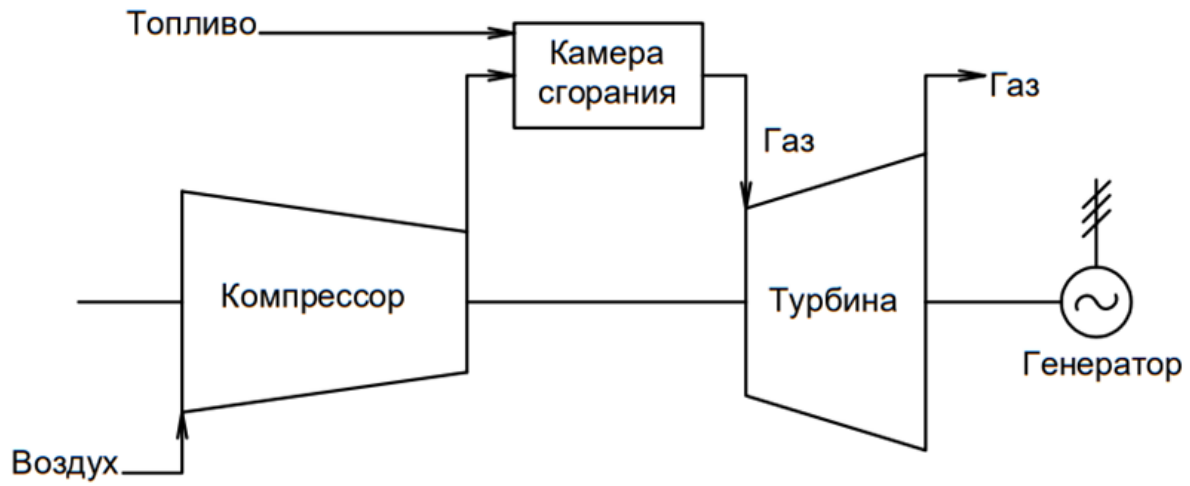


Рисунок 2 – Принципиальная схема ГТУ

На юго-западе Литвы расположена ТЭС, которая утилизирует биогаз водоочистных сооружений города. На станции установлена микротурбинная установка Capsone C200 мощностью 200кВт, а также теплоутилизатор IVAR Industry14T12R мощностью 245 кВт. Данная установка является хорошей альтернативой для устаревших газопоршневых агрегатов (ГПУ) меньшей мощности, которые были демонтированы. Применение турбинных установок на биогазе выявило ряд преимуществ: эффективность работы микротурбин связана в первую очередь с более простым управлением установок, неприхотливым обслуживанием и меньшими затратами на расходные материалы (воздушные фильтры и т.д.). Сервисные работы в случае турбин на биогазе проводятся реже (примерно раз в год). Более того, микротурбины имеют преимущество перед газопоршневыми установками за счет использования топлива более низкого качества. Биогаз в своем составе содержит не более 65 % метана и около 0,3 % сероводорода, такое содержание последнего элемента ранее могло вызвать неполадки работы, коррозию и снижение эффективности всей системы, поскольку для старых установок были иные требования: метана должно было быть не менее 80 %, а сероводорода не более 0,1 %. Количество перерабатываемого биогаза варьируется в зависимости от степени загрязнения сточных вод, по статистике такая станция перерабатывает от 1500 до 2500 нм^3 ежедневно.

В Джейнсвиле на городской водоочистной станции установлено 5 микротурбин фирмы Capstone, работающих на биогазе. Четыре из них мощностью 65кВт и одна – 200 кВт. В среднем станция очищает около 47 320 м^3 воды за сутки и вырабатывает почти 3 000 м^3 биогаза. По сравнению с ранее установленными на станции газопоршневыми двигателями, которые требовали довольно частой замены масла и дорогостоящего технического обслуживания, микротурбины на биогазе имеют преимущество, так как они более простые и дешевые в обслуживании при приблизительно одинаковой выработке электроэнергии. Настройка работы таких турбин производится автоматически для оптимального производства электричества в пиковые часы. Во время наименьших нагрузок или при необходимости система автоматического

управления может распределять нагрузку между установками: отключить или включить турбину в зависимости от количества биогаза и необходимости его переработки.

Водоочистная станция Йорка была одним из первых предприятий, на котором установили новый тип газопоршневых установок, работающих на биогазе, общей мощностью 1 530 кВт. Кроме экономичности новые установки также имеют отличные экологические характеристики. Уровень выбросов этих установок составляет не более, чем 450 кг в год, в то время как привычные ГПУ выбрасывают около 60-80 тонн оксидов азота (NO_x), угарного газа(CO) и оксидов серы (SO_x). Также кроме электричества, микротурбинные установки также вырабатывают и тепловую энергию, которая идет на собственные нужды производства – отопление помещений станции, подогрев метантенков (устройств для анаэробного брожения жидких органических отходов с получением метана).

Заключение

Газовые турбины или газопоршневые микротурбины, работающие на биогазе, представляют собой перспективное направление в области энергетики, предлагая эффективное и устойчивое решение для комбинированной выработки электрической и тепловой энергии. Такие турбины могут быть интегрированы в существующие энергетические системы, что говорит об их мобильности и делает их актуальными для решения задач, связанных с энергетической безопасностью и экологической устойчивостью. Преимущества турбинных установок на биогазе или биометане заключаются в высокой эффективности, экономичности, низком уровне выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду и возможности работы в различных режимах. Развитие и внедрение газовых турбин на биотопливе имеет потенциал не только для улучшения энергообеспечения, но и для сокращения негативного воздействия на экологию.

Литература

1. Биогаз: приемущества, технологии производства, использование [Электронный ресурс] / Биогаз: приемущества, технологии производства, использование. – Режим доступа: https://www.renwex.ru/ru/ii/biogaz /. – Дата доступа:14.10.2024.

2. Биогаз – Турбины Aurelia [Электронный ресурс] / Биогаз – Турбины Aurelia. – Режим доступа: https://aureliaturbines.com/applications/biogas /. – Дата доступа 14.10.2024.

3. Устройство и действие энергетических установок. Кн. 2. Газовые турбины. Теплообменные аппараты: учебное пособие / В.В. Сахин; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2015. – 133 с.

4. Микротурбины на биогазе для водоочистных станций [Электронный ресурс] / Микротурбины на биогазе для водоочистных станций. – Режим доступа: https://distrgen-news.livejournal.com/2325.html /. – Дата доступа: 14.10.2024.

УДК 62-7

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ОТ ТЭС НА ТВЁРДОМ ТОПЛИВЕ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
UTILISATION OF ASH AND SLAG WASTE FROM SOLID FUEL POWER PLANTS FOR INDUSTRIAL USE

А.Н. Медведева
Научный руководитель – С.И. Ракевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Medvedeva
Supervisor – S. Rakevich, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье рассматривается один из методов переработки золошлаковых отходов тепловых электростанций и предприятий, работающих на твёрдом топливе.*
Abstract: *This article considers one of the methods of processing ash and slag waste from thermal power plants and enterprises operating on solid fuels.*
Ключевые слова: *ТЭС на твёрдом топливе, зола, золошлаковые отходы, золоуловители, зольный кирпич, стройматериал.*
Keywords: *solid fuel TPPs, ash, ash and slag waste, ash collectors, ash bricks, building material.*

Введение

В настоящее время основной мировой проблемой является проблема экологии. Тяжёлая промышленность, а также энергетика наносят сильный вред окружающей среде, именно поэтому необходимо искать пути переработки отходов от данных производств с целью облегчить нагрузку на природную составляющую нашей планеты. Переработка золы становится все более важной задачей в контексте современного общества, которое стремится минимизировать негативное воздействие на окружающую среду и рационализировать использование ресурсов.

Основная часть

Зола образуется при сжигании угля и другого вида твёрдого топлива на тепловых электростанциях и других промышленных предприятиях. Золошлаковые отходы формируются в результате полного сгорания топлива, являясь при этом его минеральной составляющей. Зольность способствует появлению отложений на поверхностях теплообмена и требует дополнительных усилий по очистке и обслуживанию котельных агрегатов. Для решения проблемы загрязнения котельных установок существуют золоуловители, которые являются обязательными элементами оборудования современной котельной.

В процессе сжигания основная часть минерального состава топлива преобразуется в мелкую летучую золу, которая уносится потоком газов. В зависимости от теплового режима горения и удаления шлака, доля уноса летучей золы варьируется от 0,85-0,95 до 0,2-0,4. Остальная часть образует

шлак, который оседает в нижней части топки и затем удаляется. После этого зола направляется на золоотвалы. Золоотвал – это специализированное гидротехническое сооружение, предназначенное для организованного хранения золошлаков, образующихся при сжигании твердого топлива в котлах. Эти конструкции, наряду с другими накопителями промышленных отходов и стоков, представляют собой значительные источники долговременного загрязнения, что приводит к серьезным экологическим проблемам на больших территориях. Вмешательство в такого рода накопитель может привести к нарушению прочности массы отвала, а соответственно и к попаданию шлаков в окружающую среду.

Решением для данной проблемы может выступить переработка золошлаковых отходов. Твёрдое топливо содержит значительное количество минеральных веществ, среди которых основными являются: алюмосиликаты (глинистые материалы, такие как каолинит AI_2O_3, $2SiO_2 \cdot 2H_2O$), кремнезем SiO2 (главный компонент песка) и другие. На основе этого можем сделать вывод о том, что целесообразно использовать золу в качестве сырья для стройматериалов – блоков и кирпичей.

В основном, такие стройматериалы бывают двух видов: керамические и силикатные.

Первый тип кирпича изготавливается путем обжига глиняной заготовки, в то время как второй тип создается из песка и цемента. Изделия формуются под прессом и затем сушатся в автоклаве при высоких температурах и повышенном давлении, что способствует их прочности.

По технологии производства зольный кирпич схож с силикатным. В этом случае обжиг в печи не применяется, а используется аналогичный процесс, как и для силикатного кирпича. Состав зольных кирпичей может варьироваться в зависимости от пропорций, однако традиционно он выглядит следующим образом:

- угольная пыль и зола – 60 %;
- песок или каменная пыль – 30 %;
- цемент или известь – 10 %.

Существует также вариант известково-зольного кирпича, в котором 70-80 % составляют угольная пыль или зола, а 20-30 % – известь.

Сравнивая характеристики зольного кирпича с силикатным и керамическим (табл. 1), можно отметить, что кирпич из золы обладает хорошими показателями: он имеет более низкую теплопроводность и себестоимость, а также большую прочность при меньшей массе и плотности.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики зольного, силикатного и керамического кирпича

Характеристики	**Кирпич зольный полнотелый**	**Кирпич зольный с пустотами, 25 %**	**Кирпич силикатный с пустотами, 25 %**	**Кирпич керамический с пустотами, 25 %**
Средняя плотность кг/м^3	1240	1100	1600	1400
Вес 1 м^3, кг	1231	1026	1642	1385
Теплопроводность, Вт/(м ·°С)	0,24	0,15	0,6	0,46
Прочность на сжатие (не менее), кг/см^2	125-250	125-200	125-200	125-200
Количество золы (не менее), %	85	80	-	-

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод о том, что зольный кирпич имеет сравнительно низкий коэффициент теплопроводности, что характеризует его как материал с более высокой теплоизоляционной способностью, способный дольше сохранять тепло или, наоборот, сохранять прохладу внутри помещения. Это означает, что здания и сооружения, построенные из данного композита, будут иметь высокую энергоэффективность, т.к. тепловые потери (плотность теплового потока, проходящего через стенку из данного материала) будут гораздо меньше.

К преимуществам данного метода переработки золы и получения стройматериала относятся:

- экологичность (сокращение объёмов золоотвалов благодаря переработке золы, что снижает негативное воздействие на природу));
- снижение потребления природных ресурсов (например, глины);
- более высокие теплоизоляционные показатели;
- лёгкость и прочность;
- низкая себестоимость.

Однако, изготовление такого вида материала имеет также и недостаток – необходимость тщательной переработки, так как зола в своём составе имеет также соли различных металлов, в том числе и тяжёлых, что предполагает необходимость очистки золы от примесей металлов и токсичных элементов.

Заключение

Переработка золы в зольный кирпич представляет собой перспективный метод получения экологически чистого строительного материала, который может внести значительный вклад в развитие строительства. Его применение может помочь с проблемой переработки отходов, уменьшить токсичное воздействие шлаков на окружающую среду и рационально использовать ресурсы при изготовлении строительных материалов. Также необходимо учитывать сложность технологии производства, дополнительную очистку сырья для золошлаковых кирпичей, а также безопасное удаление и утилизацию не перерабатываемых примесей, входящих в его состав.

Литература

1. Методика производства и технические характеристики зольных кирпичей [Электронный ресурс] / Методика производства и технические характеристики зольных кирпичей. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-proizvodstva-i-tehnicheskie-harakteristiki-zolnyh-kirpichey/viewer /. – Дата доступа: 08.10.2024.

2. Золошлаковые отходы. Экономическая выгода переработки [Электронный ресурс] / Золошлаковые отходы. Экономическая выгода переработки. – Режим доступа: https://ect-center.com/blog/zoloshlakovie-othody-2 /. – Дата доступа: 08.10.2024.

УДК 621.311

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛОМЫ ОТ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ С ПОМОЩЬЮ ДВИГАТЕЛЯ СТИРЛИНГА

USE OF GRAIN STRAW TO PRODUCE HEAT AND ELECTRIC ENERGY USING A STIRLING ENGINE

А.А. Мильяненко
Научный руководитель – А.Г. Герасимова, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Milyanenko
Supervisor – A. Gerasimova, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной работе рассмотрено использование котлов для сжигания соломы зерновых культур совместно с двигателем Стирлинга, для параллельной выработки тепловой и электрической энергии. Представлены несколько вариантов использования данных установок, произведены расчёты.*

Abstract: *This paper examines the use of boilers for burning cereal straw together with a Stirling engine for parallel generation of heat and electricity. Several options for using these units are presented, and calculations are made.*

Ключевые слова: *двигатель Стирлинга, солома зерновых культур, котел для сжигания соломы, мощность, количество вырабатываемой энергии.*

Keywords: *Stirling engine, cereal straw, straw-burning boiler, power, amount of energy generated.*

Введение

В данный момент во всем мире большое количество соломы никак не используется, а просто сгнивает на полях или хранилищах. При том, что при гниении солома выделяет столько же углекислого газа, сколько и при горении. Использование соломы поможет снизить потребление ископаемого топлива и увеличить рациональность использования природных ресурсов.

Основная часть

Биомасса является одним из основных видов топлива в возобновляемой энергетике. К биомассе относиться и солома. В данный момент перспективным направлением является установка недорогих котлов различного типа для производства тепловой энергии за счёт сжигания соломы. Одним из самых простых и эффективных типов котлов, являются котлы, способные сжигать солому в виде тюков. В таких котлах реализован принцип послойного верхнего горения. Пламя в топке котла постепенно опускается вниз – поэтому стало возможно использовать самое недорогое и даже сырое горючее. Котел отличается простой конструкцией: посередине котла расположена топка, под которой находятся водоохлаждаемые колосники и зольник, сверху теплообменное устройство с двумя горизонтальными полками, наполненные циркулирующим теплоносителем [1].

Главным условием использование соломы является её влажность, для нормальной эксплуатации котлов нужна влажность менее 20 %. Также надо следить за содержанием хлора в соломе, так как его большое количество способствует коррозии оборудования и выходу его из строя. Для решения проблемы с низкой насыпной плотностью соломы решается её тюкованием.

На рисунке 1 показан внешний вид котла, работающего на тюках соломы.



Рисунок 1 – Внешний вид котла, работающего на тюках соломы [2]

Мы предлагаем использовать в таких установках двигатели Стирлинга для производства электричества в то время, когда отопление не требуется, так как они имеют больший КПД, также они при выработке электроэнергии отдают больше тепла на охлаждающую воду, которую можно использовать для отопления и горячего водоснабжения. Данные установки смогут обеспечивать электроэнергией и теплом населенные пункты, находящиеся недалеко от установки либо объекты сельского хозяйства (сушить зерно отапливать фермы, телицы и т.д.).

В расчётах мы использовали котёл длительного горения на тюках соломы Wichlacz GKS 2000S, мощностью 2000 кВт. Котел предназначен для отопления больших частных домов, коттеджей, промышленных и сельскохозяйственных объектов. КПД котла 82-89 % [3].

В качестве топлива используются тюки из соломы длиной и диаметром по 1,7 метра. В топку помещается 2 тюка. Одного тюка соломы хватит на 4 часа работы котла [3].

Рассчитаем массу соломы, которую котел потребляет за одну полную загрузку и за сутки при максимальной мощности. Плотность соломы ρ = 110 кг/м^3 [4].

$$V = \pi r^2 h = 3{,}14 \cdot 0{,}85^2 \text{ м} \cdot 1{,}7 \text{ м} = 3{,}86 \text{ м}^3; \quad (1)$$

$$m_1 = \rho \cdot V = 110 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 3{,}86 \text{ м}^3 = 424{,}6 \text{ кг}, \quad (2)$$

где V – объём 1 тюка, м^3;

m_1 – масса 1 тюка, кг.

Так как за 4 часа сгорает один тюк, значит за сутки сгорит 6 тюков.

$$m_{\text{сутки}} = 6 \cdot 424{,}6 \text{ кг} = 2547{,}6 \text{ кг}. \quad (3)$$

Получается за сутки котел будет потреблять 2547,6 килограмм соломы в виде тюков.

Далее рассчитаем, какое количество теплиц сможет отопить наш котёл. Для постройки теплицы используются ленточный фундамент, нижние 30 см стены, можно построить из газосиликатных блоков, для улучшения теплоизоляции, а остальную часть из 16 мм двухкамерного поликарбоната для уменьшения теплопотерь.

$$Q = k\text{т} \cdot S_{\text{огр}} \cdot \left(T_{\text{вн}} - T_{\text{нар}}\right) \cdot k_{\text{инф}}, \quad (4)$$

где kт – коэффициент теплопередачи обшивки (выбираем из списка выше);

$S_{\text{огр}}$– общая площадь стен и кровли, м^2;

$T_{\text{вн}} - T_{\text{нар}}$ – дельта температур, суммарный перепад между наружной и проектной внутренней, °C;

$k_{\text{инф}}$ – коэффициент инфильтрации, отображающий потери тепла через неплотные примыкания и зазоры (в среднем равняется 1,25). Для качественных фабричных теплиц он может не применяться [5].

У двухкамерного поликарбоната толщиной 16 мм коэффициент теплопередачи обшивки равен 2,3 Вт/м^2·°С [4]. Так как в теплице используются стены из блоков и двухслойного поликарбоната, то коэффициент инфильтрации составит 1,08 из-за потерь через грунт и вентиляцию. Средняя комфортная температура в теплице для роста растений + 20 °С [6]. Средняя минимальная температура в Республике Беларусь зимой – 8 °С [7].

Рассчитаем дельту температур.

$$T_{\text{вн}} - T_{\text{нар}} = 20\ °C - (-8\ °C) = 28\ °C. \quad (5)$$

Проектируемая теплица будет двухскатная длиной 100 метров, шириной 10 метров, высота боковых стен 3 метра, высота конька крыши 4 метра.

Рассчитаем площадь внешнюю поверхность теплицы.

$$S_{\text{огр}} = S_{\text{стен}} + S_{\text{крыши}} = 100 \cdot 2{,}7 \cdot 2 + 10 \cdot 3 \cdot 2 + \\ +0{,}5 \cdot 10 \cdot 1 + 5{,}1 \cdot 100 \cdot 2 = 1860 \text{ м}^3. \quad (6)$$

Теперь можно рассчитать мощность отопления для теплицы.

$$Q = 2{,}3\ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot {}^\circ C} \cdot 1860\ \text{м}^2 \cdot 28{}^\circ C \cdot 1{,}08 = 129{,}37\ \text{кВт}. \quad (7)$$

Теперь можно рассчитать количество теплиц, которое отопит один котёл.

$$N = \frac{Q_{\text{КОТЛА}}}{Q} = \frac{2000\ \text{кВт}}{129{,}37\ \text{кВт}} = 15{,}46, \quad (8)$$

где N – количество теплиц.

Из расчёта видно, что данный котел сможет отопить 15 теплиц. Теперь рассчитаем площадь, которую занимают эти теплицы.

$$S_{\text{теплицы}} = 100\ \text{м} \cdot 10\ \text{м} = 1000\ \text{м}^2; \quad (9)$$

$$S = N \cdot S_{\text{теплицы}} = 15 \cdot 1000 = 15000\ \text{м}^2 = 1{,}5\ \text{га}. \quad (10)$$

Как видно, данная установка сможет отопить 1,5 гектара теплиц при белорусском климате.

На рисунке 2 показан пример тепличного комплекса.



Рисунок 2 – Пример тепличного комплекса [8]

Также можно использовать данную установку для выработки электроэнергии с помощью двигателя Стирлинга. КПД двигателя Стирлинга достигает значений в 40-45 %. [9] Мы предлагаем два варианта:

1. Использовать теплоту сгорания соломы для нагрева горячей стороны двигателя Стирлинга и максимальной выработки электроэнергии, тепловая энергия будет забираться у охлаждающей воды.

Рассчитаем электрическую мощность и энергию, которую выработает станция за сутки:

$$P_{\text{электрическая 1}} = Q_{\text{котла}} \cdot \eta = 2000\ \text{кВт} \cdot 0{,}4 = 800\ \text{кВт}; \quad (11)$$

$$E = P_{\text{электрическая 1}} \cdot 24\ \text{ч} = 800\ \text{кВт} \cdot 24\ \text{ч} = 19200\ \text{кВт} \cdot \text{ч}. \quad (12)$$

Можно рассчитать какое количество домов может обеспечить одна установка.

Для расчёта возьмём семью из 4 человек, живущую в доме с электрической плитой. В таких условиях норма потребления на одного человека составляет 90 кВт·ч в месяц или 3 кВт·ч в сутки [10]. За количество домов возьмем *N*.

$$N = \frac{E}{E_{\text{дома}}} = \frac{19200\ \text{кВт·ч}}{4{\cdot}3\ \text{кВт·ч}} = 1600\ \text{домов}. \quad (13)$$

Как видно из расчёта, данная установка сможет обеспечить электроэнергией 1600 домов, то есть крупный посёлок. Остатки тепловой энергии можно использовать для нужд отопления.

2. Работа двигателя Стирлинга от теплоты уходящих газов.

Температура в топке котла составляет 800-900 °С, а уходящих газов 100-180 °С, то есть в 5 раз меньше [11]. Получается, что такая установка будет вырабатывать в 5 раз меньше электроэнергии, но будет давать тепловой энергии практически столько же, сколько при обычной эксплуатации.

$$P_{\text{электрическая 2}} = \frac{P_{\text{электрическая 1}}}{5} = \frac{800\ \text{кВт}}{5} = 160\ \text{кВт}; \quad (14)$$

$$E = P_{\text{электрическая 2}} \cdot 24\ \text{ч} = 160\ \text{кВт} \cdot 24\ \text{ч} = 3840\ \text{кВт} \cdot \text{ч}; \quad (15)$$

$$N = \frac{E}{E_{\text{дома}}} = \frac{3840\ \text{кВт·ч}}{4{\cdot}3\ \text{кВт·ч}} = 320\ \text{домов}. \quad (16)$$

Из расчётов видно, что в таком режиме работы установка сможет обеспечивать электроэнергией 320 домов, а тепловой энергии хватит на тепличный комплекс, либо на установку для сушки зерна, отопления посёлка. Эти расчёты доказывают, что установка на соломе может обеспечивать электричеством и теплом большое количество объектов.

Заключение

Из изложенного выше видно, что установки по сжиганию соломы с двигателями Стирлинга имеют ряд преимуществ. Они влияют на экологию меньше угольных или газовых станций, также солома при сжигании выделяет столько же CO_2, сколько при гниении. Такие установки могут обеспечивать отоплением большие тепличные комплексы, колхозы, населенные пункты от деревень до агрогородков. Использование соломы поможет снизить потребление классических источников топлива, тем самым растянув их запасы на больший срок, и улучшить экологическую обстановку.

Литература

1. Development of the Technology for Combustion of Large Bales Using Local Biomass [Электронный ресурс] / Development of the Technology for Combustion of Large Bales Using Local Biomass. – Режим доступа: https://www.intechopen.com/chapters/37933 /. – Дата доступа: 11.10.2024.

2. Котлы для сжигания тюков соломы мощностью от 100 до 1000 кВт [Электронный ресурс] / Котлы для сжигания тюков соломы мощностью от 100 до 1000 кВт. – Режим доступа: https://www.steptrutnov.cz/ru/котлы-на-биомассе/step-ks-100-1000-kw-ru /. – Дата доступа 11.10.2024.

3. Котел на соломе Wichlacz GKS 2000 кВт [Электронный ресурс] / Котел на соломе Wichlacz GKS 2000 кВт. – Режим доступа:

https://vodolex.com.ua/ru/catalog/kotel-na-solome-wichlacz-gks-2000-kvt /. – Дата доступа 11.10.2024.

4. Возобновляемые источники энергии в России. Солома [Электронный ресурс] / Возобновляемые источники энергии в России. Солома. – Режим доступа: https://heatclub.ru/articles/article_70.html /. – Дата доступа 11.10.2024.

5. Как рассчитать необходимую мощность отопления теплицы? [Электронный ресурс] / Как рассчитать необходимую мощность отопления теплицы? – Режим доступа: https://5energy.ru/blog/kak-rasschitat-neobhodimuyu-moshchnost-otopleniya-teplicy /. – Дата доступа 11.10.2024.

6. Оптимальная температура воздуха в теплице – максимальная и минимальная [Электронный ресурс] / Оптимальная температура воздуха в теплице – максимальная и минимальная. – Режим доступа: https://vesnasad.ru/temperatura-v-teplice /. – Дата доступа 11.10.2024.

7. Климат и погода в Беларуси [Электронный ресурс] / Климат и погода в Беларуси. – Режим доступа: https://www.belarus.by/ru/about-belarus/climate-and-weather#:~:text=Средняя%20температура%20в%20январе%20колеблется,нуля%20сохраняется%20более%20трети%20года /. – Дата доступа 11.10.2024.

8. Тепличный комбинат "Берестье" ОАО [Электронный ресурс] / Тепличный комбинат "Берестье" ОАО. – Режим доступа: https://www.belarusinfo.by/ru/poisk/4624.html /. – Дата доступа 11.10.2024.

9. Наследники Джона Д. Рокфеллера избавляются от нефтяных активов [Электронный ресурс] / Наследники Джона Д. Рокфеллера избавляются от нефтяных активов. – Режим доступа: https://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=print&sid=6158 /. – Дата доступа 11.10.2024.

10. Информация по сбыту для бытовых потребителей [Электронный ресурс] / Информация по сбыту для бытовых потребителей. – Режим доступа: https://www.energo.by/content/deyatelnost-obedineniya/sbytovaya-deyatelnost/informatsiya-dlya-bytovykh-potrebiteley/ /. – Дата доступа 11.10.2024.

11. Котел ALTEP AGRO [Электронный ресурс] / Котел ALTEP AGRO. – Режим доступа: https://altep.by/produkciya/altep-agro/ /. – Дата доступа 11.10.2024.

УДК 621.039.524.2.034.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧАСТИЦ ТОПЛИВА TRISO В РЕАКТОРАХ ВТГР
UTILISATION TRISO FUEL PARTICLES IN HTGR REACTORS

В.А. Андриевич, А.С. Печеньков, В.А. Москальчук
Научный руководитель – И.А. Евсеенко, ассистент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
V. Andrievich, A. Pechenkov, V. Moskalchuk
Supervisor – I. Yevseyenko, Assistant
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данном тексте рассматривается высокотемпературный газоохлаждаемый реактор (ВТГР). Описаны преимущества ВТГР, а также конструктивные особенности, включая топливные частицы TRISO. А также потенциал технологии TRISO для обеспечения чистой энергии.*
Abstract: *This text discusses the high-temperature gas-cooled reactor (HTGR). The advantages of HTGR are described, as well as design features including TRISO fuel particles. As well as the potential of TRISO technology to provide clean energy.*
Ключевые слова: *ВТГР, ядерное топливо, TRISO, активная зона, гелий.*
Keywords: *HTGR, nuclear fuel, TRISO, core, helium.*

Введение

Высокотемпературный газоохлаждаемый реактор (далее – ВТГР) был разработан на основе использования графита, в качестве замедлителя нейтронов, и гелия, в качестве охлаждающего агента [1]. Исследования ВТГР начались в 1947 году в лабораториях Клинтона в США. Первый экспериментальный высокотемпературный газоохлаждаемый реактор был построен в 1960 году в Великобритании и назывался Dragon.

Присущая ВТГР безопасность и высокая температура на выходе – его два основных преимущества. Он относится к группе реакторов четвёртого поколения. Реакторы четвёртого поколения – это перспективные ядерные установки, создаваемые с целью улучшения безопасности, устойчивости, эффективности и снижения затрат по сравнению с предыдущими поколениями. Главная цель проекта – разработка устойчивого замкнутого топливного цикла.

Основная часть

Безопасность реактора ВТГР тесно связана с его конструктивными особенностями [2]:

- Использование частиц TRISO предотвращает утечку радиоактивных продуктов деления даже при очень высоких температурах. TRISO – трёхструктурное изотропное топливо из частиц, в ядре которых находится обогащенный оксикарбид урана, заключенный в слои оболочек из углерода и керамики$
- Использование инертного газа гелия в качестве охладителя позволяет избежать рисков, связанных с образованием взрывоопасного газа вследствие фазового перехода, как это бывает при использовании воды$
- Благодаря конструкции реактора ВТГР они обладают свойством,

известным как отрицательный эффект реактивности. Это означает, что при увеличении температуры реактора, его реактивность уменьшается, что способствует стабилизации работы реактора и предотвращению перегрева (рис. 1).

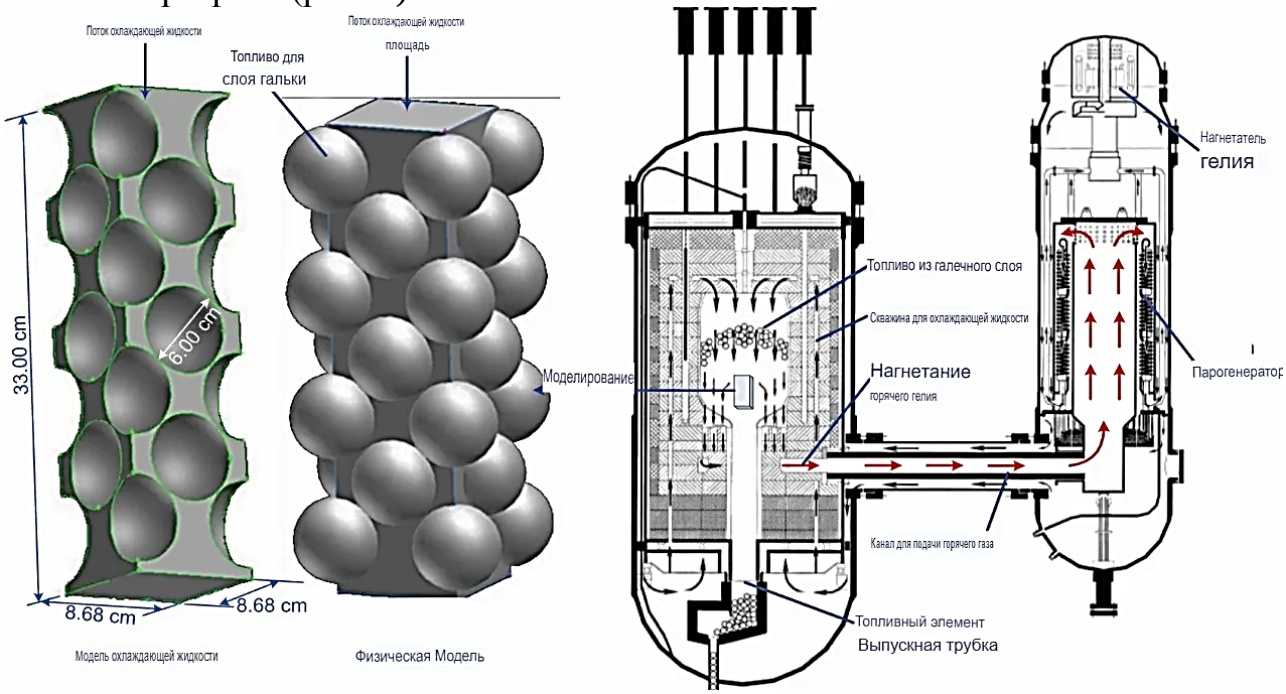


Рисунок 1 – Схема процессов внутри реактора [1]

Благодаря тому, что реактор ВТГР имеет высокую температуру теплоносителя на выходе из активной зоны, это обеспечивает предпосылки для производства не только электроэнергии, но и для производства тепловой энергии, которая используется для производства водорода и водяного пара.

В соответствии с конструкцией ВТГР в настоящее время делятся на два типа: с призматическим и сферическим топливным элементом. Хотя топливные элементы двух типов реакторов имеют разную форму, все они используют одни и те же частицы топлива TRISO.

Диаметр частиц топлива TRISO обычно составляет около 1 миллиметра, изнутри они разделены на три части.

Внутренним слоем является топливная сердцевина, которая обычно состоит из делящихся материалов, таких как оксикарбид и диоксид урана, средний слой топливной сердцевины представляет собой пористый углеродный буферный слой, который в основном поглощает газообразные продукты деления, угарный газ и т.д. Внешним слоем является слой TRISO (рис. 2).



Рисунок 2 – Структура частицы TRISO [2]

TRISO-слой включает в себя внутреннее покрытие из пиролитического углерода высокой плотности (IPyC), буферный слой карбида кремния (SiC) и внешнее покрытие из пиролитического углерода высокой плотности (OPyC).

Основная функция слоя IPyC заключается в защите топливной сердцевины во время формирования слоя SiC, а также в создании барьера для удержания газообразных продуктов деления.

Слой SiC является самым прочным в конструкции, выполняя роль резервуара высокого давления для газообразных продуктов деления и материального барьера для металлических продуктов деления.

Основная роль OPyC заключается в защите слоя SiC, обеспечении определенной механической прочности и в то же время может использоваться как последняя линия защиты от распространения продуктов деления.

На сегодняшний день запушено два реактора типа ВТГР в Китае с шаровым слоем (галечным слоем): HTR-10, введённый на полную мощность в 2003 году и HTR-PM, введённый в опытную эксплуатацию в конце 2021 году. Шаровой слой назван так, потому что ядерное топливо упаковано в сферу размером с теннисный мяч (“гальку”), а не в традиционный топливный стержень.

Топливный элемент серии HTR имеет сферическую форму диаметром 60 миллиметров и разделен на две части: топливную и нетопливную.

Нетопливная зона состоит из графитового слоя толщиной 5 миллиметров, который окружает топливную зону. Топливная зона представляет собой сферу диаметром 50 миллиметров с графитовой подложкой, содержащую около 12000 частиц TRISO-топлива, при этом степень заполнения топливными частицами составляет около 10 %.

Одно из главных преимуществ высокотемпературного реактора со сферическим слоем (галечный слой) заключается в том, что его можно непрерывно заправлять топливом, в отличии от традиционных реакторов, которые необходимо останавливать и заправлять каждые 1-2 года.

HTR-PM имеет модульную конструкцию и состоит из 2 реакторных блоков. Каждый реакторный блок спроектирован с активной зоной с шаровым слоем и номинальной тепловой мощностью 250 МВт. Размеры активной зоны

составляют 3 метра в диаметре и 11 метров в высоту и содержит около 420000 сферических топливных элементов.

Активная зона окружена отражателем из графита, сферические топливные элементы многократно циркулируют по всему объему активной зоны. Глубина выгорания топлива принимается 100 ГВт/т. Отработавшее топливо, соответствующее проектным стандартам, выгружается через центральную трубу в нижней части активной зоны и транспортируется в резервуар для хранения отработавшего топлива.

В графитовом отражателе предусмотрены две реактивные системы управления. Одна из них состоит из 8 управляющих стержней, которые используются для регулирования мощности активной зоны и остановки реактора, другая состоит из 22 небольших шариковых блоков остановки реактора, которые служат резервной системой управления остановкой реактора. Кроме того, внешняя область графитового отражателя также обеспечивает 30 газовых отверстий в качестве канала для потока охлаждающей жидкости.

Заключение

Внедрение реакторов нового типа означает изменение взглядов на строительство атомных электростанций: от преимущественно крупных атомных электростанций, которые обеспечивают энергией весь город, к реакторам меньшего размера и более надежным, которые обеспечивают энергией меньшие территории без каких-либо рисков.

TRISO – это надежная форма топливного элемента, очень подходящая для военного и космического применения и обладающая потенциалом открыть новые возможности для освоения космоса. Экономическая целесообразность использования атомной энергии все еще остается проблемой, но топливные компоненты TRISO могут решить некоторые долгосрочные проблемы безопасности ядерной энергетики и обеспечить чистую и надежную энергию.

Литература

1. Атомная энергия 2.0 [Электронный ресурс] / Атомная энергия 2.0. – Режим доступа: https://www.atomic-energy.ru /. – Дата доступа: 23.09.2024.

2. Библиотека аль-Фараби [Электронный ресурс] / Библиотека аль-Фараби. – Режим доступа: https://elibrary.kaznu.ru /. – Дата доступа: 23.06.2023.

УДК 62-626.42

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАМЕЩЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА СИНТЕЗ-ГАЗОМ, ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ ГАЗИФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕРЕВООБРАБОТКИ И МЕБЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF REPLACING NATURAL GAS WITH SYNTHESIS GAS, THROUGH THE INTRODUCTION OF A COGENERATION GASIFICATION PLANT IN THE PRODUCTION OF WOODWORKING AND FURNITURE PRODUCTS

С.А. Варварский
Научный руководитель – С.И. Ракевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
S. Varvarski
Supervisor – S. Rakevich, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье будет рассмотрен экономический эффект от внедрения когенерационной установки на генераторном газе для деревообрабатывающего предприятия, исследованы технические свойства древесной биомассы как вида топлива для получения синтез-газа.*

Abstract: *In this article, the economic effect of the introduction of a cogeneration plant on generator gas for a woodworking enterprise will be considered, the technical properties of wood biomass as a type of fuel for synthesis gas production will be investigated.*

Ключевые слова: *синтез-газ, древесная биомасса, когенерация, газификация биомассы.*

Key words: *synthesis gas, woody biomass, cogeneration, biomass gasification.*

Введение

Поиск новых источников для получения энергии стоит перед человечеством с каждым годом стоит всё острее, на данный момент наиболее перспективным способом замены природного газа является производство и использование синтез-газа, он может получаться не только путём газификации угля, однако и путём газификации различной биомассы, например древесной. Использование данной технологии позволит использовать непригодную для обработки, либо отходы от деревообработки для получения электроэнергии и тепловой энергии с уменьшением зависимости от внешних источников энергии.

Основная часть

Синтез-газ представляет собой газообразное топливо, полученное при газификации биомассы, либо угля, синтез-газ газ включает в себя следующие компоненты входящие в его состав, однако содержание примесей может слегка варьироваться исходя из сырья для получения топлива:

- Диоксид углерода (CO_2): 30-32 %. Концентрация зависит от типа используемого окислителя и процесса газификации;
- Метан (CH_4): 9-11 %. Метан присутствует в синтез-газе, но его

содержание обычно невелико;

- Водород (H_2): 38-40 %. Водород является значительным компонентом синтез-газа и его концентрация может значительно варьироваться в зависимости от процесса;
- Монооксид углерода (CO): 15-18 %. Монооксид углерода является основным компонентом синтез-газа и его концентрация может быть достаточно высокой;
- Азот (N_2): 0-15 %. Азот присутствует в синтез-газе, если используется воздух в качестве окислителя. В случае использования чистого кислорода содержание азота будет минимальным;
- Водяные пары (H_2O): 5-15 %. Концентрация водяных пар может варьироваться в зависимости от температуры процесса газификации и уровня конденсации.

Также в составе полученного синтез-газа могут входить продукты неполного сгорания: Концентрация таких примесей, как смолы и твердые частицы, может зависеть от чистоты процесса и может составлять малые доли процентов, однако эти компоненты часто удаляются в процессе очистки [1].

Нами были проведены лабораторные опыты по определению, влажности, зольности и выхода горючих веществ из древесного сырья для получения синтез-газа (табл. 1).

Таблица 1 – Результаты расчёта технических характеристик топлива

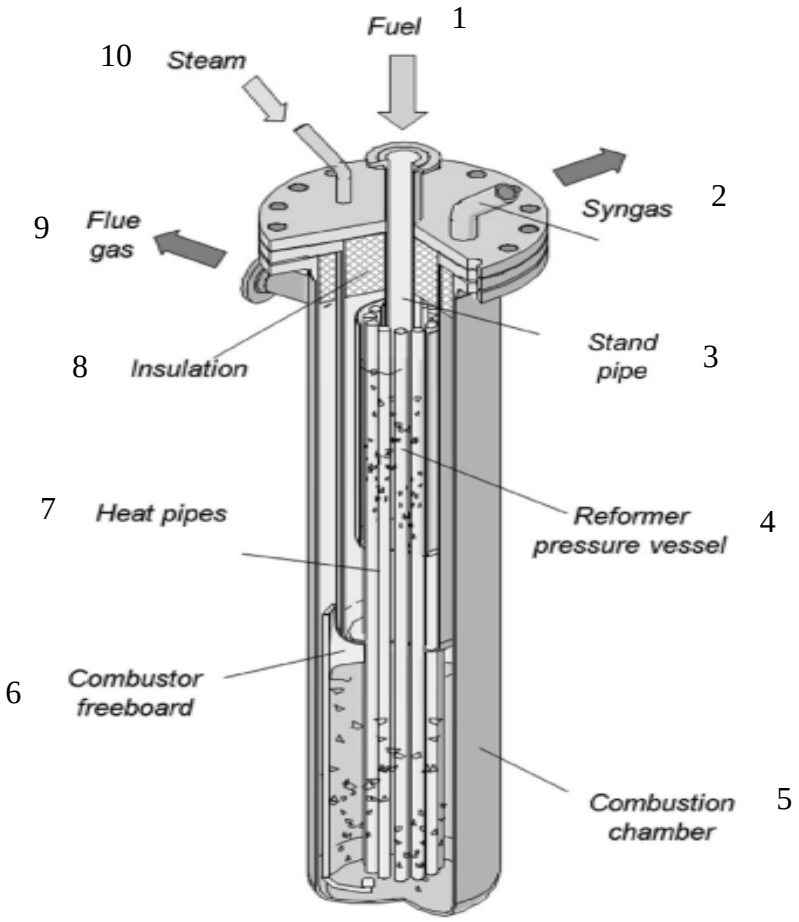
Вид топлива	**Влага аналитической пробы испытуемого топлива, %**				
	W_{a1}	**W_{a2}**	**$W_{ср\ а}$**		
Паллеты	10,2	10,68	10,44		
Древесная щепа	8,67	8,89	8,78		
Вид топлива	Зольность испытуемой пробы, %				
	A_{a1}	A_{a2}	$A_{a\ ср}$	A_c	A_p
Паллеты	1,5	1,7	1,6	1,8	1,81
Щепа	1	1	1	1,01	0,88
Вид топлива	Выход летучих веществ испытуемой аналитической пробы топлива, %				
	V_{a1}	V_{a2}	$V_{a\ ср}$	$V^{Г}$	
Паллеты	78,16	75,23	76,695	87,2	
Древесная щепа	79	81,21	80,11	88,7	

По итогам проведённого эксперимента и расчётам можно понять, что древесина сама по себе является хорошим сырьём для получения синтез-газа путём газификации, так как древесина по итогам расчётов имеет низкую влажность и зольность, а также высокий уровень выхода летучих веществ.

На рисунке 1 показана технологическая схема реформера Heatpipe: в отличие от других процессов газификации в двойном кипящем слое, газификация происходит в камере реформера под давлением 2-10 бар и 800 °C. Так как синтез-газ под давлением, это позволяет использовать его для сжигания в двигателях или газовых турбинах. Тепло для процесса подается из камеры сгорания, расположенной под реформером. Тепловые трубы соединяют оба процесса и транспортируют тепло от печи к газификатору. Для обеспечения высокого коэффициента теплопередачи к тепловым трубам и газификации,

сжигание происходит в псевдоожиженных слоях. Для снижения тепловых потерь и температурных напряжений на верхнем фланце реформер изолирован в верхней части. Пар и топливо подаются сверху; топливо поступает в псевдоожиженный слой по трубе-подставке. В таблице 2 приведены типичные составы синтез-газа. Система газификации может перерабатывать как биомассу, так и уголь в качестве сырья [2].

В Республике Беларусь в данный момент нет технологий газификации. В Российской Федерации в связи с дешевизной нефти данная технология не развивается в коммерческих целях в отличии от стран Европы.



1 – сырьё; 2 – синтез-газ; 3 – стоячая труба; 4 – сосуд под давлением реформера;
5 – камера сгорания; 6 – Надводный борт горения; 7 – тепловые трубки;
8 – изоляция; 9 – дымовой газ; 10 – пар
Рисунок 1 – Схема системы газификации Heatpipe Reformer:

Технологию получения синтез-газа традиционно внедряют на предприятиях лесной, мебельной промышленности как резервный источник питания. Отдельные мини-ТЭС промышленного масштаба также имеют место быть. Состав топлива напрямую влияет на низшую теплоту сгорания топлива и выработку тепловой и электрической энергии. Состав и теплосодержание топлива при различных топлива приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Состав синтез-газа при различных видах топлива

Компоненты	Вид топлива					
	Отходы производства			шелуха риса	лигнит	Бурый уголь БРЗ
	древесины	шелуха подсолнечника	солома			
H_2	15-21	14-17	14-15	14-20	14-20	14-20
N_2	44-50	44-48	46-51	50-54	44-54	42-54
CO	16-20	15-20	15-19	15-17	15-16	11-19
CH_4	1-3,5	4-6	1,5-3	2-4	1,5-3,5	2-3,5
CO_2	10-12	9-12	11-15	10-12	10-14	12-14
C_2H_4	0-0,3	0,6-0,9	0,2-0,8	0,3-0,5	0-0,1	0-0,7
низшая теплота сгорания, ккал/м3	1140-1360	1500-1550	990-1300	1040-1180	1090-1120	1160-1280

Требуемая влажность топлива для загрузки в газогенератор 8-13 %. Сырье, его качество и влажность влияют на его расход. В среднем 0,6-1,2 кг на получение 1 кВт электроэнергии.

В исследовании определим перспективность использования технологии ООО «ЦНИДИ» в промышленности лесозаготовки/мебельной промышленности.

Зададимся условием, что площадка по производству обрабатывает в год 55 тыс. м^3 в год древесины. Продукты переработки древесины имеют нулевую стоимость, отходы деревообработки не продаются и не закупаются.

По данным ООО «ЦНИДИ» расход топлива на кВт установленной мощности 0,8-1,2 м^3. Зная количество отходов в сутки, определим установленную электрическую мощность установки. Для нашей установки примем газификационную когенерационную установку типа SPANNER НКА 45х3 кВт. Внешний вид когенерационной установки приведен на рисунке 2.

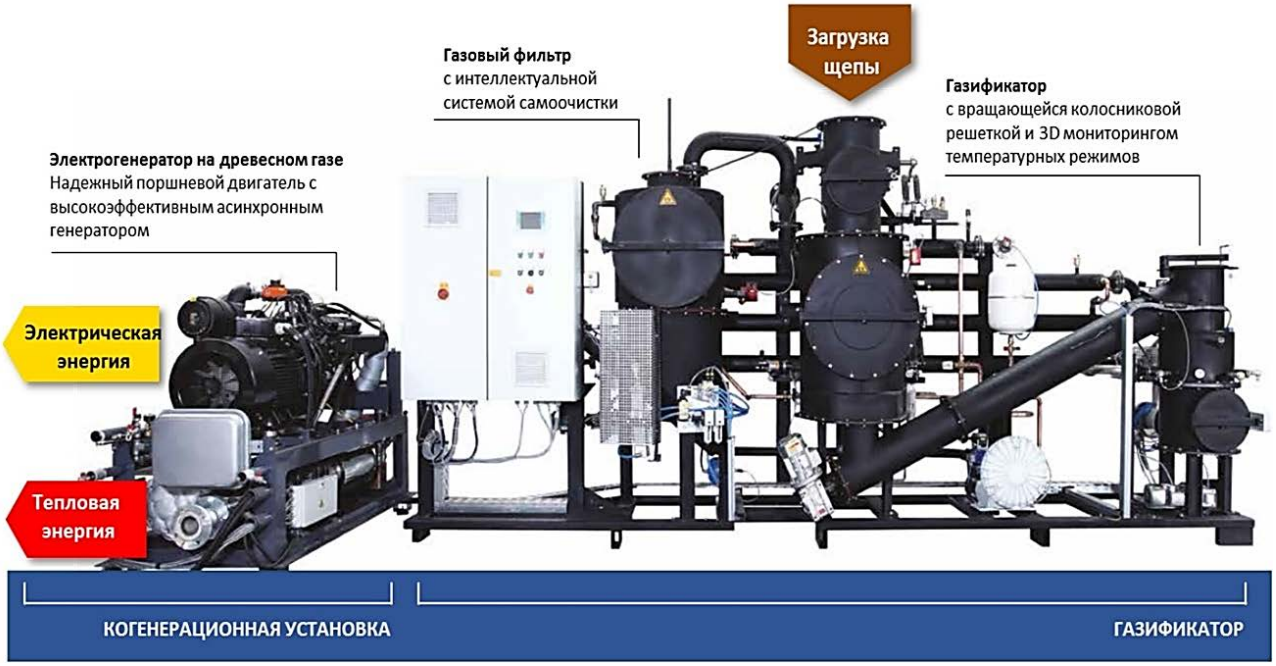


Рисунок 2 – Внешний вид когенерационной установки SPANNER

Среднестатистическая стоимость кВт установленной мощности для мини-ТЭЦ, когенерационных установок, установок синтез-газа 1000$. Экономический эффект

достигается путем снижения потребления электрической энергии и тепловой энергии от ТЭЦ. Экономия зависит от стоимости кВт·ч электрической энергии и Гкал тепловой энергии.

Принимается, что каждые 2000 часов, в нашем случае каждый год необходимо менять масло, что составляет 2 % от общей стоимости. Каждые 10000 часов работы (каждые 5 лет) необходимо проводить плановые ремонты, составляющие 10-15 % от общей стоимости. Спустя 30000 часов (15 лет) необходимо проводить капитальный ремонт, для капитальных ремонтов рассчитывается амортизация объекта, для упрощения расчета примем 5 % в год.

Простой срок окупаемости составил 3,8 лет, что является приемлемым, но существуют факторы, которые не оценены в расчете простого срока окупаемости: амортизация, затраты на техническое обслуживание и ремонты оборудования. Для этого рассчитаем чистый дисконтированный доход (ЧДД) и определим динамический срок окупаемости проекта (Тд).

Оценка эффективности использования средств, направляемых на реализацию инвестиционного проекта, производиться на основании ряда показателей, а именно:

- простой срок окупаемости ($Т_п$), не более 5 лет;
- динамический срок окупаемости ($Т_д$), не более 8 лет;
- чистый дисконтированный доход (ЧДД), не менее 0.

Таким образом, в результате расчета полученные значения ЧДД (рис. 3), внутренней нормы доходности (рис. 4) подтверждают эффективность использования средств, направляемых на выполнение данного энергосберегающего мероприятия.

В расчетах учтены амортизационные отчисления, плановые ремонты, текущий ремонт.

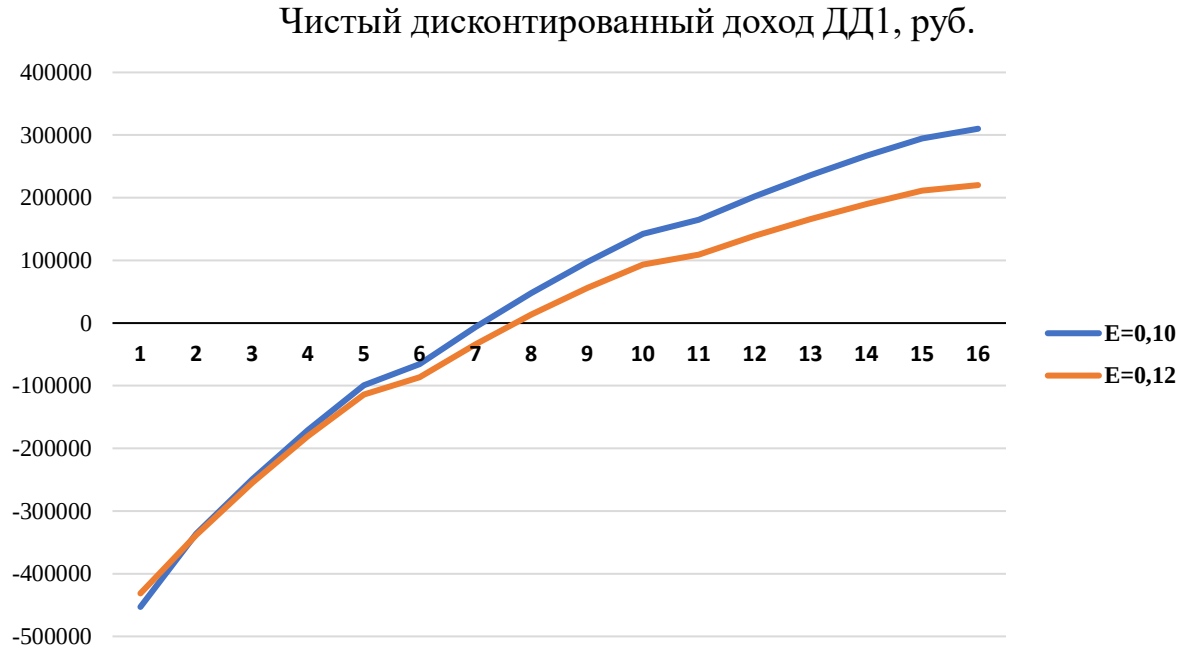


Рисунок 3 – Графический метод определения динамического срока окупаемости проектного решения при ставке 10 % и 12 %

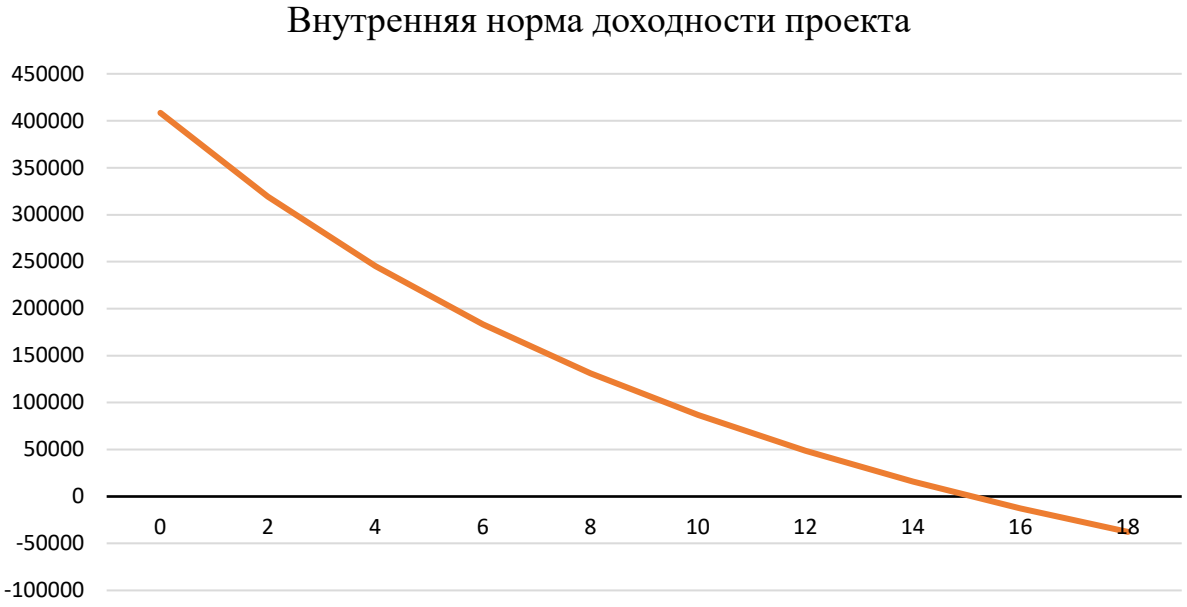


Рисунок 4 – Графический метод определения внутренней нормы доходности проекта

Анализируя полученные графики, можно сделать вывод, что проект имеет место быть при условии, что отходы древесины имеют нулевую стоимость. Для определения динамического срока окупаемости, с учетом закупки топлива необходимо проводить дополнительный расчет.

Заключение

По итогам лабораторного эксперимента были получены результаты, которые показывают, что содержание влаги и золы в древесной щепе и древесных паллетах, также был рассчитан, выход летучих веществ из сырья для получения синтез-газа крайне высокое, что делает использование этого сырья пригодным для получения синтез-газа.

В практической работе также был рассмотрен вопрос внедрения данной технологии на мебельной фабрике, с обработкой древесины 55000 м^3/год. Результаты показали, что установка, работающая на синтез-газе способна вырабатывать 253 МВт·ч/год и 566,47 Гкал/год. Выработки хватит, чтобы заместить часть энергоресурсов, получаемых от энергоснабжающих организаций.

В проекте был проведен расчет простого и динамических сроков окупаемости проекта. Результаты составили 3,4 и 6,6 лет соответственно. Была определена внутренняя норма доходности проекта – 15 %. В проекте не были учтены затраты на отходы производства, было принято, что они имеют нулевую ценность.

Литература

1. Химическая энциклопедия [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-himicheskaya-enciklopediya-tom-4-pol-tri.pdf /. – Дата доступа: 19.09.2024.

2. Производительность и эффективность системы газификации риформера с тепловыми трубками [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/317205418_Performance_and_Efficiency_of_the_Heatpipe_Reformer_Gasification_System /. – Дата доступа: 19.09.2024.

УДК 621.18

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОТЛА БКЗ-320-140ГМ
DESIGN FEATURES OF BOILER BBP-320-140GM

И.Г. Черенкевич, Н.Д. Рудаков
Научный руководитель – Н.В. Левшин, доцент, к.т.н.
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
I. Cherenkevich, N. Rudakov
Supervizor – N. Levshin, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье рассмотрены технические характеристики котлоагрегата БКЗ-320-140ГМ. Приведены его конструктивные особенности.*
Abstract: *This article discusses the technical characteristics of the boiler unit BKZ-320-140GM are considered. Its design features are given.*
Ключевые слова: *котел, пар, барабан, топка, аэродинамический выступ, пароперегреватель, регенеративный воздухоподогреватель, экономайзер.*
Keywords: *boiler, steam, drum, furnace, aerodynamic overhang, steam superheater, regenerative air heater, economizer.*

Введение

Паровые котлы являются основным способом получения теплоты и пара для различных технологических процессов. Одним из популярных представителей паровых котлов являются котлоагрегаты Барнаульского Котельного Завода (БКЗ), которые зарекомендовали себя как надёжное и эффективное оборудование. Котельный агрегат БКЗ-320-140ГМ является сравнительно редким парогенератором, который установлен на ряде промышленно отопительных ТЭЦ высокого давления Беларуси, к примеру, Гродненской ТЭЦ-2, что привлекает интерес к нему энергетиков из-за недостатка информации по его техническим и габаритным характеристикам. Этот факт и послужил мотивом к описанию данного котла в предлагаемой статье.

Основная часть

Котлоагрегат модели БКЗ-320-140ГМ однобарабанный, вертикально-водотрубный, с естественной циркуляцией, предназначенный для получения пара высокого давления при сжигании природного газа (в качестве резервного топлива может быть использован мазут). Компоновка котла выполнена по П-образной схеме (рис. 1). Топка является первым (подъемным) газоходом.

Параметры работы котла приведены в следующей таблице (табл. 1).

Таблица 1 – Параметры котла БКЗ-320-140ГМ

Номинальная производительность пара	**320 т/ч**
Рабочее давление пара в барабане	15,4 МПа (157 кгс/см^2)
Номинальное давление перегретого пара	13,8 МПа (140 кгс/см^2)
Номинальная температура перегретого пара	550 °С
Номинальная температура питательной воды	230 °С

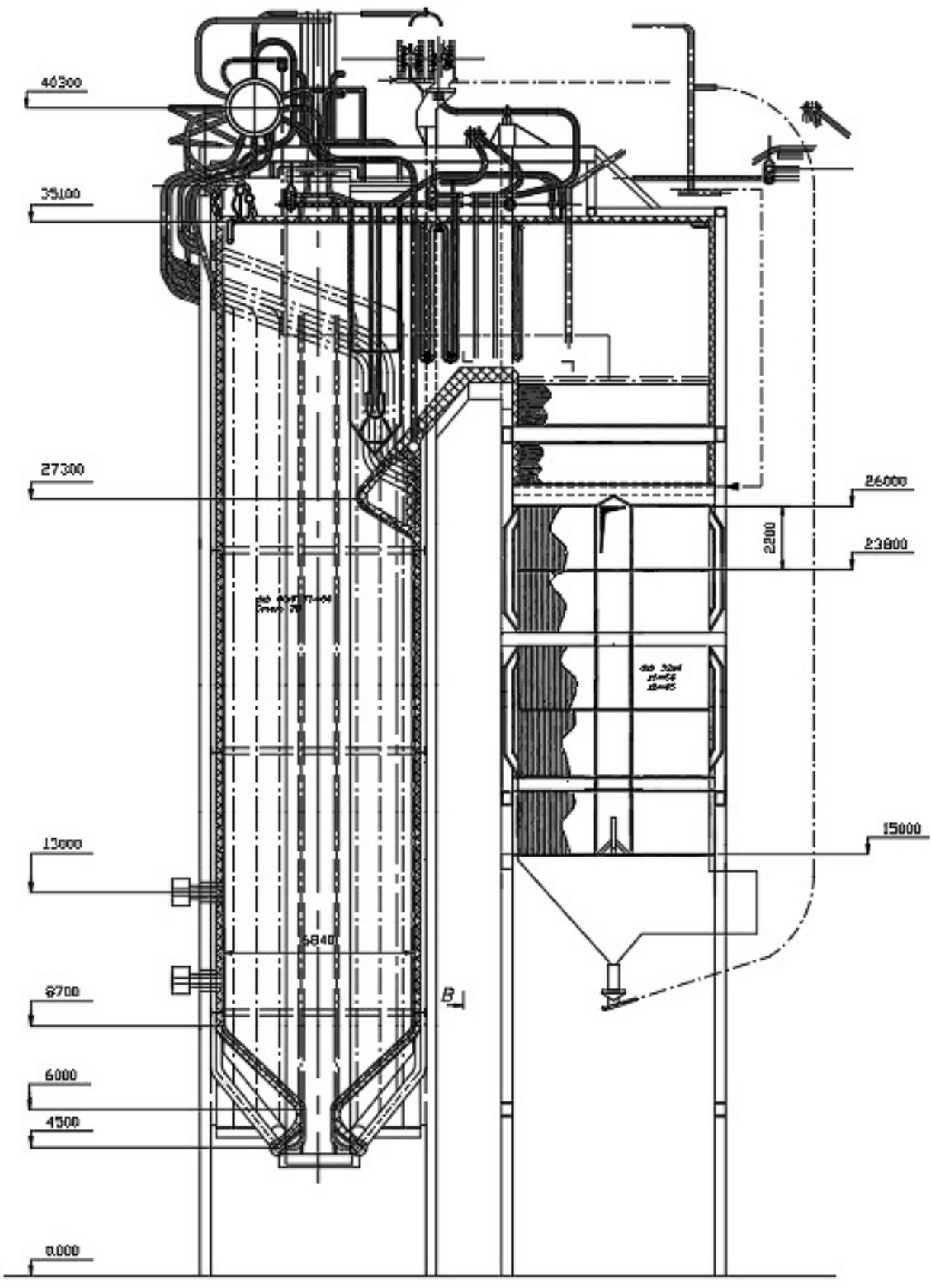


Рисунок 1 – Продольный разрез котла БКЗ-320-140ГМ [1]

На выходе из топки расположен ширмовый пароперегреватель, во втором (горизонтальном) газоходе расположены третья и четвертая ступени

пароперегревателя, в третьем (опускном) газоходе расположен экономайзер. Два регенеративных воздухоподогревателя (РВП) осуществляют подогрев воздуха для интенсификации процесса горения. Топочная камера котла является типичной для котлов схожей паропроизводительности и имеет призматическую форму объемом 1032 м². Размеры топки открытого типа по осям труб в горизонтальном плане составляют 5450х12096 мм. Фронтовой экран пятипанельный. В нижней и верхней части все панели фронтового экрана имеют собственные коллектора. Такую же пятипанельную конструкцию имеет и задний экран и в верхней части доходит до аэродинамического выступа. В нижней и верхней части все панели заднего экрана имеют собственные коллектора. Питание заднего экрана производится 17 трубами. Аэродинамический выступ, защищенный пароперегревательными панелями, разработан для оптимизации аэродинамических характеристик газового потока при выходе из топки, а также для обеспечения частичной защиты ширмового пароперегревателя от прямого теплового воздействия факела. Горелка предназначена для раздельного сжигания природного газа и мазута. Номинальная тепловая мощность горелки 40 МВт. Избыточное давление газа на горелке при номинальной нагрузке составляет 35 кПа (3500 кгс/м^2). Для сжигания мазута каждая горелка оснащена паромеханической форсункой типа ФПМ-3500. Избыточное давление мазута на форсунке 3,5 МПа, и не должно быть ниже 1,3 МПа. Внутренний диаметр барабана составляет 1600 мм, изготовлен из стали 16 ГНМ, имеет толщину стенки 115 мм и длину цилиндрической части 14300 мм. Уровень воды в барабане находится на 200 мм ниже геометрической оси, максимальное и минимальное значение должно быть в диапазоне 50 мм. Превышение уровня контролируется трубой аварийного слива. Двухступенчатая схема испарения с сепарационными установками обеспечивает требуемое качество пара (рис. 2).

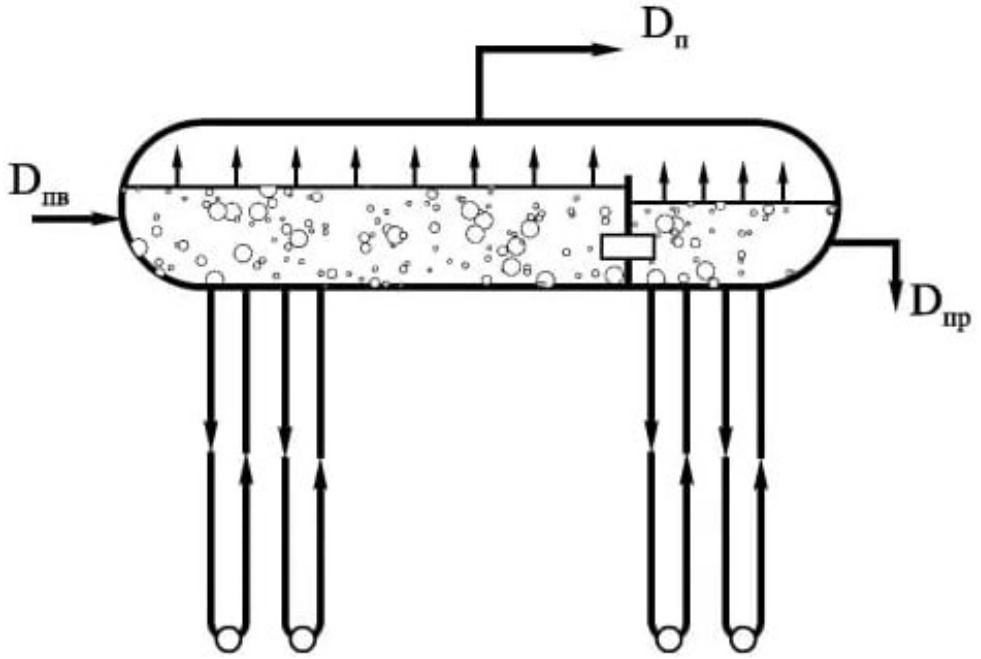


Рисунок 2 – Схема двухступенчатого испарения [2]

Пароперегреватель котла работает преимущественно в зоне радиационного теплообмена. Радиационная часть пароперегревателя включает потолочную и настенную часть топочного пространства, аэродинамический выступ заднего экрана, и верхнюю секцию опускного газохода. Ширмовый пароперегреватель играет роль полурадиационной части, где начинает преобладать зона конвективного теплообмена, и расположен на выходе из топки.

Зона конвективного теплообмена пакета пароперегревателей состоит из третьей и четвертой ступени и расположены в поворотной камере. За счет впрыска конденсата производится регулирование температуры пара в пароохладителях смешивающего типа первой и второй ступени. Змеевиковые конденсаторы производят необходимый для впрыска конденсат. Питательной вода, при этом, играет роль хладогента. Причем через конденсационные установки проходит все количество питательной воды, необходимое для впрыска.

Третья ступень водяного экономайзера расположена в верхней части конвективной шахты. Соответственной первая и вторая ступени находятся в нижней части конвективной шахты, при этом опускной газоход состоит их неэкранированной части, обшитой металлическими листами с наружной изоляцией.

Отличительной особенностью данного котла является схема питания, которая имеет однониточное исполнение. Как известно большинство парогенераторов имеют двухниточное исполнение. На отметке пола котельной установлена основная арматура питательного блока.

Для удаления отложений с нагревательных поверхностей котла используются следующие устройства:

- для нагревательных поверхностей, находящихся в опускной части газохода, применяются системы очистки с использованием металлической дроби;
- для нагревательных поверхностей РВП предусмотрены четыре аппарата обдува типа ОП и установки для промывки водой.

В качестве агента для обдувки используется перегретый пар под высоким давлением. Параметры этого пара включают температуру 550 °С и давление 13,8 МПа (140 кгс/см²). Период работы очистных устройств и промежутки между их включениями устанавливаются в процессе эксплуатации, чтобы температура дымовых газов, движущихся по газовому тракту, а также сопротивление конвективных участков не менялась.

Котельная установка оборудована двумя дутьевыми вентиляторами типа ВДН-20 с характеристиками при рабочем режиме: производительностью с запасом 10 % – 171×103 м^3/ч, полный напор с запасом 20 % при температуре рабочей среды 30 °С и указанной производительности – 42,9×10-4 МПа (438,2 кгс/м^2).

Осевое направляющее устройство выполняет функцию регулирования производительности вентиляционной установки. Скорость вращения – 1000 оборотов в минуту. Забор холодного воздуха производится из верхней части котельной и вне ее. Для поддержания требуемой температуры воздуха на входе

в воздухоподогреватель установлены калориферы. Установка состоит из 10-и калориферов типа СО-110-01, расположенных на напорной стороне дутьевых вентиляторов (по 5 штук на каждый). Подогрев производится паром с параметрами: давлением 6 кгс/см^2, температурой 158 °С. Для отсоса дымовых газов предназначены два дымососа типа Д21,5×2у с характеристиками при рабочем режиме: производительностью с запасом 10 % -305×103 м^3/ч, полный напор с запасом 20 % при температуре рабочей среды 200 °С и указанной производительности 46,0×10-4 МПа (469,4 кгс/м^2). Регулирование производительности дымососов осуществляется направляющими аппаратами осевого типа. Частота вращения электродвигателя – 740 об/мин. Два дымососа рециркуляции газов ВГДН-17 с характеристикой при рабочем режиме: производительность с запасом 10 % – 62,4×103 м^3/час, полный напор с запасом 20 % при температуре рабочей среды 331 °С – 44,8×10-4 МПа (457 кгс/см^2) подают дымовые газы в воздуховоды горелок. Регулирование производительности дымососов рециркуляции газов осуществляется направляющим аппаратом осевого типа. Частота вращения электродвигателя – 1480 об/мин. Подогрев воздуха осуществляется во вращающихся регенеративных воздухоподогревателях (РВП) – два в/подогревателя на котел. Очистка поверхностей нагрева осуществляется паром высокого давления в течение 2-3 минут. Для обдувки применяется стационарная многосопловая труба. Обдувка производится на работающем котле без отключения воздухоподогревателя.

Заключение

Конструкция котла обеспечивает долговечность и устойчивость к высоким нагрузкам. Различное топливо позволяет адаптировать котел под конкретные условия эксплуатации. Современные модели могут быть оснащены системами очистки выбросов дымовых газов, что снижает негативное воздействие на окружающую среду. Котел имеет высокую теплотворную способность, что делает его экономически выгодным в эксплуатации. БКЗ-320-140ГМ – это надежное решение для теплоэнергетических нужд в промышленности.

Литература

1. Энергетика. ТЭС и АЭС [Электронный ресурс] / Энергетика. ТЭС и АЭС. – Режим доступа: https://tesiaes.ru/?p=10619 /. – Дата доступа: 09.10.2024.

2. Паровые отопительные котлы БКЗ [Электронный ресурс] / Паровые отопительные котлы БКЗ. – Режим доступа: https://mosenergoinform.ru/kotel/bkz.htm /. – Дата доступа: 09.10.2024.

УДК 621.321

КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛА НА ТЭЦ
CORROSION OF METAL

В.В. Бакалова, Н.Д. Самсонов
Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
V. Bakalova, N. Samsonov
Supervisor – V. Romanko, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье подробно описаны виды коррозии металлических конструкций, их отличительные особенности и факторы, влияющие на ее развитие. Отдельно рассмотрены мероприятия по выявлению и предупреждению коррозии оборудования и трубопроводов на станции. В заключении делается вывод о значимости химводоочистки на ТЭЦ.*

Annotation: *This article describes in detail the types of corrosion of metal structures, their distinctive features and factors influencing its development. Measures to identify and prevent corrosion of equipment and pipelines at the plant are considered separately. In conclusion, the conclusion is made about the importance of chemical water treatment.*

Ключевые слова: *коррозия, отложения, лакокрасочные материалы, полимерные материалы, агрессивные примеси.*

Key words: *corrosion, deposits, paints, polymeric materials, aggressive impurities.*

Введение

На сегодняшний день проблематика коррозионного воздействия на металлические поверхности технического оборудования становится всё более выраженной. Данное воздействие имеет место быть при непосредственном контакте металла с так называемой агрессивной средой. В состав последней входят различного рода вредоносные примеси: кислород, углекислота и прочие соли/кислоты. Как следствие наблюдаются серьезные повреждения, сбои систем и преждевременное прекращение эксплуатации.

Основная часть

В зависимости от влияния тех или иных факторов, коррозия бывает:

- Равномерной, охватывая при этом всю поверхность объекта или значительную его часть. Ее скорость постоянна в течение всего коррозионного процесса. Данному типу коррозии присуще загрязнение теплоносителя и образование железосодержащих отложений на оборудовании, в результате чего толщина стенок труб или оборудования уменьшается, тем самым снижая эффективность работы последних и увеличивая затраты на их ремонт;
- Местной (локализованной), характеризующейся неравномерным коррозионным процессом. В результате чего возникают трещины, язвы, пятна и прочее;
- Химической (газовой), возникающей при контакте оборудования с паром

высоких параметров или сухим газом высокой температуры. Результатом вышеперечисленного выступает окислительный процесс металлических поверхностей (образование пленки, способствующей ускорению реакции) без возникновения электрического тока. На скорость развития коррозионного воздействия также влияет природа металла, характеристики среды (температура и состав);

- Электрохимической, проходящей в среде, способной проводить электрический ток (вода, влажный воздух, пар, растворы солей, кислот или щелочей). Наличие последнего значительно ускоряет коррозию;
- Кислородной, имеющей место при сжигании любого топлива (увеличение влажности топлива и содержания в нем водорода повышает риск возникновения данного вида коррозии);
- Сернокислой, как и предыдущая, однако в составе топлива должна присутствовать сера. Таким топливом является мазут и бурый уголь.

На развитие коррозии оказывает влияние ряд факторов. Повышение температуры для всех металлов уменьшает вероятность возникновения коррозии и в то же время увеличивает скорость протекания реакций, тем самым ускоряет коррозионный процесс. Немаловажна обработка металла перед его эксплуатацией: чем тщательнее и аккуратнее обработана металлическая деталь, тем меньше вероятность окисления металла.

Так, например, для обеспечения бесперебойной работы турбоустановок необходимо периодически наблюдать за возможным заносом солями их проточной части. Это происходит в процессе выпадения из пара твердых осадков, ведущему к сбою работы ступеней. При этом больше всего страдает последняя их них. Вследствие неблагоприятного воздействия солей наблюдается уменьшение проходного сечения соплового и лопаточного аппарата, рост давления на отдельные элементы турбины (диафрагмы, диски), как результат увеличение утечек через уплотнения, появление шероховатости стенок оборудования, рост потерь, ведущий к снижению эффективности работы турбины. В условиях значительного заноса приходится снижать нагрузку во избежание еще больших повреждений. Соли в турбину попадают из котла вместе с паром в силу некачественной работы сепараторных установок котла, резкого подъем уровня воды, скачков нагрузки, вспенивания воды, а также ухудшения водного режима. Последняя является наиболее частой причиной заносов солями турбоагрегатов. Соли по своему свойству делятся на растворимые в воде ($Na_2CO_4, Na_2SO_4,\ NaCl$), плохо растворимые и нерастворимые. К плохо растворимым и нерастворимым относятся соли меди, железа, кальция, алюминия и кремния ($Cu_2O, CuO,\ Fe_2O_3, CaO,\ Ca_2CO_3, MgO,\ Al_2O_3, SiO_2$). Турбинам низкого и среднего давления присущ занос растворимыми в воде солями, попадающими в проточную ее часть за счет капельного уноса частиц жидкости с поверхности испарения. Следует отметить, что в области влажного пара эти соли не откладываются. По мере перехода на пар высоких параметров нерастворимые и слаборастворимые в воде соединения становятся актуальнее. Их попадание в турбину обусловлено молекулярным уносом, возникающим при

растворении солей в сухом насыщенном паре высокого давления. Соли, растворенные в паре, находятся в равновесном состоянии, однако в процессе расширения в турбине они переходят в перенасыщенное состояние и выпадают из пара в виде твердого кристаллического осадка. Состав выпадающего осадка напрямую зависит от начальных параметров пара. Так с увеличением давления наблюдается переход от образования солей кремния к окиси железа. В паре сверхкритических параметров наблюдаются большое количество соединений меди. Эти соединения являются продуктом коррозии латунных трубок конденсатора и ПНД. Здесь влияние отложений особенно велико из-за малых размеров сопл и лопаток. Все вышеперечисленное ведет к снижению КПД установки и годовому перерасходу условного топлива [2].

Вследствие воздействия кислот и щелочей на металлические конструкции, для их защиты применяют специальные кислотно-стойкие покрытия – такие как лакокрасочные материалы, эмали, лаки и другие. Так в качестве защиты железобетонных баков для хранения соли и коагулянта используют кислотоупорный кирпич на андезитовой мастике. Бетонированные нижние днища фильтров, выполненные из бетона, оборудованы защитным покрытием из перхлорвинила. К зданиям, где будут установлены насосы и баки для измерения, предъявляются определенные требования. Чтобы предотвратить коррозию, полы и нижняя часть стен должны быть выполнены из керамических плит, так как они устойчивы как к щелочам, так и к кислотам. Чтобы избежать теплопотерь, оборудование и трубопроводы на открытых площадках или внутри помещений (температура не превышает 45 °С) нужно изолировать. Выбор изоляции определяется ее способностью обеспечивать минимальные потери, а также возможностью воды не замерзать при температуре окружающей среды -40 °С. Если диаметр трубопровода составляет от 57 до 273 мм, то его изолируют с помощью минераловатных скорлуп, а если диаметр находится в диапазоне от 325 до 426 мм – используют минераловатные листы с асбестоцементной прослойкой и окраской. Баки с едким натрием, серной кислотой и т.д. снабжены подогревом с использованием сетевой воды. В этом случае изоляция накладывается поверх нагревающих труб [3].

Согласно статистике, большинство аварий на тепловых электростанциях возникают вследствие сбоев в работе оборудования. Эти сбои связаны с процессами коррозии оборудования, трубопроводов или установленных на них задвижек, компенсаторов, кранов и другой запорной или вспомогательной арматуры. На развитие процесса коррозии металлических элементов особое влияние оказывает водный режим на станции. При недостаточно качественном проведении работ по очистке воды можно наблюдать примеси железа или меди в воде, говорящие о наличии коррозии основного или вспомогательного оборудования. Результат коррозионного воздействия можно увидеть на примере оборудования Могилевской ТЭЦ-1, представленного на рисунках 1 и 2.



Рисунок 1 – Коррозия стыка задвижек



Рисунок 2 – Коррозия запорной арматуры

Одним из ключевых аспектов предотвращения коррозии оборудования является защита внутренней поверхности устройств и трубопроводов с помощью различных полимерных материалов. Применение этих материалов позволило заменить дорогие и редкие цветные металлы на обычную углеродистую сталь. Кроме того, работники химического цеха должны обеспечивать постоянное и тщательное наблюдение за качеством проводимых операций. Как показывает практика, ослабление внимания к этому вопросу часто приводит к снижению эффективности рабочих процессов.

Заключение

Для исправной работы электростанции необходимо обеспечивать непрерывный контроль над такими процессами, как образование накипи на поверхности котлов или отложений в турбоагрегатах, а также за факторами, вызывающими коррозию. К ним относится качество воды или пара, оказывающее влияние на интенсивность процесса [4]. Следовательно, по результату разработки надежной системы подготовки воды, обеспечивающей высокое качество воды без коррозионных примесей, можно достичь снижения интенсивности коррозионного процесса. Однако, полностью предотвратить процессы коррозии невозможно. Для обеспечения долговечности и надежности работы энергетических установок необходимо разработать инновационные подходы к управлению процессами коррозии, обеспечивая равномерное и умеренное протекание этого процесса.

Литература

1. Аппаратчик химводоочистки [Электронный ресурс] / Аппаратчик химводоочистки. – Режим доступа: chrome-extension://mhjfbmdgcfjbbpaeojofohoefgiehjai/index.html /. – Дата доступа: 24.03.2024.

2. Эксплуатация паротурбинных установок [Электронный ресурс] / Эксплуатация паротурбинных установок. – Режим доступа: https://dl.libcats.org/genesis/162000/e0974750830d8f8faa28e63868f14bfa/_as/[B.E. Kapelovich]_YEkspluataciya_paroturbinnueh_ust(libcats.org).pdf /. – Дата доступа: 28.09.2024.

3. Водохимический режим и водоподготовка на мощных КЭС и ТЭЦ [Электронный ресурс] / Водохимический режим и водоподготовка на мощных КЭС и ТЭЦ. – Режим доступа: https://studfile.net/preview/7246883/page:7 /. – Дата доступа: 20.03.2024.

4. Совершенствование водно-химического режима ТЭЦ [Электронный ресурс] / Совершенствование водно-химического режима ТЭЦ. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-vodno-himicheskogo-rezhima-tets-srednego-davleniya/viewer /. – Дата доступа: 05.04.2024.

УДК 338.984

МЕМБРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ВОДЫ
MEMBRANE WATER PURIFICATION TECHNOLOGIES

В.Р. Бежелев, Е. М. Стельмак
Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
V. Bezhelev, E. Stelmak
Supervisor – V. Romanko, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье рассмотрим принцип работы мембранной технологии очистки воды и подробно опишем преимущества и недостатки данной технологии.*

Abstract: *In this article, we will look at the operating principle of membrane water purification technology and describe in detail the advantages and disadvantages of this technology.*

Ключевые слова: *мембрана, очистка, эффективность, вода, загрязнения.*
Keywords: *membrane, cleaning, efficiency, water, pollution.*

Введение

Мембранные технологии очистки воды – это наиболее совершенные методы фильтрации, в основе которых лежит использование полупроницаемых мембран для исключения различных примесей и загрязнений из воды. Эти технологии широко используются в различных приложениях, включая очистку питьевой воды, очистку сточных вод и опреснение.

Основная часть

Данный мембранный метод очистки стал одним из передовым методом очистки воды за последние годы и следовательно использование данный тип фильтра широко распространен среди промышленности и различных исследованиях, а сравнительно недавно было продемонстрировано, что ее также можно использовать и для очистки сточных каналов. Мембранный метод основывается на таком процессе, который управляется давлением. Как только поток воды попадает на мембрану и собирается по обе стороны фильтрующего элемента разделяется на два отдельных потока. Поток с большим объемом, проходя через мембрану, сливается уже очищенным и уходит потребителю. Другая часть воды смывает всю скопившеюся грязь с сетки, через которую только что прошел первый поток, и отводится (отсасывается) в дренажную зону. Степень фильтрации зависит от размеров пор в сетке, то есть чем они меньше, тем лучше очистка.

Существуют несколько типов классификации мембран в зависимости от размеров пор в сетке:

- Микрофильтрация. Это такой тип мембран, в котором происходит разделение частиц от поступающей жидкости. Их размер варьируется от 0,1 до 10 микрометров, что обеспечивают эффективное удаление так называемой мутности: взвешенные твердые вещества, коллоидные

частицы и другие более крупные субстанции. За счет таких больших размеров пор эти мембраны микрофильтрации служат только для удаления крупных частиц и, как правило, являются самой первой ступенью очистки. Еще одной проблемой этих мембран является высокая степень загрязнения в сравнении с другими, что требует наиболее частой очистки или их смены;

- Ультрафильтрация. Мембраны ультрафильтрационной очистки используются в наиболее мелких масштабах чем в микрофильтрации. Размеры пор изменяются в диапазоне от 0,01 до 0,1 микрометра. Такой размер пор может отделять более мелкие частицы, коллоиды и другие вещества. Очень важны материалы использующиеся при изготовлении этих мембран, которые обеспечивают долговечность работы, такие как полиэфирсульфон, ацетат целлюлозы, керамические покрытия и другие.
- Ультрафильтрация. Данный тип мембран используется между обратным осмосом (RO) и ультрафильтрацией. В среднем размеры пор составляют от 1 нанометра до 10 нанометров, что способны останавливать наиболее мелкие частицы, молекулы и стараются задерживать некоторые соли, которые содержатся в воде;
- Обратный осмос (RO). Это последняя ступень очистки, размеры пор которой самые узкие и составляют менее 1 нанометра. Служат для задержания растворенных солей, гумусовых веществ, вирусов и других самых мелких молекул. В большинстве случаев они изготавливаются тонкопленочных материалов, таких как полиамидного и полиэфирсульфоновом слое.

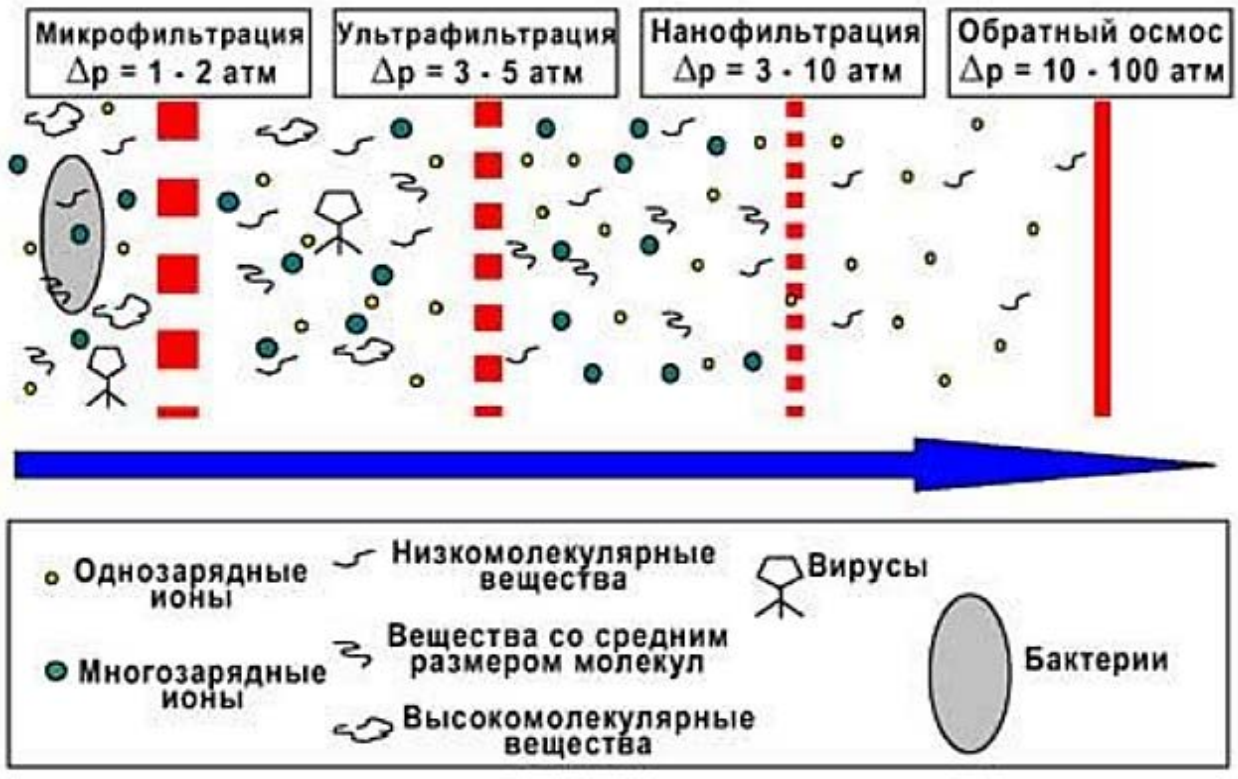


Рисунок 1 – Классификация мембранных процессов по удаляемым примесям [1]

Больше всего распространены пористые мембраны в котором жидкость переносится с помощью конвективного потока в порах. Они также осуществляют свою деятельность в процессах обратного осмоса, микро- и ультрафильтрации. Менее распространены непористые мембраны (диффузионные). Они в основном используются для разделения жидкой и газовой фазы с помощью метода испарения через мембрану, так как имеют большое гидравлическое сопротивление [1].

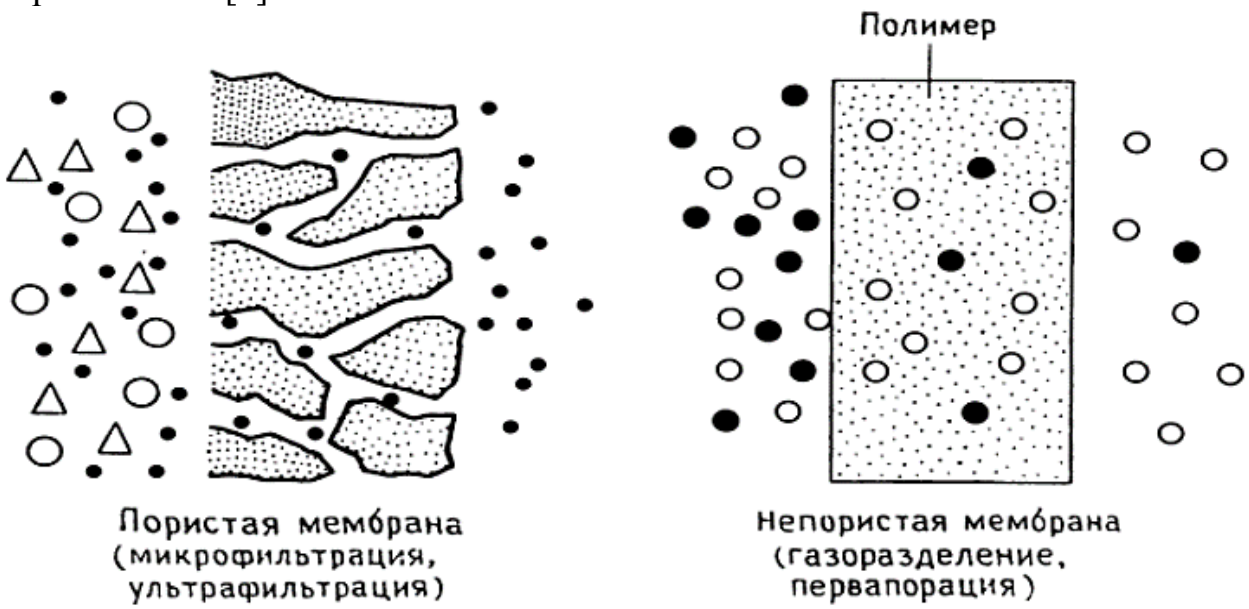


Рисунок 2 – Классификация мембранных процессов по структуре пористости [2]

Мембранные процессы бесспорно имеют некоторые преимущества при очистке воды на теплоэлектростанциях, в сравнении с другими технологиями [2]:

- Первой и самой главной составляющей этого процесса является достижение наибольшей эффективности. В этом неотъемлемую роль играет такой процесс как обратный осмос (RO), который, в свою очередь, позволяет искоренять из воды минералы, различные растворенный соли и другие соединения или примеси с высокой эффективностью. Выше описанное способствует улучшению качества воды, которая может использоваться, в различных видах, на тепловых электростанциях;
- Уменьшение концентрации химикатов во время очистки. Мембранные процессы могут справляться с меньшим количеством химикатов или вообще исключить их, что снижает потребность в использовании этих химикатов и, соответственно, выбросы в окружающую среду сводятся к нулю;
- Мембранные технологии снижают расход воды за счет повторного использования перерабатываемой воды. В процессе очищения и обеззараживания речных или сточных вод, мембраны способны осуществлять качественную очистку этих вод, что, в свою очередь, позволяет повторно подавать эту воду в качестве питательной воды, для градирен и других различных процессов. Эти действия приводят к экономии воды на станции и рациональному ее использованию;

- Избежание образования накипи и ее подобных образований. Мембранный процесс очистки ликвидирует различного рода накипи и наростов появляющихся в основном в вспомогательном оборудовании и в котлах из-за наличии солей и примесей в воде. Чистая вода – залог долговечности оборудований станции и, следовательно, повышение ее эффективности;
- Мембранные технологии позволяют следовать экологическим стандартам. В данном случае речь идет о качестве сбрасываемой воды. Мембраны уменьшают концентрацию, а где-то и полностью исключают, вредных соединений и загрязняющих веществ, что минимизирует воздействие на окружающую среду.

Помимо некоторых преимуществ присутствуют и недостатки в этом процессе [3]:

- Существенные первоначальные денежные вложения. Мембранные технологии, а также их установка, весьма дорогое удовольствие, которая не каждая компания может потянуть. По этой причине начальные инвестиции играют очень важную роль в осуществлении этой технологии;
- Большие энергетические затраты. Наибольшие затраты на энергию тянет на себе в мембранных процессах работа обратного осмоса (RO), в котором необходимо поддерживать высокое давление, вынужденное для процесса разделения, что приводит к дополнительным затратам энергии. Данные затраты энергии влияют эффективность станции и повышение самих затрат;
- Замена и техобслуживание мембран. Сами мембраны необходимо менять или производить очистку через определенный промежуток для избежание выхода из строя всего устройства. Эта очистка включает промывку, химическую обработку и отслеживание для избежания будущего загрязнения. Обслуживание или, в крайних случаях, выход из строя и последующая замена может требовать больших денежных ресурсов и определенного опыта;
- Выведенные из строя мембраны, по причине окончания срока службы или определенной поломки, требуют утилизации. При их утилизации могут возникнуть некоторые проблемы для окружающей среды, так как в них содержится большая концентрация загрязняющих веществ и разных химикатов, которые могут нанести вред природе, что приводит нас к дополнительным затратам на утилизацию.

Поскольку теплоэлектростанциям в большинтсве случаев необходимо располагаться вблизи рек, озер или других водных источников для процессов охлаждения и т.д. они подвергаются применению загрязненной воды. Раньше все проблемы с коррозией и накипи основывались на использовании загрязненной воды. Низкое качество воды снижает эффективность всей системы станции и приводит к сокращению срока службы вспомогательного оборудования. Учитывая все вышесказанное, можно сделать вывод, что от степени очистки воды зависит вся работа станции.

Заключение

В общем и целом, большую эффективность для решения проблемы с охлаждением воды в промышленности служат эжекционные градирни, в частности, проблемы с загрязненной водой.

Литература

1. Водоподготовка на тепловых станциях [Электронный ресурс] / Водоподготовка на тепловых станциях. – Режим доступа: http://www.chipk.ru/data/2_15_Nikolaeva_membrannie_tehnologii.pdf /. – Дата доступа: 12.04.2024.

2. Водоподготовка водно-химические режимы в теплоэнергетике [Электронный ресурс] / Водоподготовка водно-химические режимы в теплоэнергетике. – Режим доступа: https://www.tstu.ru/book/elib1/pdf/2023/XoroxorinaIV.pdf /. – Дата доступа: 12.04.2024.

3. Комплексные технологические схемы очистки сточных вод с возвратом воды в производство [Электронный ресурс] / Комплексные технологические схемы очистки сточных вод с возвратом воды в производство. – Режим доступа: https://ogbus.ru/files/ogbus/issues/5_2015/ogbus_5_2015_p336-375_BalandinaAG_ru.pdf /. – Дата доступа: 12.04.2024.

УДК 628.192

МЕТОД КОАГУЛЯЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

THE METHOD OF COAGULATION TREATMENT OF INDUSTRIAL WASTEWATER GENERATED IN THE OLL-PRODUCING INDUSTRY

А.В. Шунькевич, Л.В. Маркевич
Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Shunkevich, L. Markevich
Supervisor – V. Romanko, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье отображено исследование по глубокой очистке проб воды, взятых из промышленных сточных вод, полученных в результате нефтедобывающей промышленности, и содержащих в своём составе гидрофильные и гидрофобные эмульсии из нефти и органических взвешенных веществ. Очистка вод была осуществлена при помощи коагуляционного метода, отвечающего требованиям экологической безопасности, вследствие чего были удалены взвешенные вещества и нефть.*

Abstract: *This article shows a study on the deep purification of water samples taken from industrial wastewater obtained as a result of the oil industry, and containing hydrophilic and hydrophobic emulsions of oil and organic suspended solids. Water purification was carried out using a coagulation method that meets the requirements of environmental safety, as a result of which suspended solids and oil.*

Ключевые слова: *нефтедобыча, эмульсия, производственные сточные воды, коагуляция, гидрофобный, гидрофильный.*

Keywords: *oil production, emulsion, industrial wastewater, coagulation, hydrophobic, hydrophilic.*

Введение

Как известно, добыча нефти является одним из этапов нефтяной промышленности, в ходе которого происходит извлечение нефти из недр, её очистка от воды и механических примесей и конечной обработки для иных технологических процессов. В ходе этих процессов естественным образом образуются промышленные сточные воды (ПСВ). Их особенностью является наличие компонентов моторных и трансмиссионных минеральных масел, смазочно-охлаждающих жидкостей. Состав и характеристики ПСВ, образующихся при процессах подготовки нефти для иных технологических процессов, могут быть отличны от других ПСВ. Они могут иметь в своём составе все категории примесей:

- Взвешенные – представляют из себя твёрдые частицы, которые находятся в воде в виде суспензий. Чаще всего это песок, ил, пыль и другие мелкие частицы;
- Органические – это примеси, образующиеся из живых организмов и их

остатков (растительное и животные вещества);
- Минеральные – это неорганические вещества, такие как минералы, соли и металлы;
- Газовые – представляют из себя газы, растворённые в воде, такие как кислород, углекислый газ и азот.

Так же в теплоэнергетике используют следующую классификацию воды по степени дисперсности:
- Грубодисперсные примеси – образуют с водой гетерогенную систему. Состоят из глины, песка, мелкой растительности. Они легко удаляются фильтрованием, отстаиванием;
- Коллоиднодисперсные – это дисперсные частицы, также образуют с водой гетерогенную систему. Они настолько малы, что отфильтровать их не возможно. Коллоидные частицы обычно имеют диаметр от 10^{-4} до 10^{-6} мм и несут на себе отрицательный электрический заряд. За счёт присоединения положительно заряженных ионов из окружающей среды раствора коллоидные частицы окружены двойным электрическим слоем. Одним из способов их образования – попадание дизельного топлива;
- Молекулярнодисперсные – образуют с водой гомогенную систему и представлены в виде отдельных ионов, молекул, компонентов.

Одним из методов очистки ПСВ от коллоидных частиц является коагуляционный метод. В растворах могут находится настолько мелкие частицы, что ни одни фильтр не способен от них очистить и для решения данной проблемы используют эффект слипания первичных частиц, когда увеличивают размер этих мелких частиц вводными элементами, заставляющими их слипнуться между собой. Данные вводные элементы называют коагулянты и флокулянты.

Коагулянты и флокулянты – неорганические соли, при соприкосновении с водой образующие элементы с зарядом, противоположным тому, который имеют частички присутствующей в жидкости взвеси. Благодаря разности потенциалов, «очиститель» притягивает загрязнения, объединяя их в конгломераты, которые несложно удалить из емкости. В промышленности часто применяют коагулянты на основе сульфата, гидроксохлоида, гидросульфата алюминия и хлорида железа. Для усиления реакции коагуляции используют флокулянт, который является высокомолекулярным полимерным соединением.

Основная часть

Одним из способов удаления в ПСВ смол, масел и жиров применяют петролейный эфир лёгкого вида с температурой образования при нагреве от 45 до 75 °С, а для очистки от коллоидных и взвешенных примесей коагулянт $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$. Для полной очистки и осветления используют нейтрализующий раствор $NaHCO_3$ или $CaHCO_3$. С помощью разработанного нового метода коагуляции можно добиться очистки ПСВ не только в соответствии с экологическими нормами предприятий, но и с концентрацией в 10 раз ниже допустимых норм.

Как отмечается в технической литературе, метод коагуляции в основном используется для очистки природных вод от коллоидных и взвешенных примесей. Чтобы осадить примеси этим методом, используют коагулянт,

который компенсирует отрицательный заряд коллоидных частиц, вследствие чего они теряют стабильность. При использовании $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ в водоподготовке в качестве эффективного коагулянта качественным преимуществом является то, что он сначала гидролизуется. Образовавшаяся кислота реагирует с бикарбонатом $NaHCO_3$ или $CaHCO_3$ и образует нейтральную среду. Это происходит по следующему механизму [1]:

$$Al_2(SO_4)_3 + 6H_2O \longleftrightarrow Al(OH)_3 + 3H_2SO_4, \quad (1)$$

$$H_2SO_4 + 2NaHCO_3 \longleftrightarrow Na_2SO_4 + 2CO_2 + 2H_2O. \quad (2)$$

В ходе реакций было отмечено, что при использовании $Al_2(SO_4)_3$ большого процента и в большом количестве при очистке образцов ПСВ привело к осаждению нефтяных эмульсий наряду с механическими смесями, что не допустимо при очистке ПСВ. Поэтому для решения данной проблемы необходимо соблюдать оптимальные условия для эффективного использования данного коагулянта. Температура воды должна быть не менее 35-40 °С, высокая температура воды положительно влияет на скорость и качество процесса химической коагуляции. При проведение реакции необходимо в качестве экстрагента использовать «петролейный эфир», который как положительно влияет на качество нефти, так и с точки зрения экологии и экономии является важным реагентом. Для повышения скорости очистки ПСВ (увеличения скорости коагуляции) используется флокулянт FK-1 5 % H_2SO_4 кислоты в удвоенном количестве раствора коагулянта $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, 5 % раствор компонента (условное обозначение К-1), экстрагент нефтяного эфира ЭК-1 (бензиновая фракция 40-70 °С), НК (нейтрализующий компонент) $NaHCO_3$ или 5 % раствор $CaHCO_3$. Вынесем в таблице 1 полученные данные проведённой экспериментальной работы.

Таблица 1 – Данные проведённой экспериментальной работы

Образец пробы ПСВ	**Параметры перед очисткой**			**Компоненты, используемые в очистке**			**Параметры после очистки**		
	Объём нефти, мг/л	**pH среды**	**Цвет**	**К-1, мг/л**	**ЭК-1, мг/л**	**НК, мг/л**	**Объём нефти, мг/л**	**pH среды**	**Цвет**
№ 1 «Нефтяные камни»	500-1000	6,8-7,5	тёмно-серый	3-5	2-3	1-2	≤ 0,01	7,0	прозрачный
№ 2 Сухалина	500-1000	6,8-7,5	тёмно-серый	3-5	2-3	1-2	≤ 0,01	7,0	прозрачный
№ 3 Амеровская нефть	500-1000	6,8-7,5	тёмно-серый	3-5	2-3	1-2	≤ 0,01	7,0	прозрачный

Однако, несмотря на определенные результаты полного разделения стойких "нефтяных" эмульсии в ПСВ пока не удалось. Как показывает практика в лабораторных условиях в несколько этапов до 100 % разделения водонефтяной эмульсии даже при оптимальных технологических схемах за счет создания

комбинированного термохимического осаждения, на заключительном этапе за счет создания электрического поля, при использовании различных характеристик демульсификаторов и параметров достичь удалось [2]. Несмотря на это данный метод является одним из методов очистки ПСВ не способных наносить ущерб флоре и фауне бассейнов, а на сегодняшний день это одна из острых экологических проблем нефтеперерабатывающей промышленности.

Заключение

Как уже отмечалось выше, что в нефтеперерабатывающей промышленности при использовании методов очистки ПСВ может наноситься ущерб флоре и фауне бассейнов, поэтому использование коагулянта $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ и петролейный эфир лёгкого вида с использованием нейтрализующего раствора $NaHCO_3$ или $CaHCO_3$ является одним из способов очистки ПСВ от смол, масел, жиров, коллоидных и взвешенных примесей с минимальным вредом флоре и фауне. Экологические результаты очистки промышленных сточных вод (ПСВ) образующихся в нефтеперерабатывающей промышленности, полученные по данной методике в лабораторных условиях, имеют в 10 раз больше экологических и экономических преимуществ, чем результаты существующих научных исследований, на которые выданы патенты на изобретения и авторские свидетельства.

Литература

1. Общая Химическая технология и Промышленная экология / С.А. Новрузов. – Баку: Просвещение, 1991. – 345 с.

2. Тулеман, Ю.С. Чистка сточных вод на нефтеперерабатывающих заводах / Ю.С. Тулеман, В.С. Щербель // Экология производства. Науч.-технич. Журнал. – 2011. – № 4. – С. 1-2.

УДК 628.161

МЕТОДЫ УДАЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА ИЗ ВОДЫ
METHODS OF REMOVING IRON FROM WATER

В.Н. Санько, Д.А. Махонько
Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
V. Sanko, D. Makhonko
Supervisor – V. Romanko, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье рассматриваются методы удаления железа из воды путем предварительной подготовки и фильтрации, рассматривается принцип действия фильтров.*
Abstract: *This article discusses methods for removing iron from water by pretreatment and filtration, and examines the principle of operation of filters.*
Ключевые слова*: вода, водоочистка, железо, фильтрация, обезжелезивание.*
Keywords*: water, water treatment, iron, filtration, degreasing.*

Введение

Система водоподготовки – это один из самых значительных элементов любого предприятия в области энергетики, так как качество воды влияет на работу всей системы предприятия в целом, на долговечность и эффективность использования оборудования. Если не соблюдать все должные правила подготовки воды, то появляется коррозия на металлах, что способствует разрушению труб. Также образуется накипь, она в свою очередь уменьшает теплопроводность труб, в следствии плохо передается тепло, что приводит к разрыву материала поверхности. Для водоснабжения предприятий используются природные источники: реки, озёра, грунтовые воды. Как правило в таких источниках высокое содержание солей, кислорода, различных примесей, поэтому требуется очистка воды в несколько этапов для дальнейшего ее использования в ходе технологического процесса.

Основная часть

Различают множество видов очистки воды, подробнее рассмотрим физико-химический метод обезжелезивания воды. Процесс удаления железа из воды является сложной задачей, так как в ней содержится большое многообразие соединений железа. Наиболее актуальный метод обезжелезивания проходит в два этапа. Первый этап – предварительная подготовка, второй – фильтрация. С помощью предварительной подготовки соблюдаются условия благоприятные для перевода соединений железа в нерастворимую форму, облегчающее последующее удаление. Она включает в себя:

- простая аэрация окисления происходит за счет растворенного в воде кислорода (подходит для воды с содержанием железа до 10 мг/л);
- принудительная аэрация (для воды с содержанием железа больше 10 мг/л);
- введение окислителей. Например хлор активно окисляет железо

переводя его в нерастворимую форму;
- использование железосодержащих коагулянтов. Не рекомендуется, так как может привести к дополнительному загрязнению воды;
- фильтрование через каталитически активную засыпку [1].

Каталитическое очищение с последующей фильтрацией – это метод очистки воды, который широко используются благодаря своей простоте, доступности и выосокой эффективности. Суть метода основан на использовании специальных фильтрующих материалов, выступающих в роли катализаторов, ускоряющих процесс превращения растворенного железа в нерастворимую форму, которая затем удаляется механически. Принцип работы фильтра и его составляющие компоненты представлены на рисунке 1.

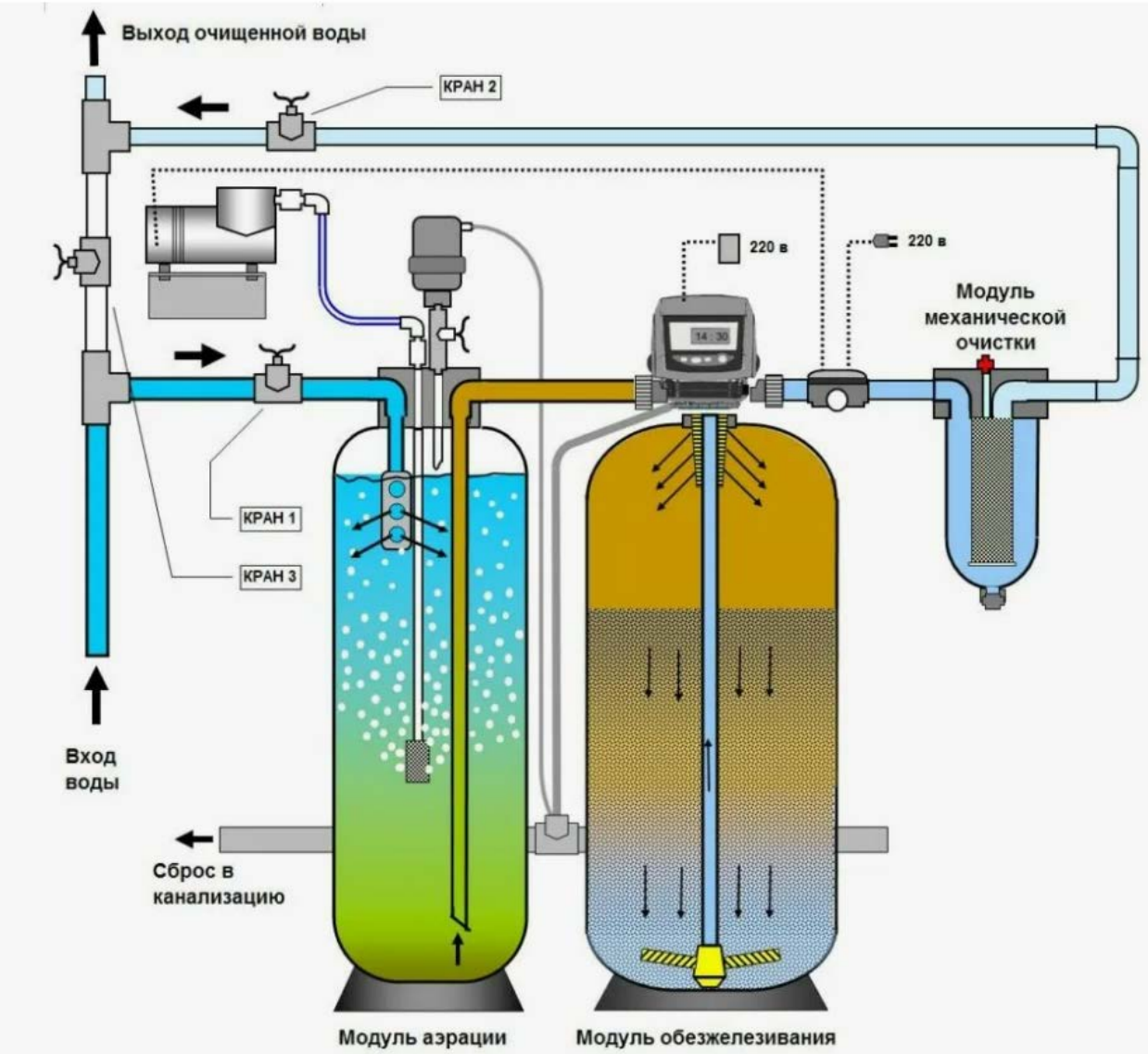


Рисунок 1 – Промышленный фильтр обезжелезивания воды [1]

В состав промышленного фильтра входят следующие компоненты:
- корпус;
- дренажно-распределительная система с подъёмной трубой;
- клапан управления;
- поддерживающий слой гравия;
- среда фильтрующая.

Загрязненная вода попадает в модуль аэрации через входной патрубок, где происходит окисление за счет растворенного в воде кислорода. Затем попадает в дренажно-распределительную систему, где железо взаимодействует с реагентами, выпадая в нерастворимый осадок. Освобожденная от всех примесей вода поднимается вверх, направляясь к выходному патрубку [2].

Заключение

Без систем водоочистки трудно представить любое промышленное предприятие, так как оно напрямую зависит от качества воды. Очищенная вода обеспечивает бесперебойную работу, экономию на энергопотреблении, длительный срок эксплуатации оборудования, возрастание показателей эффективности работы.

Литература

1. Методы удаления железа из воды [Электронный ресурс] / Методы удаления железа из воды. – Режим доступа https://prom-wate r.ru/articles/udalenie-zheleza-iz-vody /. – Дата доступа: 28.09.2024.

2. Возобновляемая энергетика [Электронный ресурс] / Возобновляемая энергетика. – Режим доступа https://www.c-o-k.ru/articles/o-promyshlennom-obezzhelezivanii-podzemnyh-vodoymov /. – Дата доступа: 28.09.2024.

УДК 621.311.238

МОБИЛЬНЫЕ ГАЗОТУРБИННЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ
MOBILE GAS TURBINE POWER PLANTS FOR DISTRIBUTED GENERATION

Н.Д. Рудаков, М.В. Горбунов
Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
N. Rudakov, M. Horbunovv
Supervisor – S. Kachan, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Показаны история и перспективы применения распределенной генерации электроэнергии, в том числе за счет мобильных газотурбинных электростанций. Приведены основные характеристики мобильной установки на базе SGT-A45 TR Siemens.*
Abstract: *The history and prospects of using distributed power generation, including mobile gas turbine power units, are shown. The main characteristics of a mobile unit based on the SGT-A45 TR Siemens are given.*
Ключевые слова: *распределенная генерация, мобильные газотурбинные электростанции.*
Keywords: *distributed generation, mobile gas turbine power plants.*

Введение

По мере того, как потребление электроэнергии в мире продолжает увеличиваться, наблюдается растущая тенденция к распределенному энергопроизводству с размещением небольших электростанций близко к центрам нагрузки потребителей. Есть отдельные регионы мира, которые сталкиваются с двойной проблемой: очень высокие прогнозы на будущий спрос на электроэнергию, и низкие существующие энергогенерирующие мощности.

Основная часть

Распределенная генерация – это производство электроэнергии вблизи или непосредственно в месте ее использования.

На самом деле именно так и развивалось электроснабжение: вначале появились небольшие электростанции, которые обслуживали потребителей на относительно небольшом расстоянии с помощью системы распределения электроэнергии постоянного тока низкого напряжения. Появление промышленных сетей переменного тока более века назад и повышение экономичности за счет укрупнения электростанций позволили доставлять электроэнергию на очень большие расстояния.

В настоящее время поставка электроэнергии в большинстве промышленно развитых стран осуществляется за счет энергии, распределяющейся от очень крупных электростанций по масштабным высоковольтным электросетям. Первыми были созданы тепловые электростанции (ТЭС), сжигающие уголь, и

гидроэлектростанции, за которыми последовали атомные электростанции и ТЭС, работающие на природном газе.

Однако в последние десятилетия некоторые экономические, экологические, технологические и юридические факторы оказали на централизованное энергоснабжение негативное влияние, что привело к возобновлению и расширению распределенных сетей генерации.

Так, повышенное внимание к охране окружающей среды привело к значительному снижению добычи угля во всем мире (особенно в Европе и Соединенных Штатах) и сдерживанию использования ядерной энергии. Также это способствовало внедрению возобновляемых источников энергии, не связанных с ископаемым топливом, таких как ветер, солнечная энергия, геотермальная энергия и др.

Быстрое развитие мировой индустрии сжиженного природного газа (СПГ) и регазификации привело к увеличению поставок природного газа в регионы мира, не имеющие в достатке собственных энергоресурсов. В целом природный газ является чистым, эффективным и, в настоящее время, сравнительно доступным источником энергии.

Последнее сделало перспективным применение с целью распределенной энергогенерации установок, использующих в качестве топлива природный газ: газопоршневых двигателей, микротурбин и газотурбинных установок, которые могут работать децентрализовано с очень высокой эффективностью [1].

В [1] показано, что в 2010 году мировой рынок мобильных газотурбинные электростанции (ГТЭС) вырос почти в 6 раз в сравнении с предыдущими годами. При этом на долю Северной Америки, Европы и СНГ приходится менее 20 % поставок таких установок (рис. 1) [1].

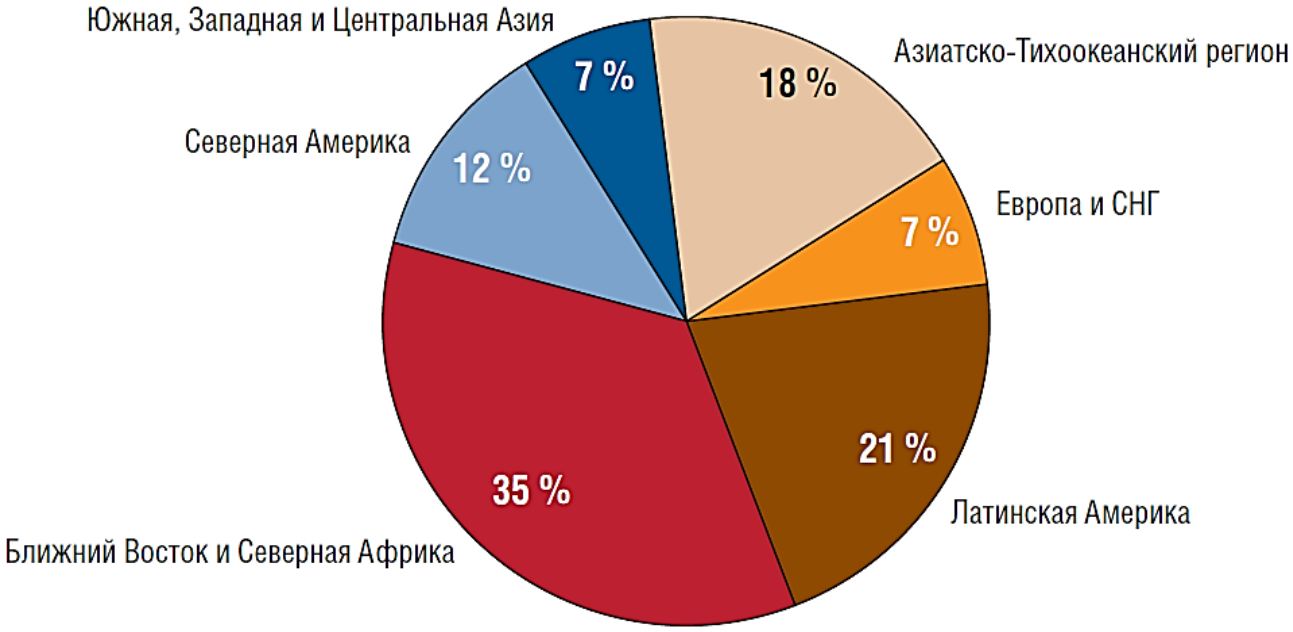


Рисунок 1 – Рынок мобильных ГТЭС в период 1999-2016 гг. [1].

Как видно из рисунка 1, более трети ГТЭС поставлены в страны Северной Африки и Ближнего Востока. При этом проекты по электрификации стран

Центральной Африки и Азиатско–Тихоокеанского региона представляют огромный потенциал для применения мобильных ГТЭС [1].

Для мобильной выработки электроэнергии компания Siemens предлагает авиапроизводную газотурбинную установку SGT-A45 TR (рис. 2) [2].

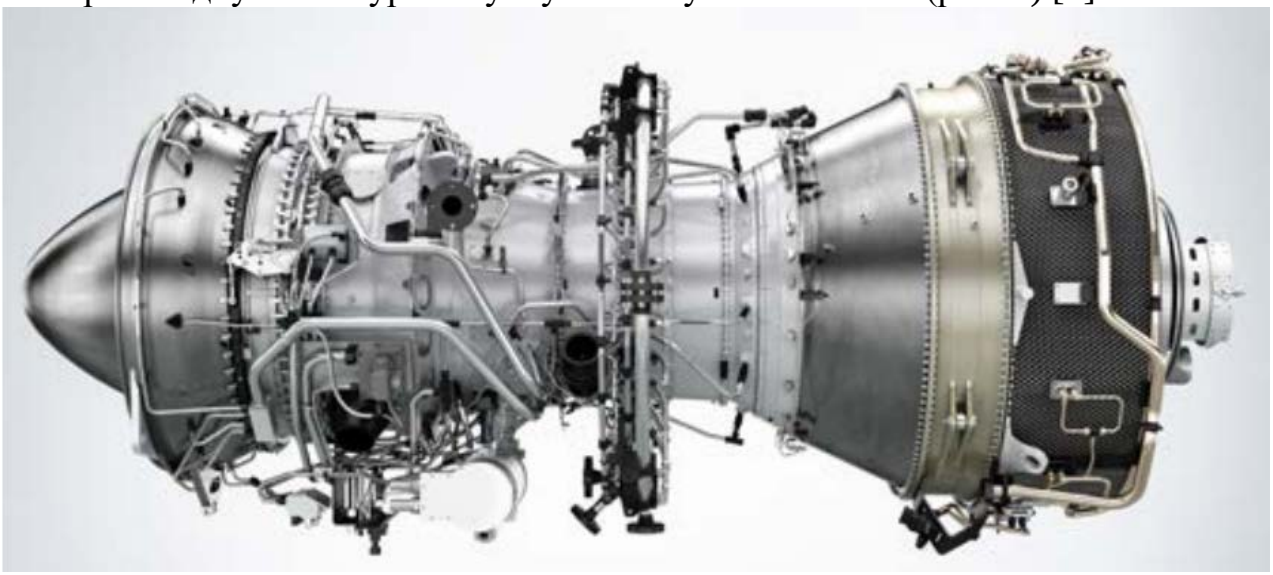


Рисунок 2 – Газотурбинный двигатель SGT-A45 TR Siemens [2]

Основные показатели работы этих установок при параметрах ISO и частоте сети 50 и 60 Гц (3000 и 3600 мин$^{-1}$) даны в таблице 1 [2].

Таблица 1 – Показатели работы установок SGT-A45 TR Siemens при параметрах ISO* [2]

Показатель, размерность	**Частота сети**	
	50 Гц	**60 Гц**
Электрическая мощность (без впрыска), МВт	41	44
Электрический КПД (без впрыска), %	39	40,4
Тип топлива	Двухтопливная (газ и жидкое топливо)	
Малоэмиссионная камера сгорания	Впрыск воды	
Выбросы NO_x (газ/жидкое топливо), vppm	25/42	

*Параметры воздуха на входе в компрессор: температура +15 °С, относительная влажность 60 %, барометрическое давление 0,1013 МПа

Мобильная установка на базе SGT-A45 TR состоит из трех модулей полной заводской готовности (рис. 3) [1] и обеспечивает быстрое развертывание при срочной потребности в электроэнергии.

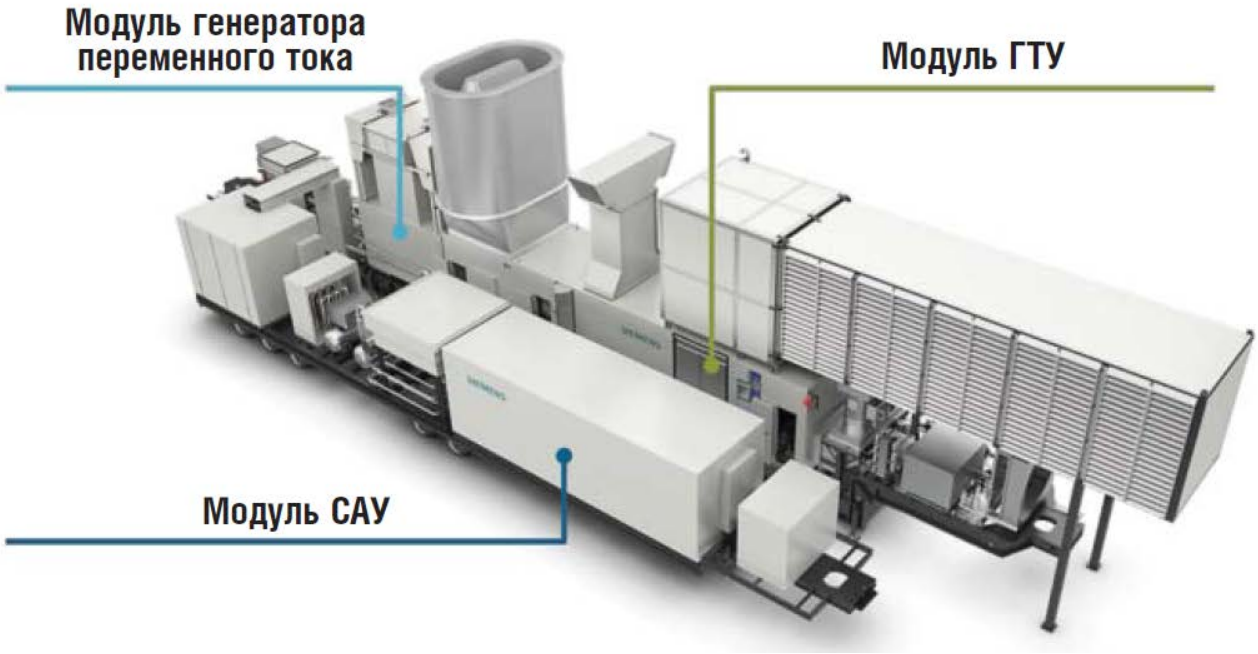


Рисунок 3 – Схема мобильной ГТЭС SGT-A45 TR [1]

SGT-A45 TR использует жидкое или газовое топливо с возможностью запуска и переключения во время работы на любом топливе. Дополнительный впрыск воды обеспечивает низкий уровень выбросов NO_x и мгновенное повышение мощности.

Установка может транспортироваться по земле, воздуху или морю и вводиться в эксплуатацию всего за 2 недели [2].

Заключение

Технологии распределенной генерации на базе мобильных газотурбинных электростанций развиваются так же быстро, как и рынки, которые они обслуживают. Газотурбинная установка SGT-A45 TR использует проверенную технологию авиапроизводных двигателей для обеспечения высоких показателей производительности, эффективности и эксплуатационной гибкости.

Литература

1. Балестрино К. Мобильная ГТЭС SGT-A45 TR компании Siemens – Siemens AG представлена на рынок // Турбины и Дизели / январь – февраль 2018. – С. 4-11.

2. SGT-A45 TR mobile unit: Immediate power to the grid – highest power density, trusted technology // Siemens AG 2017. – Siemens.com/gasturbines.

УДК 621.65.03

ОСНОВНЫЕ НАСОСЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ НА ТЭС. ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА И ПРЕДНАЗНАЧЕНИЕ
MAIN PUMPS USED IN TPP. THEIR CHARACTERISTICS AND PURPOSE

О.А. Ковальчук, Е.А. Иссарь
Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
O. Kovalchuk, E. Issar
Supervisor – E. Pronkevich, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В статье рассматривается значимость насосного оборудования для бесперебойной работы тепловых электростанций (ТЭС), где насосы играют ключевую роль в поддержании циркуляции технологических жидкостей и обеспечения эффективного производства электроэнергии. Описаны функции каждого типа насоса и их влияние на надежность и безопасность эксплуатации ТЭС. В статье также представлены методы, направленные на продление срока службы насосного оборудования и оптимизацию его работы, что способствует повышению общей эффективности и снижению эксплуатационных затрат на ТЭС.*

Abstract: *The article discusses the importance of pumping equipment for the smooth operation of thermal power plants (TPPs), where pumps play a key role in maintaining the circulation of process fluids and ensuring efficient power generation. The functions of each type of pump and their impact on the reliability and safety of TPP operation are described. The article also presents methods aimed at extending the service life of pumping equipment and optimizing its operation, which helps to increase overall efficiency and reduce operating costs at thermal power plants.*

Ключевые слова: *тепловая электростанция, насосное оборудование, питательные насосы, бустерные насосы, конденсатные насосы, дренажные насосы, сливные насосы, сетевые насосы, подпиточные насосы, перекачивающие насосы, циркуляция жидкости.*

Keywords: *thermal power plant, pumping equipment, feed pumps, booster pumps, condensate pumps, drainage pumps, drain pumps, network pumps, make-up pumps, pumping pumps, liquid circulation.*

Введение

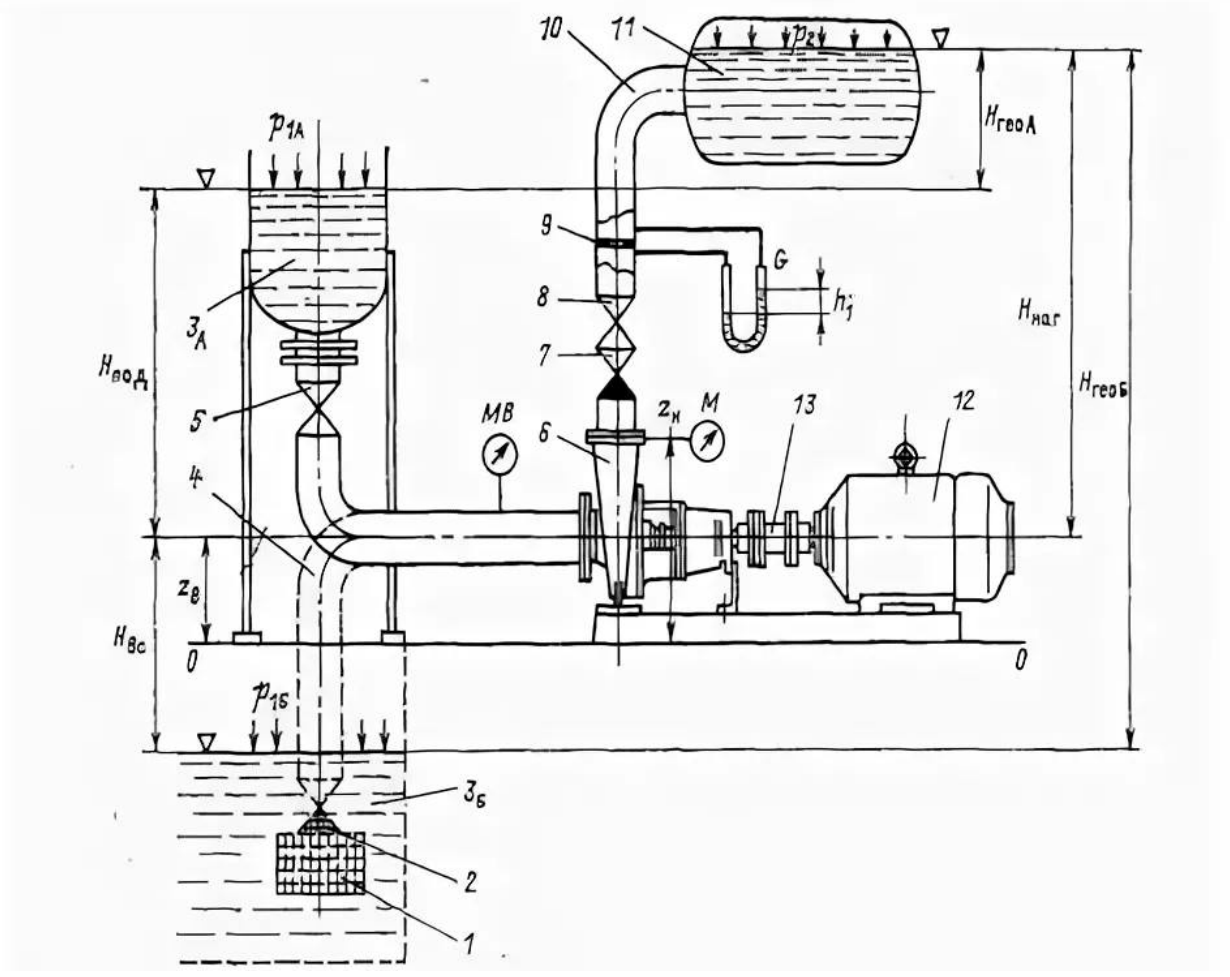
Тепловые электростанции (ТЭС) играют ключевую роль в производстве электроэнергии. Основной принцип работы ТЭС заключается в преобразовании тепловой энергии, получаемой при сжигании топлива, в электрическую энергию. Одним из важнейших компонентов ТЭС являются насосы, которые обеспечивают циркуляцию различных сред – от воды до топлива – необходимых для поддержания непрерывного процесса производства электроэнергии.

Эксплуатация насосного оборудования на ТЭС сопряжена с рядом вызовов, таких как воздействие высоких температур, коррозия и износ, что может снизить срок службы и повысить эксплуатационные затраты.

Целью данной статьи является рассмотрение предназначения различных типов насосов, используемых на ТЭС.

Основная часть

По назначению насосы ТЭС подразделяются на две группы: насосы основного технологического назначения и вспомогательные. К первой группе относятся питательные, бустерные, конденсатные, дренажные, сливные, сетевые, подпиточные насосы, а также перекачивающие насосы баков запаса конденсата и обессоленной воды. Во вторую группу входят насосы технической воды, пожарные, насосы сырой и химически очищенной воды, дозаторы реагентов, мазутные насосы, маслонасосы систем смазки главных и приводных турбин, электрических генераторов. Рассмотрим подробнее насосы основного технологического назначения [1].



1 – сетка; 2 – обратный клапан на всасывающем трубопроводе; 3 – приемный резервуар (два варианта расположения); 4 – подводящий трубопровод; 5 – задвижка на подводе воды к насосу при верхнем расположении приемного резервуара; 6 – насос; 7 – обратный клапан на нагнетании насоса; 8 – задвижка на нагнетании; 9 – сужающее устройство (диафрагма) расходомера; 10 – напорный трубопровод; 11 – напорный резервуар; 12 – приводной электродвигатель; 13 – муфта; МВ – мановакуумметр на всасывающей стороне насоса; М – манометр на нагнетании; G – расходомер [1]

Рисунок 1 – Схема насосной установки

Питательные насосы являются одними из самых важных агрегатов на ТЭС. Они обеспечивают подачу питательной воды в котёл под высоким давлением. Вода в котле испаряется и превращается в пар, который затем направляется на турбины для выработки электроэнергии. Питательные насосы должны подавать воду под таким давлением, которое способно компенсировать давление в паровом контуре. Это особенно важно для работы при высоких температурах и давлениях. Данные насосы работают с нагретой до высоких температур водой, поэтому они должны изготавливаться из высокопрочных материалов [2].



Рисунок 2 – Питательный электронасос [1]

Чтобы избежать кавитации (образования паровых пузырьков внутри насоса), давление воды на входе в насос должно быть достаточно высоким. Для этого необходимы бустерные насосы. Бустерные насосы служат для предотвращения кавитации, а также для снижения нагрузки на питательные насосы. Это способствует продлению срока службы питательных насосов и повышению общей надежности системы. Основная функция бустерного насоса заключается в том, чтобы обеспечить необходимое давление воды на входе питательного насоса. Благодаря бустерным насосам обеспечивается плавная подача воды, а также уменьшается вероятность повреждений и преждевременного износа оборудования.

После того, как пар отдает свою энергию в турбинах, он конденсируется в конденсаторах и превращается обратно в воду. Для перекачки этой воды из конденсатора обратно в систему для дальнейшего использования в процессе используют конденсатные насосы.

Конденсатные насосы работают на относительно низких давлениях, но должны обеспечивать высокую производительность для поддержания непрерывного цикла парового обращения. Так как конденсат часто находится при низких температурах, то это может привести к образованию вакуума в системе. Поэтому конденсатные насосы должны быть герметичны.

Дренажные насосы предназначены для удаления конденсата или излишков жидкости, которые скапливаются в различных узлах ТЭС [3]. Эти насосы особенно важны в системах, где присутствует пар, так как конденсация пара может происходить не только в конденсаторах, но и в трубопроводах, теплообменниках и других элементах системы. Эти насосы предотвращают скопление конденсата в нежелательных местах, обеспечивая нормальный теплообмен и предотвращая гидроудары.

Сливные насосы используются для удаления излишков жидкостей, которые не могут быть использованы повторно в процессе и подлежат утилизации или специальной обработке. Сливные насосы на ТЭС также могут участвовать в процессе удаления загрязненной воды из баков, резервуаров или емкостей, которые находятся вне основного технологического контура. Например, вода, которая была использована для охлаждения или продувки оборудования, может быть откачана и отправлена на очистку или утилизацию.

Сетевые насосы обеспечивают циркуляцию теплоносителя в тепловых сетях, особенно на теплоэлектроцентралях (ТЭЦ), которые кроме электрической энергии производят тепло для отопления и горячего водоснабжения. Эти насосы перекачивают горячую воду или пар по трубопроводам от ТЭЦ к потребителям, таким как жилые здания, промышленные и другие объекты [2].

Основная задача сетевых насосов – поддержание необходимого давления в тепловых сетях, чтобы теплоноситель мог эффективно достигать конечных потребителей. Высокая надежность этих насосов необходима для стабильной работы системы отопления и водоснабжения. Особенно важно это в зимний период, когда потребление тепла достигает очень велико.

Подпиточные насосы необходимы для восполнения потерь воды в системе, которые могут происходить из-за утечек или испарения. Они подают очищенную или обессоленную воду в водяные контуры. Подпиточные насосы работают в тесной связке с конденсатными и перекачивающими насосами, обеспечивая стабильное количество воды в баках и резервуарах. Это помогает компенсировать потери и предотвращает снижение уровня воды в системе, что могло бы привести к неполадкам в работе котлов и турбин.

Перекачивающие насосы для баков запаса конденсата и обессоленной воды используются для транспортировки жидкости между резервуарами и основными элементами системы. Обессоленная вода или конденсат, хранящиеся в этих баках, должны регулярно перекачиваться в котельные системы для поддержания нормального водяного баланса [3].

Заключение

Все перечисленные насосы выполняют специфические функции, но их работа тесно взаимосвязана. Например, питательные насосы не могут нормально функционировать без помощи бустерных насосов, которые повышают давление

воды на входе. В то же время конденсатные насосы обеспечивают подачу воды обратно в котельный контур, замыкая пароводяной цикл. Дренажные и сливные насосы предотвращают скопление лишних жидкостей и удаляют конденсат из системы, что обеспечивает безопасность и эффективность работы оборудования. Каждый насос играет свою роль в поддержании работоспособности системы ТЭС. Оптимизация работы этих насосов напрямую влияет на эффективность производства электроэнергии и тепла, а также на безопасность эксплуатации станции.

Литература

1. Насосы тепловых электростанций [Электронный ресурс] / Насосы тепловых электростанций. – Режим доступа: https://portal.tpu.ru /. – Дата доступа: 09.10.2024.

2. Тенденции развития питательных насосов [Электронный ресурс] / Тенденции развития питательных насосов. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/ article/n/tendentsii-razvitiya-pitatelnyh-nasosov/viewer /. – Дата доступа: 10.10.2024.

3. 3. Основные группы насосов в тепловой энергетике [Электронный ресурс] / Основные группы насосов в тепловой энергетике. – Режим доступа: http://www.m3-company.ru/articles/a20121024.html /. – Дата доступа: 10.10.2024.

УДК 621.311

ОТЛОЖЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТЯХ НАГРЕВА КОТЛОВ
DEPOSITS ON THE SURFACES OF BOILER HEATING

А.О. Боровикова, Д.А. Панкратов
Научный руководитель – Н.Б. Карницкий, д.т.н., профессор
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Borovikova, D. Pankratov
Supervisor – N. Karnitsky, Doctor of Technical Sciences, Professor
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье рассматриваются проблемы, связанные с образованием отложений в котлах, использующих местные виды топлива. Основное внимание уделяется влиянию качества подпиточной воды на образование накипи и коррозии, что значительно снижает эффективность работы оборудования.*

Annotation: *This article discusses the issues related to the formation of deposits in boilers using local types of fuel. It focuses on the impact of the quality of makeup water on the formation of scale and corrosion, which significantly reduces the efficiency of equipment operation.*

Ключевые слова*: отложения, котлы, коррозия, эффективность.*

Key words: *deposits, boilers, corrosion, efficiency.*

Введение

В современных условиях энергетического производства особое внимание уделяется изучению химических и физических параметров отложений, образующихся при сжигании местных видов топлива. Несмотря на важность этой проблемы, информация о составе и структуре таких отложений остается ограниченной. Ключевыми факторами, влияющими на их формирование, являются химический состав питательной и котловой воды, а также температурный режим работы оборудования.

Накипные отложения обычно имеют смешанный характер, в котором преобладают различные компоненты, такие как оксиды железа и меди, в зависимости от условий эксплуатации. Особенно серьезную проблему представляют медные и цинковые отложения, возникающие в результате электрохимических реакций на экранных трубах, где наблюдаются высокая тепловая нагрузка и интенсивное упаривание котловой воды. Эти отложения распределяются по высоте поверхности экранов и состоят преимущественно из металлической меди и соединений цинка.

Все виды таких отложений негативно сказываются на теплоотдаче оборудования, что приводит к увеличению расхода топлива и повышению температуры трубного металла. Понимание механизмов образования и воздействия отложений на эффективность работы котлов становится актуальной задачей для повышения надежности и экономичности энергетических систем.

Основная часть

В системах теплоснабжения используется разное по тепловым характеристикам водогрейное оборудование (пиковые водогрейные котлы, паро- и водоводяные подогреватели и т.п.).

Качество воды причина многих последующих проблем, возникающих в этом оборудовании. Самыми большими и важными проблемами получаются отложения и коррозия. Эти факторы являются проводником к снижению теплопередачи, в итоге сокращается срок службы оборудования, снижению его производительности и рентабельности, а также к более большему вложению затрат на обслуживание и появлению более частых простоев в работе.

Контроль за характером и интенсивностью отложений в водогрейных котлах и сетевых подогревателей ведется методом периодических вырезок труб во время капитальных ремонтов [1].

Размер отложений можно контролировать в котлах благодаря величине гидравлического сопротивления. Превышение данного показателя в 1,5 раза требует срочной очистки котла.

Из физических методов возможно применение магнитного, ультразвукового методов. Однако высокое качество подпиточной воды еще не гарантирует нормальной без накипной работы водогрейных котлов, сетевых подогревателей и трубопроводов.

В котел идет два вида воды, возвращаемая от потребителей и добавочная вода. Качество сетевой воды, поступающей в котлы, зависит не только от работы теплофикационного оборудования, но и от состояния систем отопления у потребителей. Проблемы могут возникать из-за загрязнения, которые появляются в виде присоса сырой воды и примесями из местных отопительных приборов. В виду этого четкий контроль качества воды – это общая задача для сотрудников ТЭЦ, районных котельных и служб теплосетей. Важно, чтобы работники тепловых сетей эффективно обслуживали теплотрассы и тепловые пункты, что поможет обеспечить надежное водоснабжение и стабильную работу всего отопительного комплекса.

Таблица 1 – Предельное количество отложений на поверхности нагрева [2]

Тип оборудования	**Предельная удельная загрязненность по виду топлива**				**Дополнительные показатели**
	Жидкое и газообразное	**Твердое и жидкое**	**Уголь**	**Торф, щепа и прочее**	
Барабанные котлы давлением: До 4 МПа	800	800	1000	1000	Толщина отложений не превышает 0,7 мм
От 4 до 10 МПа	600	600	800	1000	Толщина отложений не превышает 0,3-0,4 мм
От 10 до 15,5 МПа	400	400	600	800	Толщина отложений не

					превышает 0,2-0,3 мм
Прямоточные котлы: Докритического давления	300	300	400	-	Предельная температура стенки трубы при ГВАР -550
Сверхкритического давления	200	200	300	-	Гидравлическое сопротивление не более чем в 1.5 раза гидравлического сопротивления чистогокотла
Водогрейные котлы	1000	1000	1000	1000	
Конденсаторы турбин	При повышении давления отработавшего пара по сравнению с нормативными значениями на 0,5 кПа				
Подогреватели сетевой воды	При повышении температурного напора и гидравлического сопротивления в 2 раза более нормативных значений.				

Накопление образований в котлах и теплообменниках негативно сказывается на их функционирование, что приводит к неизбежному применению каждодневной очистки поверхностей. Все это вызвано из-за частых простоев оборудования, следовательно большими трудозатратами и ускоренному износу труб. Кроме того, устранение проблем в магистральных теплотрассах и местных трубопроводах, возникающих из-за несоответствия водно-химического режима, требует еще больших усилий и ресурсов.

Скорость образования зависит от тепловой нагрузки, а точнее ее значениями на поверхностях нагрева. Базовая причина появления в теплоносителе оксидов железа, являются процессы коррозии конструкционных материалов конденсатно-питательного тракта и элементов самого котла [2]. Происходит это в связи с тем, что в тепловых схемах с барабанными котлами не предусмотрены, в большинстве случаев, блочные обессоливающие установки. Поэтому возрастает количество оксидов железа и появление железоокисных отложений неизбежно. Оптимальные условия работы оборудования на ТЭЦ, которые учитывают все вышеизложенные проблемы в диагностике котельного оборудования и устраняют их недостатки благодаря определенным правилам эксплуатации (таблица 1).

Исследования подчеркивают, что при нормировании загрязнений требуется внимательно обращать внимание на важность учета коррозии металла труб под отложениями. Использование химической промывки, помогает минимизировать уровень загрязнения, которые приводят к тепловым разрывам. Непреднамеренная остановка оборудования может происходить, когда котельное оборудование было введено в эксплуатацию без предварительной очистки. В результате, чтобы очистка оборудования происходила с более эффективной стороны, требуется тщательно подбирать материалы для очистки.

Хотя даже при самых идеальных условия оборудования все равно будет приходить в негодность из-за солей.

Заключение

Тепловая нагрузка напрямую не влияет на частоту образования накипи. Однако, оказывает косвенное влияние при повышении напряженности в поверхности нагрева, которая в свою очередь пропорционально увеличивает температуру нагреваемой воды. Следовательно, вероятность появление накипи больше.

Ежедневная проверка оборудования рабочими котельных установок на наличие повреждений и коррозии позволяет существенно сократить количество внеплановых остановов. Современные методы диагностики позволяют проводить контроль сварных стыков поверхностей нагревов и стыковки труб змеевиков с коллекторами, не прибегая к зачистке металла. Например, с помощью метода магнитной памяти металла можно производить вырезку представительных образцов труб, чтобы провести анализ состояния металла путем определения количества и качества отложений. С помощью этого метода можно выполнять дефектоскопию и диагностику, выявив причины образования зон отложений и повреждений. При помощи обеспечения свободы компенсации труб можно во время ремонта котельного оборудования убрать до минимума причины появления зон отложений.

Так же важнейшим методом устранения накипи является химическая очистка воды, так как на поверхности воды и на границе разделения сред выделяются агрессивные газы (кислород и углекислый газ). На станциях для очистки воды используются оборудование по химводоподготовке и деаэраторы, которые очищают воду от присутствующих в воде вредных примесей.

Литература

1. Холщев, В.В. Температурный режим и контроль состояния экранных труб / В.В. Холщев // Теплоэнергетика. – 1989. – № 1. – С. 30-34.

2. Внутритрубные образования в паровых котлах сверхкритического давления / В.П. Глебов [и др.]. – М.: ЭАИ, 1983. – 240 с.

УДК 621.31

ОЧИСТКА КОНДЕНСАТОРОВ ПАРОВЫХ ТУРБИН
CLEANING OF STEAM TURBINE CONDENSERS

А.С. Печко, А.И. Павловская
Научный руководитель – Н.В. Левшин, доцент, к.т.н.
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Piachko, A. Pavlovskaya
Supervisor – N. Levshin, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Конденсационная установка предназначена для конденсации отработавшего пара из турбин и поддержания эффективного давления на выходе. Внедрение системы шариковой очистки (СШО) способствует повышению экономической эффективности работы электростанций за счет предотвращения образования отложений и уменьшения расхода охлаждающей воды.*

Abstract: *The purpose of the condensation unit is to condense exhaust steam from turbines and maintain effective pressure at the outlet. The implementation of the ball cleaning system (BCS) enhances the economic efficiency of power plants by preventing deposit formation and reducing cooling water consumption.*

Ключевые слова: *конденсационная установка, конденсация, паровая турбина, система шариковой очистки, экономическая эффективность, охлаждающая вода.*

Keywords: *condensation unit, condensation, steam turbine, ball cleaning system, economic efficiency, cooling water.*

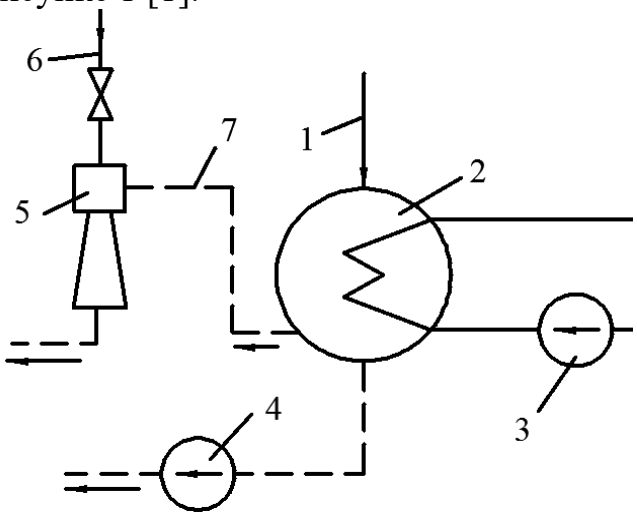
Введение

В настоящее время конденсационная установка играет важную роль в эффективности работы паротурбинных установок, обеспечивая оптимизацию давления пара на выходе из турбины. Качество работы конденсатора зависит от чистоты его поверхности. Для поддержания чистого состояния конденсатора была разработана система шариковой очистки, которая минимизирует образование отложений, позволяя проводить очистку во время работы энергоблока.

Основная часть

Основная цель конденсационной установки заключается в конденсации отработавшего пара, который прошел через турбину, а также в поддержании давления пара на выходе из последней ступени турбины на уровне, не превышающем расчетное значение, установленное с учетом технико-экономических факторов. Используются как одно-, так и Данные конденсаторы являются горизонтальными теплообменными устройствами кожухотрубного типа, в которых отработанный пар, поступающий из турбины, конденсируется на внешней поверхности трубок. Внутри этих трубок циркулирует охлаждающая вода, которая поглощает тепло от конденсата. Образовавшийся конденсат стекает по трубному пучку на дно корпуса и далее собирается в конденсатор

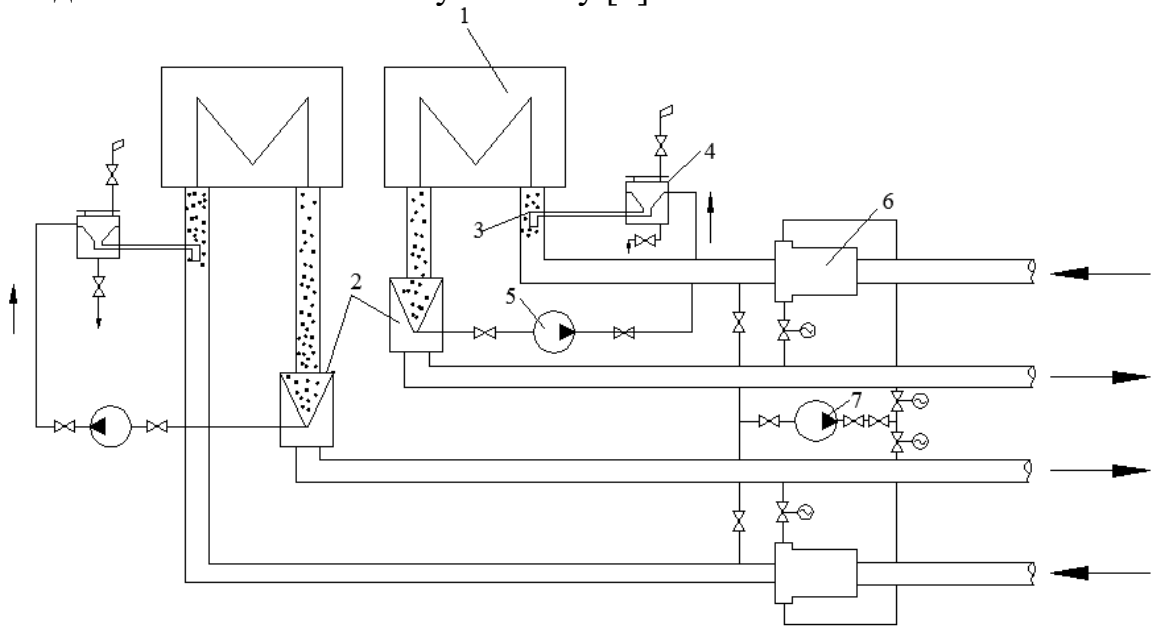
сборниках, откуда он удаляется с использованием конденсатных насосов. Рассмотрим принципиальную схему конденсационной установки, представленной на рисунке 1 [1].



1 – пар из выходного патрубка турбины; 2 – поверхностный конденсатор;
3 – циркуляционный насос; 4 – конденсатный насос; 5 – пароструйный эжектор;
6 – подвод пара к эжектору; 7 – отсос паровоздушной смеси [1]
Рисунок 1 – Схема конденсационной установки

Экономичность паротурбинной установки сильно зависит от давления отработанного пара, а оно определяется внешними факторами, такими как температура охлаждающей воды и состояние конденсатора. Если трубы конденсатора загрязнены, теплообмен ухудшается, что снижает эффективность всей системы. Загрязнение происходит из-за содержания химических веществ и взвешенных частиц в воде, поэтому станции регулярно очищают трубопроводы. Конденсатор превращает пар обратно в воду, которая потом используется снова, и для этого важно, чтобы пар хорошо соприкасался с чистыми охлаждающими трубами. Для этого применяется система шариковой очистки – это технология, которая автоматически очищает трубы конденсатора с помощью резиновых шариков, которые циркулируют вместе с охлаждающей водой, удаляя загрязнения. Эти шарики, чуть больше диаметра трубок, протирают их внутренние стенки, удаляя накипь, ржавчину, биологические отложения и другие загрязнения. Такая система позволяет поддерживать чистоту трубок без необходимости останавливать энергоблок для традиционной ручной или химической очистки. Система включает несколько ключевых элементов. Подающая станция шариков отвечает за ввод резиновых шариков в поток охлаждающей воды. Шарики циркулируют по системе, проходя через конденсаторные трубки и очищая их. Затем они попадают в специальные фильтры или сепараторы, которые отделяют шарики от общего потока воды. После отделения шарики собираются в специальную камеру и вновь отправляются в систему для повторного использования. Для обеспечения стабильной циркуляции воды и шариков используются циркуляционные насосы. Также система оснащена контрольно-измерительными приборами, которые отслеживают скорость потока воды, степень загрязнения трубок и состояние шариков, что помогает поддерживать оптимальный режим работы.

Принцип работы системы шариковой очистки (СШО) очень простой: резиновые шарики запускаются из специальной станции и вместе с охлаждающей водой проходят через трубки конденсатора (рисунок 2). Так как их диаметр немного больше, чем у трубок, шарики плотно прижимаются к стенкам и очищают их от загрязнений. После этого шарики отделяются от воды и возвращаются в систему для повторного использования. Этот процесс непрерывный, что позволяет поддерживать чистоту конденсаторных трубок без необходимости останавливать установку [2].



1 – конденсатор; 2 – шарикоулавливающее устройство; 3 – узел ввода шариков в циркуляцию; 4 – загрузочная камера; 5 – насос сортировки шариков; 6 – осевой фильтр предочистки; 7 – насос промывки фильтров [2]

Рисунок 2 – Принципиальная схема СШО конденсатора паровой турбины

Одним из главных преимуществ шариковой очистки является то, что она работает без остановки энергоблока, что значительно сокращает простои и снижает риск потерь мощности. Это также устраняет необходимость в частых плановых остановках для проведения ручной или химической очистки конденсаторов. Благодаря поддержанию чистоты трубок на постоянной основе, теплопередача остаётся высокой, что повышает эффективность работы энергоблока и снижает расход топлива. Это, в свою очередь, позволяет снизить эксплуатационные расходы и увеличить срок службы оборудования за счёт предотвращения накопления отложений и коррозии. СШО помогает поддерживать экономичность работы паровых турбин и предотвращать снижение эффективности из-за загрязнений конденсатора. Кроме того, система шариковой очистки способствует снижению износа оборудования, так как чистые трубки конденсатора меньше подвержены коррозии и механическим повреждениям. Благодаря регулярной очистке шариками, энергоблоки могут работать на более высоких мощностях, что повышает общую производительность и снижает частоту ремонтов. Внедрение СШО позволяет не только повысить экономичность работы энергосистемы, но и улучшить её экологические показатели за счёт снижения выбросов, связанных с повышенным

потреблением топлива. Система также уменьшает вероятность аварийных ситуаций, связанных с перегревом или нарушением работы конденсатора, что делает эксплуатацию энергоблока более безопасной. В долгосрочной перспективе использование шариковой очистки сокращает затраты на капитальные ремонты, повышая надёжность оборудования и стабилизируя его работу на протяжении всего срока службы.

Внедрение системы шариковой очистки (СШО) заметно повышает эффективность работы энергоблоков и улучшает экологические показатели. Одно из ключевых преимуществ – это уменьшение теплового воздействия на окружающую среду. Благодаря улучшению работы конденсатора требуется меньше охлаждающей воды, что особенно важно для защиты водоёмов рядом с электростанциями от перегрева. В системах с замкнутым водоснабжением СШО помогает сократить использование хлора и других химикатов для обработки воды, что положительно влияет на экологию. Также фильтры СШО задерживают мусор, очищая воду в водоёмах.

Использование системы шариковой очистки несёт множество преимуществ для паротурбинных установок (ПТУ). Во-первых, она позволяет повысить экономичность работы турбин и увеличить мощность турбогенератора. Это достигается за счёт уменьшения удельного расхода топлива и увеличения средней электрической мощности установки. Также СШО снижает мощность, потребляемую циркуляционными насосами, что уменьшает общие эксплуатационные затраты. Надёжность оборудования повышается за счёт постоянной очистки трубок от загрязнений, что снижает вероятность поломок и увеличивает срок службы систем.

Кроме того, система помогает улучшить экологические показатели водоёма, в том числе за счёт снижения объёмов потребляемой охлаждающей воды и уменьшения её теплового воздействия на окружающую среду. Постоянная очистка охлаждающих трубок обеспечивает высокую эффективность теплопередачи, что поддерживает стабильную работу теплообменников и конденсаторов. СШО также снижает давление отработанного пара в конденсаторе, улучшая вакуум и экономичность работы турбины. Это, в свою очередь, снижает затраты на собственные нужды блока, так как циркуляционные насосы потребляют меньше мощности, а объёмы охлаждающей воды оптимизируются. СШО позволяет избегать внеплановых остановок для ручной или химической очистки, а также предотвращает коррозию и эрозию трубок, вызванную загрязнениями. Это сокращает расходы на ремонт конденсаторов во время плановых остановок. Также система улучшает качество основного конденсата, снижая риск попадания охлаждающей воды в него, что способствует более стабильной работе блока и улучшает водно-химический режим. Система шариковой очистки может быть использована не только в конденсаторах турбин, но и в приводах питательных турбонасосов. Благодаря своим многочисленным преимуществам эта технология широко применяется в мировой энергетике и используется на многих зарубежных энергоблоках. Основное препятствие для её более широкого внедрения – это высокая стоимость импортного оборудования, что иногда сдерживает её распространение в некоторых регионах [3].

Заключение

Внедрение автоматизированных систем очистки, таких как система шариковой очистки (СШО), позволяет поддерживать конденсаторы в рабочем состоянии без частых остановок на обслуживание, что снижает эксплуатационные расходы. За счёт регулярной очистки уменьшается потребление охлаждающей воды и тепловое загрязнение водоёмов, что положительно сказывается на экологии. СШО также увеличивает эффективность энергоблоков, повышая мощность турбин и снижая расход топлива, что делает систему экономически выгодной и экологически безопасной. Эти технологии помогают развивать энергетику более устойчиво, уменьшая негативное влияние на окружающую среду и снижая расходы на эксплуатацию и обслуживание оборудования. Внедрение системы шариковой очистки соответствует современным требованиям по эффективности, экологии и социальной ответственности.

Литература

1. Patentton [Электронный ресурс] / Способ очистки трубок конденсаторной установки турбоагрегата. – Режим доступа: Способ очистки трубок конденсаторной установки турбоагрегата. Российский патент 2002 года RU 2181470 C1. Изобретение по МКП F28G1/16. – Дата доступа: 19.10.2024.

2. GZN [Электронный ресурс] / Паротурбинные установки. – Режим доступа: Повышение экономичности паротурбинных установок путем разработки, исследования и внедрения систем очистки охлаждающей воды и трубок конденсаторов диссертация по энергетике, скачайте бесплатно автореферат диссертации на тему «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты» /. – Дата доступа: 19.10.2024.

3. Загрязнение конденсаторов и способы их очистки [Электронный ресурс] / Основные группы насосов в тепловой энергетике. – Режим доступа:http://gazogenerator.com/ekspluataciya-paroturbinnyx-ustanovok/zagryaznenie-kondensatorov-i-sposoby-ix-ochistki/. – Дата доступа: 19.10.2024.

УДК 621.311

ПАРОВАЯ ТУРБИНА КП-77-6,8
STEAM TURBINE KP-77-6,8

Г.Ю. Витецкая, А.И. Сироткин
Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
G. Vitetskaya, A. Sirotkin
Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В российском турбостроении непрерывно происходит совершенствование технологий по разработке и модернизации паровых турбин. Это необходимо для того, чтобы иметь возможность предложить заказчикам наиболее энергоэффективное оборудование. Также это позволяет заказчику выбрать агрегат, которое наиболее полно будет удовлетворять его потребности. Одним из передовых производств в данной отрасли является Уральский турбинный завод (УТЗ), который за последнее время провел модернизацию большинства распространенных на постсоветском пространстве паровых турбоагрегатов, таких как Т-250/300-240, К-160-130, ПТ-60/70-130/13 и некоторых других. В данной статье речь пойдёт об абсолютно новом проекте УТЗ – паровой турбине Кп-77-6,8 с осевым выхлопным патрубком.*

Abstract: *In the Russian turbine industry, technologies for the development and modernization of steam turbines are continuously being improved. This is necessary in order to be able to offer customers the most energy efficient equipment. It also allows the customer to choose the turbine that will most fully meet his needs. One of the leading industries in this industry is the Ural Turbine Plant (UTZ), which has recently modernized most of the steam turbine units common in the post-Soviet space, such as T-250/300-240, K-160-130, PT-60/70-130/13 and some others. In this article, we will talk about a completely new UTZ project – the Kp-77-6,8 steam turbine with an axial exhaust pipe.*

Ключевые слова: *турбина, выхлопной патрубок, паровпускная часть, конструкция, корпус, фундамент, поток пара, модификация.*

Keywords: *turbine, exhaust pipe, steam compartment, construction, body, foundation, steam flow, modification.*

Введение

Паровая турбина – это основной элемент тепловых электростанций. Она позволяет преобразовать тепловую энергию пара в механическую энергию ротора [1]. Это даёт возможность в конечном итоге направить теплоту, полученную при сжигании топлива в котлоагрегате, на выработку электрической энергии. Паровые турбины подразделяются на множество типов и классифицируются по различным признакам. В частности, традиционно принято считать, что конденсационными являются турбины, предназначенные только для выработки электроэнергии и имеющие только нерегулируемые отборы пара на

регенеративный подогрев питательной воды [1, 2]. Однако в последнее время, ввиду потребностей людей в многофункциональной и универсальной технике, возникла необходимость в создании агрегата, который был бы одновременно компактным, манёвренным, но вместе с тем выдавал бы значительную электрическую и тепловую мощности. Так появилась идея создания конденсационных паровых турбин с теплофикационным или производственным отбором нерегулируемого давления. Специалисты УТЗ создали целую линейку таких турбоагрегатов. Головной турбиной это серии стал агрегат Кп-77-6,8. На его основе были разработаны также турбины К-85-8,0 и Кп-50-6,8 [3]. Все они имеют сравнительно небольшую мощность, однако уже успели зарекомендовать себя ввиду своих конструктивных и технических особенностей. В данной статье на примере паровой турбины Кп-77-6,8 описаны основные достоинства и недостатки, характерные для турбин данного класса, а также возможные варианты их применения.

Основная часть

Турбина Кп-77-6,8 – конденсационная с производственным отбором нерегулируемого давления – является одноцилиндровым агрегатом двухкорпусной конструкции [3]. Её продольный разрез представлен на рисунке 1. Она рассчитана на начальное давление 6,8 МПа и начальную температуру 550 °С [3]. Давление пара в конденсаторе равно 5 кПа. В номинальном режиме, при работающем отборе, электрическая мощность турбоагрегата составляет 77 МВт, а при отключённом отборе турбина может развить выдавать в сеть вплоть до 100 МВт [3]. Всего в турбине выполнено три отбора пара: пар из первого отбора идет на подогреватель высокого давления, пар из второго отбора идет на производственные нужды и в деаэратор, а пар из третьего отбора пар поступает в подогреватель низкого давления.

В турбине Кп-77-6,8 используется дроссельное парораспределение, поэтому в агрегате отсутствует регулирующая ступень. Процесс расширения пара протекает в девятнадцати ступенях давления, которые включают в себя одиннадцать ступеней в части высокого давления и восемь – в части низкого давления турбоагрегата. Пар движется в цилиндре по петлевой схеме. Проточная часть высокого давления находится во внутреннем корпусе. После того, как пар проходит через неё, он разворачивается на 180° и, пройдя пространство между внутренним и внешним корпусом ЧВД, попадает в проточную часть низкого давления во внешнем корпусе. Это достаточно распространённое техническое решение, которое помогает частично компенсировать осевое усилие, действующее на упорно-опорный подшипник [1].

Рассмотрим отличительные конструктивные особенности данной турбины, анализируя разрез цилиндра (рис. 1) и его внешний вид, представленный на рисунке 2. Компоновка цилиндра имеет два варианта исполнения. В первом варианте он состоит всего из двух частей: паровпускной и выхлопной – в которых находятся ЧВД и ЧНД соответственно [3]. Во втором случае в цилиндре присутствует еще и средняя часть (ЧСД), которая выбирается в зависимости от начального давления и длины проточной части. Паровпускная часть представляет собой конструкцию с наружным и внутренним корпусами. Для

закрепления внутреннего корпуса используются продольные и вертикальные шпонки, а четыре лапы надежно фиксируют его в наружном корпусе [3]. Это позволяет агрегату выдерживать неравномерное тепловое расширение лап, чтобы исключить боковые и поворачивающие усилия на корпусе переднего подшипника.

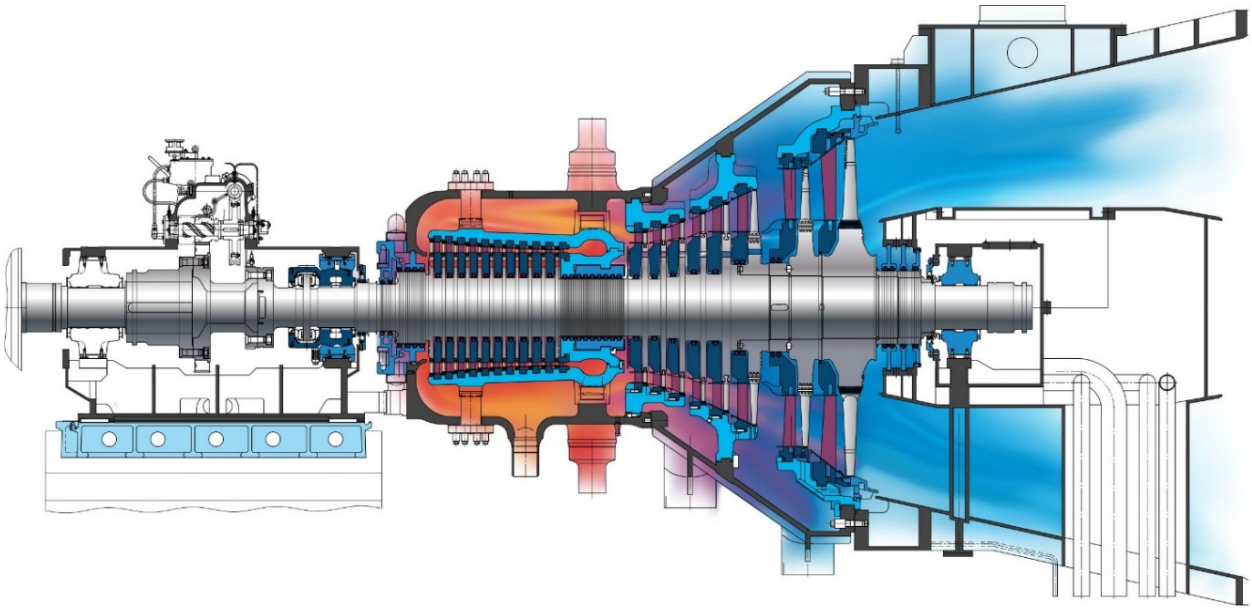


Рисунок 1 – Продольный разрез турбины Кп-77-6,8 [4]

При создании Кп-77-6,8 было решено, что картеры подшипников не будут опираться на фундамент напрямую. Это связано с тем, что выхлопной патрубок паровой турбины осевой, а значит, картер подшипника полностью располагается внутри цилиндра, что помогает потокам пара обтекать его со всех сторон. Из этого следует, что полное опирание на фундамент невозможно. В качестве решения данной проблемы было предложено подвесить картер в нижней части цилиндра через систему стяжек. Маслопроводы подшипника расположены под картером, а рядом с ними в шахте находятся паропроводы. Всего в турбине имеется два подшипника: опорный и упорно-опорный. Упорно-опорный подшипник находится перед ЧВД турбины и предназначен для восприятия не только радиальных, но осевых усилий, действующих на ротор турбины.

Картер подшипника состоит из двух частей [3]. Рассмотрим составляющие обеих частей. Внутренняя часть состоит из масляной системы и вкладыша ротора. Наружная часть включает в себя концевые уплотнения. Пространство между внутренней и наружной частями соединено с атмосферой с помощью технологической шахты. Подобное расположение благотворно влияет на нормализацию работы концевых уплотнений. Оно не допускает обводнение масла и попадание масла в паровой поток. Для своевременного доступа к картеру в крышке цилиндра выполнен люк. Он необходим при демонтаже крышек подшипника и при обслуживании краном.

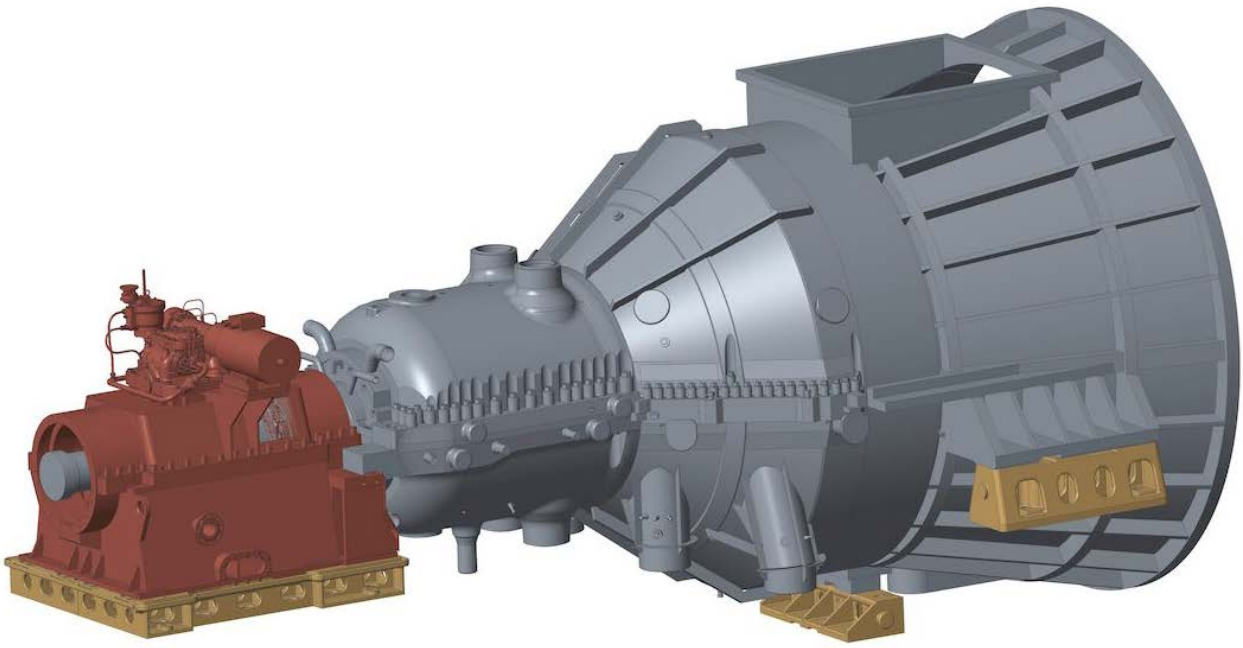


Рисунок 2 – Внешний вид турбины Кп-77-6,8 [4]

Турбины этого класса имеют нестандартное расположение валоповоротного устройства и приводимого генератора. Оба этих устройства находятся перед турбиной, что обусловлено её конструктивными особенностями, главной из которых является применение осевого выхлопного патрубка, о котором будет сказано ниже. В связи с вышесказанным генератор этих турбин имеет левое вращение своего ротора. По этой же причине в турбоагрегате отсутствует главный маслонасос. Ему просто не хватило места, так как в блоке системы авторегулирования помимо неё самой находится муфта, соединяющая роторы турбины и генератора, и упорно-опорный подшипник. Вместо главного масляного насоса подача масла осуществляется тремя электронасосами, один из которых обычно находится в резерве.

Одной из самых важных частей при проектировании турбины Кп-77 считается расчет теплового прогиба цилиндра. Он состоит из двух частей. В первой части произвели расчеты по состоянию цилиндра при рабочих нагрузках в температурном поле. Вторая часть включает в себя расчеты, проведенные при номинальных условиях без давления. Это состояние называется монтажным. В процессе расчётов была проведена оценка собственных частот и форм колебаний выхлопного патрубка. В результате этого были определены основные параметры, влияющие на систему «фундамент – опоры – подшипник – ротор». Все расчеты производились при диапазоне частот 20-60 Гц [3]. По результатам исследований можно определить следующую закономерность: при частотах менее 32 Гц цилиндру характерны оболочечные формы колебаний, что не несет существенного вреда всей конструкции, но при частоте от 32 Гц возникают изгибные формы [3]. А вот они уже могут привести к поступательным и вращательным колебаниям встроенного корпуса подшипников, что может привести к негативным последствиям при эксплуатации агрегата вплоть до аварии. Поэтому в руководстве по эксплуатации было указано, что при пуске или

останове агрегата диапазон частот от 29 Гц до 35 Гц надо проходить как можно быстрее.

Конечная часть паровой турбины – выхлопной патрубок [1]. От его конструкции во многом зависит эффективность турбины в целом. Основной задачей выхлопного патрубка является минимизация потерь при подводе потока к конденсационной установке. Важным условием, при котором протекает данный процесс является восстановление части статического давления. Это происходит благодаря кинетической энергии рабочего тела, поступающего в патрубок. Значительным преимуществом данного метода считается получение дополнительной мощности ступени за счет повышения давления за ней. Поэтому во время проектировки турбины газодинамической обработке выхлопных патрубков уделяется особое внимание. В случае турбины Кп-77 имеет место осевой выхлопной патрубок [3]. Это значительно облегчает поиск решения для нетиповых конденсационных установок, так как подвод пара к ним выполняется с помощью труб большого диаметра. Но кроме преимуществ в компоновке важно отметить, что такой выхлопной патрубок также и более экономичен по сравнению с более классическими вариантами конструкций.

Для выбора наиболее совершенного выходного патрубка важно учитывать его энергетические характеристики. Наиболее точно его эффективность описывает коэффициент полных потерь $\xi_п$ [1]. Его можно найти, просуммировав относительные основные и дополнительные потери агрегата. И от значения полных потерь энергии в турбине будет зависеть форма течения пара через выхлопной патрубок. Диапазоны значений коэффициента $\xi_п$ для различных типов выхлопных патрубков представлены в таблице 1. Анализируя представленные в ней данные можно заметить, что осевой выхлопной патрубок имеет наименьшее значение коэффициента полных потерь, что создает наиболее равномерный выходящий поток.

Таблица 1 – Диапазоны значений коэффициента полных потерь энергии в турбине в зависимости от конструкции её выхлопного патрубка [3]

Тип конструкции выхлопного патрубка	**Диапазон значений коэффициента полных потерь**
Осерадиальный выхлопной патрубок с подвальной компоновкой конденсатора	1,1…1,6
Осевой выхлопной патрубок	0,5…0,6
Осерадиальный выхлопной патрубок с боковой компоновкой конденсатора	0,7…0,9

Однако несмотря на положительный эффект от установки осевого патрубка, производители мощных отечественных турбин придерживаются более традиционных конструкций [1]. Это связано с определёнными сложностями при проектировании патрубка. Во-первых, скорости потока пара распределяются неравномерно по высоте лопатки при выходе из патрубка, что требует учёта особенностей течения пара еще и в последней ступени турбины. Во-вторых, осевой выхлопной патрубок не симметричен, его пришлось моделировать в полном виде [3]. В-третьих, течение пара вдоль диаметра патрубка неравномерно, так как опорные конструкции вносят возмущение в его поток,

который восстанавливается лишь за пределами встроенного корпуса подшипника. Для устранения сложностей, возникающих при расчётах осевого патрубка для турбины Кп-77, была спроектирована его модель и модель проточной части. Это позволило значительно сократить время, затрачиваемое на конструирование и расчёты возможных вариантов исполнения цилиндра и патрубка, так как большую часть работы стало возможно выполнить с помощью систем автоматизированного проектирования.

В данном случае осевой патрубок эргономично вписался в корпус турбины и хорошо зарекомендовал себя при её работе. Его применение позволило сэкономить место и установить вместе с турбиной воздушный конденсатор. Это очень важно в том случае, когда вблизи места эксплуатации агрегата нет крупного источника технического водоснабжения. Кроме того, использование воздушного конденсатора позволяет избавиться от проблем с отложениями, коррозией и, как следствие, механическим износом трубок теплообменника, так как обычно охлаждающая вода не обладает высоким качеством. Данный конденсатор конструктивно выполнен в виде башен, очень похожих на градирни. Внутрь этих башен подводится отработавший пар и подаётся в специальные коллекторы, откуда он попадает в трубные пучки, расположенные специальным образом для обеспечения лучшего теплообмена с воздухом. Форма башни позволяет обеспечить естественную циркуляцию воздуха, поэтому для работы воздушного конденсатора не требуются тягодутьевые механизмы. Отсутствие системы технического водоснабжения снижает затраты на строительство станции, её площадь, а также позволяет избежать возможное негативное влияние на окружающую среду.

В результате инженерам УТЗ удалось создать агрегат, который при относительно небольших габаритах может выдавать приличную для своего класса электрическую мощность и вместе с этим дополнительно снабжать потребителя тепловой энергией. Изначально Уральский турбинный завод разрабатывал турбину Кп-77 для построенных в Москве мусороперерабатывающих заводов [5]. После окончания строительства были поставлены первые машины, которые работали в блоках с котлами, предназначенными для сжигания мусора. Это дало возможно с пользой утилизировать мусор, отказавшись от организации новых полигонов ТБО, а трёхступенчатая очистка дымовых газов позволила сделать влияние этих предприятий на окружающую среду минимальным. А указанные ранее преимущества турбины сделали возможным строительство таких заводов в пределах города, что значительно сократило время транспортировки мусора и дало возможность сделать город чище.

Вместе с тем турбоагрегат Кп-77-6,8 может применяться и в составе парогазовой установки (ПГУ) [1]. В этом случае ТЭС состоит из паровой и газовой частей. Газовая часть включает в себя компрессор и газовую турбину. В камеру сгорания газовой турбины подаётся топливо и сжатый в компрессоре воздух. Топливо сгорает, образуются дымовые газы, которые вращают ротор газовой турбины. Поскольку температура этих газов даже после срабатывания в газовом турбоагрегате остаётся достаточно высокой (на уровне 550 °С-600 °С)

[1], целесообразно использовать их теплоту для получения дополнительного количества электроэнергии. Поэтому после газовой турбины дымовые газы попадают в котёл-утилизатор, где отдают свою теплоту воде, превращая её в пар. Этой теплоты достаточно, чтобы обеспечить требуемую температуру пара перед входом в турбину Кп-77. В итоге с помощью котла-утилизатора связываются между собой в один цикл паросиловой и газотурбинный циклы. КПД такого цикла примерно в 2 раза выше обычного паротурбинного, так как в данном случае электроэнергия вырабатывается на электрогенераторах как паровой, так и газовой турбины. Вместе с этим потери теплоты с уходящими газами, которые на традиционной ТЭС занимают одно из первых мест по объёмам, здесь намного ниже за счёт рационального использования этой теплоты в котле-утилизаторе. В результате термический КПД блока ПГУ получается на уровне 60…68 % [1].

Заключение

Уральский турбинный завод непрерывно совершенствует разработку и производство паровых турбин, что позволяет надеяться на постоянное повышение качества в области российского турбостроения. Спроектированная на этом заводе турбина Кп-77-6,8 полностью оправдала все заложенные в неё конструкторские решения и подтвердила свои показатели в ходе испытаний [3, 4]. Благодаря инновационным технологиям производства и уникальной конструкции выходного патрубка эта турбина, как уже было указано выше, способна развивать мощность вплоть до 100 МВт, что является достойным результатам для турбины средних габаритов.

В период конструирования разработчики применяли верифицированные методики, учитывающие различные состояния турбины как на сборке при монтаже, так и при разных эксплуатационных нагрузках. Это позволяет повысить гарантийный срок покупателям на качество и срок службы произведенных на Уральском турбинном заводе агрегатов. В частности, для турбины Кп-77-6,8 срок эксплуатации может доходить до 30 лет [3].

Литература

1. Паровые и газовые турбины: учебник для вузов / А.М. Трубилов, [и др.]; под ред. А.Г. Костюка, В.В. Фролова. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 352 с.

2. Бродов, Ю.М. Теплообменники энергетических установок / Ю.М. Бродов. – Екатеринбург: Сократ, 2003. – 965 с.

3. Одноцилиндровая паровая турбина Кп-77-6,8 // Турбины и дизели. Специализированный научно-практический журнал. – 2023. – № 5. – С. 38-43.

4. Кп-77 [Электронный ресурс] / Уральский турбинный завод. – Режим доступа: https://www.utz.ru/customer/catalog/parovye-turbiny/turbiny-dlya-proizvodstvennogo-tekhnologicheskogo-tsikla-i-musoroperererabotki/kp-77/ /. – Дата доступа: 19.10.2024.

5. Презентация первой российской турбины для мусоросжигательных заводов [Электронный ресурс] / ZAVODFOTO.RU. – Режим доступа: https://dzen.ru/a/XMiTg3rp7QCzoX7M /. – Дата доступа: 19.10.2024.

УДК 621.165

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ЭКОНОМИЧНОСТИ СИСТЕМ ТРАНСПОРТА ТЕПЛОТЫ
IMPROVING THE RELIABILITY AND EFFICIENCY OF HEAT TRANSPORT SYSTEMS

В.В. Бакалова, В.Д. Лукьяненко
Научный руководитель – Л.А. Тарасевич, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
V. Bakalova, V. Lukyanenko
Supervisor – L. Tarasevich, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье представлены основные аспекты эксплуатации систем транспорта теплоты. Отдельно рассмотрены методы повышения надежности и экономичности работы системы теплоснабжения для бесперебойного снабжения тепловой энергией потребителей. Также особое внимание уделяется возникновению дефектов теплотрассы, как следствие появлению потерь и способам их минимизации. В заключении делается вывод о значимости правильно осуществленного процесса эксплуатации теплопроводов.*
Annotation: *This article presents the main aspects of the operation of heat transport systems. Methods of increasing the reliability and efficiency of the heat supply system for uninterrupted supply of thermal energy to consumers are considered separately. Special attention is also paid to the occurrence of defects in the heating main, as a result of the appearance of losses and ways to minimize them. In conclusion, the conclusion is made about the importance of a properly implemented process of operation of heat pipelines.*
Ключевые слова: *теплотрасса, коррозия, изоляция, горячее водоснабжение, тепловой пункт, тепловые испытания.*
Key words: *heating line, corrosion, insulation, hot water supply, heat point, thermal tests.*

Введение

Ключевым фактором, описывающим эффективность работы системы теплоснабжения, выступает ее надежность. Другими словами, способность системы непрерывно снабжать потребителей тепловой энергией соразмерно с их потребностями. Однако если на сегодняшний день надежность источников теплоты можно приравнять к 100 %, то система транспорта теплоты в этом значительно проигрывает. Данное явление объясняется возникновением потерь (до 20 %) теплоты в силу износа теплотрассы. В том числе сюда входят различного рода утечки рабочего тела через неплотности конструкции. Таким образом, средний срок эксплуатации подземных трубопроводов составляет 10-15 лет, а то и меньше, несмотря на заявленный срок эксплуатации в 25 лет002E Поддержание теплотрассы в рабочем ее состоянии требует немалых как материальных, так и физических затрат.

Основная часть

Повреждаемость трубопроводов.

Основной причиной возникновения дефектов теплотрассы можно назвать их наружную коррозию (составляет 80-90 %). При длительной эксплуатации теплосетей в условиях повышенной влажности резко возрастает риск возникновения аварийных ситуаций и нет гарантии, что рабочий персонал сможет экстренно отреагировать даже на начальные признаки износа. Это объясняется нехваткой материально-технической основы предприятия тепловых сетей, однако для контроля ситуации необходимо иметь теоретическое представление и прогноз повреждаемости. Развитию наружной коррозии способствует увлажнение изоляции, ведущее к значительному увеличению тепловых потерь. Здесь в качестве решения проблемы применяют воздушную вентиляцию каналов подземных трубопроводов. В результате чего наблюдается уменьшение влажности воздуха в канале, а, следовательно, замедление процесса кислородной коррозии металла почти в 2 раза и снижение потерь тепла на 10 %. Помимо вентиляции применяется увеличение температуры сетевой воды и периодическая сушка изоляции трубопровода в результате повышения температуры теплоносителя. Последнему в свою очередь сопутствует увеличение расхода топлива.

В процессе изучения большого количества материалов и разбора отдельных ситуаций на предмет повреждаемости теплотрассы в зависимости от различных факторов (срок службы, диаметр, протяженность, качество ремонтных работ и пр.) была выявлена следующая зависимость (рис. 1):

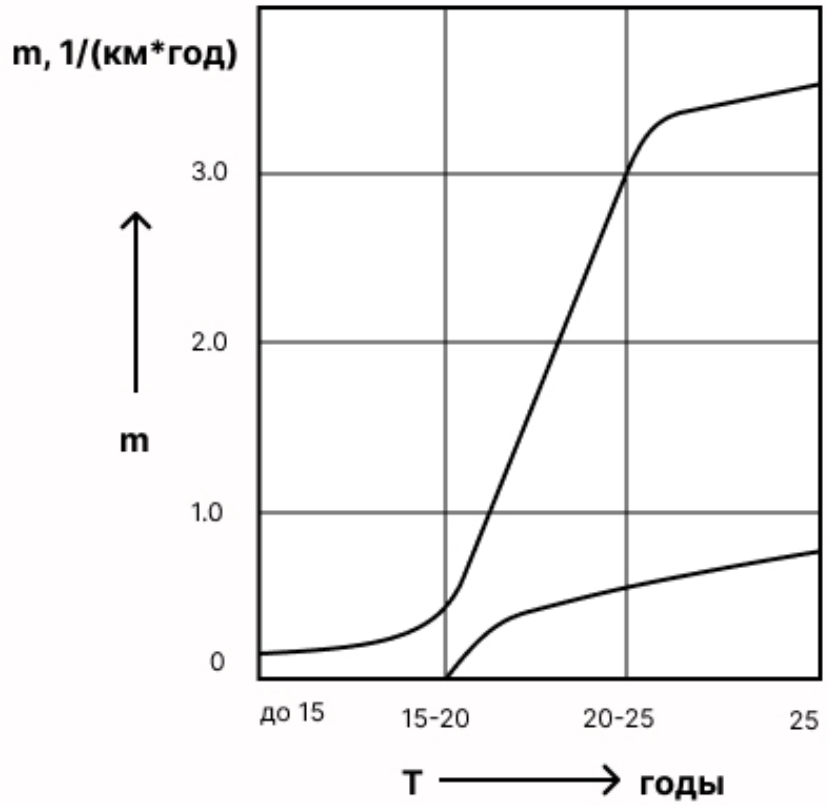


Рисунок 3 – Повреждаемость трубопроводов различных сроков эксплуатации

Здесь верхняя линия характеризует трубопроводы диаметром до 200 мм, нижняя – соответственно более 250 мм. Первой группе (квартальные теплосети) присуща удельная повреждаемость к 20 годам эксплуатации равная 2-5 повреждений в год на километр. Другими словами, теряется работоспособность сетей в связи с несовершенством конструкций и неблагоприятными условиями эксплуатации. Для второй группы (распределительные трубопроводы) характерна более низкая удельная повреждаемость в силу предъявления к ней значительных показателей надежности по причине транспорта теплоты большому количеству потребителей. Опытным путем выявили возможность получения прогноза технического состояния теплотрассы, опираясь на показатели за предыдущий период эксплуатации [1].

Изоляция трубопроводов.

Толщина тепловой изоляции для теплопроводов является важный моментом, определяющим эффективность теплоизоляции и уровень теплопотерь. Для трубопроводов, температура теплоносителя которых не превышает 100 °C, толщина изоляции находится в промежутке от 30 до 50 мм. Для паровых труб (до 200 °C) толщина может варьироваться от 50 до 100 мм. Для труб с температурой теплоносителя выше 200 °C толщина изоляции может превышать 100 мм.

Выбор оптимальной толщины тепловой изоляции для теплопроводов зависит от нескольких факторов:

- Температурный режим: здесь необходимо определить рабочую температуру теплоносителя и окружающей среды. Чем выше температура, тем толще изоляционное покрытие;
- Выбор подходящего материала изоляции объясняется тем, что различные материалы имеют разные теплопроводности. Здесь существует необходимость определения коэффициента теплопроводности (λ) выбранного материала;
- Необходимость учитывать влияние наружного диаметра трубопровода на расчет толщины изоляции;
- Расчет допустимых теплопотерь. При этом прибегают к использованию формулы для расчета теплопотерь через изоляцию, чтобы определить необходимую ее толщину;
- Необходимость сравнения стоимости изоляции и потенциальной экономической выгоды от снижения теплопотерь. Оптимальная толщина должна обеспечивать баланс между стоимостью и экономией;
- Учет условия эксплуатации (влажность, различного рода механические воздействия, возможность возникновения повреждений и т.д.).

Методы контроля за состоянием системы транспорта теплоты и повышение ее эффективности.

Теплосети периодически подвергаются гидравлическим (прочность, плотность конструкции) и тепловым испытаниям для оценки их состояния. Испытания на прочность проводятся каждый год сразу после отопительного сезона, а также после ремонта с целью выявления и предотвращения коррозионного процесса. Тепловые испытания и обследования теплосетей на

предмет гидравлических потерь проводятся раз в пятилетку, преимущественно в летний период, с целью определения качества изоляционного покрытия.

Повышение надежности и экономичности систем транспорта теплоты можно достичь с помощью следующих манипуляций:

- Оптимизация проектирования: использование современных программ для моделирования и анализа тепловых потоков, выбор подходящих материалов, устойчивых к коррозии и высоким температурам;
- Энергоэффективные технологии: внедрение теплообменников высокой эффективности, применение насосов и вентиляторов с переменной скоростью для регулировки потока;
- Автоматизация и управление: использование систем автоматического управления для мониторинга и регулировки параметров работы системы, установка датчиков температуры и давления для оперативного реагирования на изменения;
- Регулярное техническое обслуживание: периодическая проверка и очистка трубопроводов и теплообменников от отложений, своевременная замена изношенных компонентов до момента их полной неработоспособности;
- Изоляция трубопроводов: эффективная изоляция помогает снизить теплопотери и повысить общую эффективность системы;
- Инвестиции в новые технологии: рассмотрение возможности применения альтернативных источников энергии, таких как солнечные коллекторы или геотермальные системы;
- Обучение персонала: повышение квалификации работников для лучшего понимания работы систем и эффективного обслуживания этих систем;
- Анализ данных и оптимизация процессов: сбор и анализ данных о работе системы для выявления различного рода дефектов и поиска путей их устранения;

Если учесть, что текущее состояние теплотрассы и сетей ГВС по стране характеризуется высоким уровнем износа, можно сделать вывод о значимости повышения надежности транспорта тепловой энергии посредством модернизации системы ГВС. Таким образом, в качестве модернизации последних применяю индивидуальные тепловые пункты. При этом происходит перенос функции производства горячей воды непосредственно к потребителю. Основной эффект модернизации достигается за счет вывода из эксплуатации централизованных тепловых пунктов и сетей горячего водоснабжения. В результате получаем гораздо меньший процент повреждаемости и износа теплотрассы [2].

Вышеперечисленные аспекты позволяют не только повысить надежность, но и снизить эксплуатационные расходы, что в конечном итоге влечет за собой более экономичное использование ресурсной базы.

Затраты в процессе эксплуатации.

В процессе эксплуатации теплотрассы так или иначе имеют место быть различного рода затраты, из которых можно выделить издержки на разработку грунта с последующим восстановлением почвенного покрова/дорожного

покрытия, другими словами благоустройством, вставку нового трубопровода длиной до 2 метров и прочее. Службы также несут затраты, проявляющиеся в процессе ликвидации последствий аварий у потребителя (ремонт жилых помещений, зданий и сооружений), а также в неполном отпуске теплоты последним. При этом наблюдаются потери теплоносителя, имеет место необходимость заметы теплофикационной выработки электроэнергии конденсационной и использования газового/электрического обогрева помещений в период аварийных работ. Помимо вышеперечисленных затрат еще выделяют следующие их виды:

- Затраты на перекачку теплоносителя от источника теплоснабжения до потребителя и обратно. Их основной составляющей является стоимость электроэнергии, идущей на привод сетевых насосов;
- Затраты на тепловые потери в теплосетях включают в себя потери теплоты через изоляционное покрытие трубопровода или с утечками рабочего тела (теплоносителя). Тепловые потери несущественно зависят от расхода теплоносителя, ключевыми влияющими параметрами здесь выступают температурный график отпуска теплоты и протяженность трассы;
- Затраты в повысительные насосные станции теплосетей имеют место быть в результате роста расхода сетевой воды против расчетного для выбранного диаметра трубопровода, что в свою очередь ведет к увеличению потерь давления (напора) при транспортировке рабочего тела (не должны превышать 100 Па/м).

Заключение

Таким образом, в статье была рассмотрена проблематика, затрагивающая надежность и экономичность систем транспорта теплоты и складывающаяся из теоретических и практических аспектов. Однако в настоящее время каждый день разрабатываются новые методы повышения эффективности теплоснабжения, проводятся различного радо исследования, вводятся в эксплуатацию новые сооружения и конструкции.

Литература

1. Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабжения [Электронный ресурс] / Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабжения. – Режим доступа: https://rusneb.ru/catalog/000199 /. – Дата доступа: 06.10.2024.

2. Повышение надежности транспортировки тепловой энергии до потребителей в условиях модернизации системы горячего водоснабжения [Электронный ресурс] / Повышение надежности транспортировки тепловой энергии до потребителей в условиях модернизации системы горячего водоснабжения. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru /. – Дата доступа: 06.10.2024.

УДК 621.31

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПРЯМОТОЧНЫХ КОТЛОВ ЗА СЧЕТ ИХ НАДСТРОЙКИ ГАЗОПОРШНЕВЫМИ АГРЕГАТАМИ

IMPROVING THE EFFICIENCY OF DIRECT-FLOW BOILERS DUE TO THEIR SUPERSTRUCTURE WITH GAS PISTON UNITS

Е.Д Жабров, Е.А. Иссарь
Научный руководитель – Н.В. Левшин, доцент, к.т.н.
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
E. Zhabrov, E. Issar
Supervisor – N. Levshin, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье рассматривается технология прямоточных котлов с надстройкой газопоршневыми агрегатами, которая используется для повышения эффективности работы.*

Abstract: *This article discusses the technology of direct-flow boilers with superstructure of gas piston units, which is used to improve work efficiency.*

Ключевые слова: *прямоточные котлы, газопоршневые агрегаты, эффективность, выбросы загрязняющих веществ, устойчивое развитие.*

Keywords: *direct-flow boilers, gas piston units, efficiency, emissions of pollutants, sustainable development.*

Введение

В настоящее время, перед современной энергетической отрасли возникает множество проблем, связанных с необходимостью повышения эффективности работы энергетических систем и уменьшения вредного воздействия на окружающую среду по всему миру. Потребности в энергии, вызванные промышленным развитием, требуют от компаний внедрения инновационных технологий и усовершенствования существующих систем и механизмов. Одним из перспективным решением в этой области является надстройка газопоршневыми агрегатами прямоточных котлов для повышения общей эффективности работы. Данный подход сможет не только увеличить общую тепловую мощность установки, но и так же существенно увеличить эффективность использования горючего топлива. Это особенно актуально в условиях ограниченных ресурсов, которые уменьшаются с каждым годом в большом количестве, но и также при ежегодном росте цен на энергоресурсы. Особое внимание уделяется снижению выбросов парниковых газов и других загрязняющих элементов, что становится важной задачей в борьбе с изменением климата не только в нашей стране, но и по всему миру.

Основная часть

Повышение эффективности работы прямоточных котлов за счет их надстройки газопоршневыми агрегатами (ГПА) с каждым годом становится всё более распространенной в энергетической отрасли. Данные установки работают по принципу когенерации. Производство электрической и тепловой энергии происходит одновременно. ГПА позволяет использовать отработанное тепло, не

только для подогрева воды в котлах, но также и для пара. Это значительно повышает общую эффективность системы. В настоящее время, эта технология становится особенно актуальной в условиях возрастающих требований к уменьшению выбросов вредных элементов в окружающую среду и повышению эффективности энергетических установок.

Принцип работы ГПА состоит из сжатия, зажигания и расширения газов внутри поршневого двигателя. Изначально, процесс начинается с подачи в цилиндр воздушно-топливной смеси, там она сильно сжимается поршнями, а затем смесь поджигается свечой зажигания и молниеносно расширяется. Этот “первый этап” приводит к тому, что смесь толкает поршни и механическая энергия, преобразуется в электричество с помощью генератора.

Газопоршневые агрегаты (ГПА) могут работать как на природном газе, так и на биогазе, что позволяет значительно сократить многочисленные выбросы углекислого газа по сравнению с угольными или дизельными установками. Вначале, через специальную систему подачи газа, топливо подаётся в цилиндры, где смешивается с воздухом и образуется горючая смесь. Главной частью технологии является система зажигания, которая обеспечивает воспламенение смеси в цилиндрах, тем самым способствует равномерному и эффективному сгоранию топлива. После рабочего хода, сгоревшие газы выводятся через выпускные клапаны и направляются в систему выхлопа. Для поддержания нормальной температуры и работы подвижных частей двигателя, ГПА оснащены системами охлаждения и смазки. Системы охлаждения, через рубашки двигателя, циркулируют хладагент, обеспечивая отвод тепла, который выделяется при сгорании. Смазка распределяется по подвижным частям для уменьшения трения и предотвращения износа деталей.

Одним из ключевых факторов, которые делают технологию использования прямоточных котлов в сочетании с газопоршневыми агрегатами (ГПА) столь привлекательной, является возможность увеличить коэффициент полезного действия (КПД) системы. Применив технологию, КПД может вырасти на 5-15 %, в зависимости от условий эксплуатации и параметров конкретной установки [1]. Интеграция позволяет значительно оптимизировать процессы.

За счет использования излишнего тепла в ГПА, снижаются тепловые потери, что позволяет наиболее эффективно преобразовывать энергию, полученную в результате сжигания. Сам процесс происходит следующим образом: образования пара в прямоточных котлах при сжигании топлива, выделяется огромное количество тепла, вместо того, чтобы неэффективно использовать это тепло просто выбрасывать его в атмосферу, система позволяет переработать излишнее тепло для нагрева газа, подаваемого в газопоршневые агрегаты. Для такого интересного метода использования применяются теплообменные системы, которые позволяют передавать тепло от горячих газов, выходящих из котла, к потоку газа, который будет сгорать в агрегатах. Температура повышается, за счет системы, которая перед сжиганием нагревает газ, что увеличивает эффективность этого процесса и обеспечивает более полное использование топлива.

Согласно недавним исследованиям, применив технологию ГПА вместе с работой прямоточных котлов возникают новые и важные преимущества в экологическом плане. Самые важные аспекты, это то, что угарный газ (CO),

углекислый газ (CO_2) и окислы азота (NO_x) за счет полного сжигания топлива и когенерации выбросов вредных элементов снижаются в большом количеств. Выбросы CO_2 и NO_x уменьшатся на 30% за счет когенерации и это позволяет многим предприятиям, которые начнут использовать данную технологию соответствовать современным стандартам в области охраны окружающей среды и также способствует снижению углеродного следа. Использования ГПА является важным шагом на пути к устойчивому развитию, учитывая современные глобальные усилия по переходу на более чистые источники энергии [2].

Помимо всех прочих выгод, системы с использованием ГПА, в связки с прямоточными котлами, предлагают отличную гибкость в эксплуатации системы. Прямоточные котлы, идеально решение для использования на промышленных предприятиях с постоянным потреблением энергии, так как они могут наиболее эффективно работать в условиях переменной нагрузки. Технология позволяет адаптировать работу системы к потребностям производства наиболее эффективно, повышая надежность и уменьшая потери энергии. Кроме всего прочего, газопоршневые агрегаты позволяют работать на различных видах топлива, включая природный газ или биогаз, что является подтверждением ее гибкости в выборе различных источников энергии.

Первоначальные затраты на установку ГПА могут быть значительными, но экономическая эффективность таких систем проявляется только в долгосрочной перспективе. Технология быстро окупаются за счет экономии топлива и повышения общей эффективности предприятия. Увеличение КПД позволяет сократить операционные затраты, а снижение выбросов делает возможным использование различных программ направленных на улучшение экологической обстановки.

Кроме всего прочего, системы с ГПА обеспечивают простоту обслуживания. Современные системы управления позволяют точно регулировать процессы производства энергии, что минимизирует риск аварий и обеспечивает более безопасную эксплуатацию. ГПА также способствуют снижению нагрузок на котёл, что увеличивает его срок службы и сокращает расходы техническое обслуживание.

Прямоточные котлы, как с газопоршневыми агрегатами (ГПА), так и без них, имеют свои особенности и недостатки, которые стоит учитывать при выборе технологии для энергетической системы: Без использования ГПА прямоточные котлы однозначно столкнуться с рядом трудностей. Без газопоршневых агрегатов, котлы не могут производить электричество, так как не поддерживают процесс когенерации и вся энергия расходуется исключительно на выработку тепла, что ограничивает функциональность. Самая главная проблема заключается в низком коэффициенте полезного действия (КПД). Значительная часть тепла теряется через выхлопные газы, поскольку тепло не утилизируется и не используется повторно, всё это ведет нас к высоким потерям энергии и необходимости сжигать все больше топлива для поддержания необходимой температуры и давления в системе. В условиях быстро растущих цен на топливо, такие потери приводят к расходам, что негативно сказывается на экономический аспект такой технологии.

Применив газопоршневые агрегаты (ГПА) вместе с прямоточными котлами, позволит нам значительно улучшить характеристики нашей энергетической системы, но как и все другие технологии, она имеет некоторые недостатки. Главным

недостатком системы - повышенная стоимость первоначальной установки ГПА. Интеграция требует значительного капиталовложения, обычно это становится существенным барьером для многих предприятий страны, особенно если мы говорим про небольшие производства. Также технология ГПА требуют ответственного технического обслуживания. Требуется постоянный контроль за работой систем контроля и дополнительных. Эксплуатация данных установок нуждается в квалифицированном персонале и тем самым приводит к увеличению затрат на ремонт и техническое обслуживание. Кроме всего прочего, ГПА по своей сути значительно снижают выбросы вредных веществ в атмосферу, что положительно влияет на экологию, но за счёт повышения КПД, они всё ещё зависимые от множества различных ископаемого топлива, например природный газ, тем самым сохраняет определенные экологические риски [3].

Заключение

Несмотря на некоторое количество сложностей возникающих при внедрении этой технологии на предприятия, метод безусловно остается отличной альтернативой для повышение эффективности стации. Также технология является эффективным решением по борьбе с негативным воздействием на мировую экологическую систему. Применив комбинацию ГПА с прямоточными котлами, мы сможем оптимизировать использование топлива и увеличить тепловую мощность. Это является особенно актуальным в условиях необходимости снижения выбросов и загрязняющих элементов в окружающую среду. К сожалению, в данный момент времени, технология еще мало известна во многих странах, поэтому необходимо дальнейшее её развитие и исследование для масштабного внедрения этого метода, и самое главное – тестирование данной технологии, для получения более оптимального подхода по внедрению её. Это гарантированно окажет положительное влияние как на экологический аспект, так и на общий КПД всей энергетической системы, снизится количество использованного горючего топлива и появится ещё ряд преимуществ, которые были описаны немного ранее. С растущим, каждый год, спросом на электроэнергию и ужесточение экологических норм, приведет нас к тому, что пора бы улучшить и оптимизировать существующие технологии, что в конечном итоге мы добьемся более устойчивой и надежной энергетической системе.

Литература

1. SPIRAXSARCO [Электронный ресурс] / Boiler Efficiency and Combustion. – Режим доступа: https://www.spiraxsarco.com/learn-about-steam/the-boiler-house/boiler-efficiency-and-combustion?sc_lang=en-GB /. – Дата доступа 11.04.2022.

2. EPA.GOV [Электронный ресурс] / CHP Can Reduce Emissions While the Grid Transitions Towards Cleaner Energy. – Режим доступа: https://www.epa.gov/chp/chps-role-decarbonization /. – Дата доступа 14.06.2021.

3. ЭНЭКА [Электронный ресурс] / Газопоршневой агрегат или микротурбинная установка. – Режим доступа: https://eneca.by/novosti/energetika-i-energoeffektivnost/gazoporshnevoy-agregat-ili-mikroturbinnaya-ustanovka?ysclid=m2j1rfz85w846947216 /. – Дата доступа 24.02.2021

УДК 62-69

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ
APPLICATION OF HIGH TEMPERATURE HEAT PUMPS IN HEAT SUPPLY SYSTEMS

Е.М. Стельмак
Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
E. Stelmak
Supervisor – E. Pronkevich, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Основной функцией лидирующей мировой отрасли, такой как энергетика является обеспечение всех потребителей тепловой и электрической энергией, генерируемых непосредственно на электрических станциях. Для отпуска и распределения тепловой и электрической энергий образованы системы тепло- и электроснабжения. В данной работе будут затронуты моменты, касающиеся системы теплоснабжения и ее устройства.*

Abstract: *The main function of the world's leading industry, such as energy, is to provide all consumers with thermal and electrical energy generated directly at power plants. Heat and electricity supply systems have been established for the supply and distribution of thermal and electrical energy. This work will touch upon points concerning the heat supply system and its design.*

Ключевые слова: *теплоснабжение, тепловой насос, потребитель, компрессор.*
Keywords: *heat supply, heat pump, consumer, compressor.*

Введение

Системы теплоснабжения [1] служат для обеспечения тепловой энергией жилые дома (система отопления и горячего водоснабжения) и производственные предприятия. Транспортировка тепловой энергии, отпускаемой с тепловых станций на нужды потребления населения и производства обеспечивается сложной системой, образованной подземными и надземными магистральными трубопроводами. Кроме трубопроводов к элементам, организовывающим доставку тепловой энергии на нужды потребления также относятся тепловые сети и теплофикационные камеры централизованные пункты с соответствующими вспомогательными установками, главным оборудованием которых является тепловой насос.

Основная часть

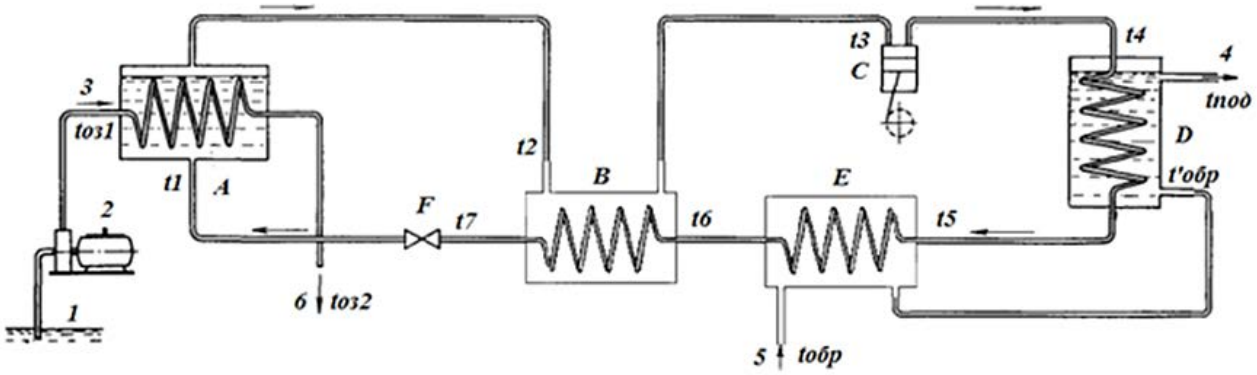
Тепловой насос – это устройство, служащее для доставки тепловой энергии потребителю. Они обладают высокими экономическими показателями и имеют нулевые выбросы за весь срок эксплуатации.

В энергетике широкое распространение получил такой вид тепловых насосов как высокотемпературный. Это обуславливается следующим:

- по сравнению с маломощными тепловыми насосами, высокотемпературные имеют больший КПД компрессора;

– значительно меньше по габаритам;
– возможность нагрева воды до 90 °С;
– работа по циклу Аллама.

Принципиальная схема высокотемпературного теплового насоса представлена ниже на рисунке 1:



1 – водяной источник; 2 – водяной насос; 3 – вода с источника; 4 – нагретая вода; 5 – обратная вода; 6 – сбросная вода; *A* – испаритель; *B* – перегреватель; *C* – компрессор; *D* – конденсатор; *E* – переохладитель; *F* – дроссель.

Рисунок 1 – Принципиальная схема высокотемпературного теплового насоса [2]

Рассмотрим процесс расчёта основных характеристик высокотемпературных тепловых насосов на примере высокотемпературного теплового насоса с двухступенчатым центробежным компрессором.

Особенность таких тепловых насосов заключатся в том, что компрессор их состоит из двух, расположенных последовательно на одном валу, компрессоров. Компрессор, включённый по такой схеме, называется двухступенчатым. Применение такой схемы включения компрессоров позволяет достичь большей эффективности компрессорной установки и большей степени сжатия хладагента, соответственно – достижение большего давления.

Выведем уравнение потребления насосом мощности первой и второй ступени компрессора:

$$N_{K1} = G_1(h_2 - h_1); \quad (1)$$

$$N_{K2} = G_2(h_4 - h_3). \quad (2)$$

Выше приведены уравнения (1) и (2) для первой и второй ступени соответственно, где G_1 – расход хладагента на первую ступень, G_2 – на вторую соответственно; h_1 и h_3 – энтальпии хладагента на входе в ступени; h_2 и h_4 – энтальпии на выходе из ступеней.

Суммарная мощность, затрачиваемая на компрессор, является суммой мощностей, затрачиваемых на привод отдельных его ступеней. Таким образом:

$$N_{\Sigma K} = N_{K1} + N_{K2}. \quad (3)$$

Электромеханический КПД таких компрессоров обычно принимают $\eta_{эм}$=0,98. Это необходимо учитывать при расчете потребляемой электрической энергии компрессора:

$$N_Э = \frac{N_{\Sigma K}}{\eta_{эм}} \quad (4)$$

Холодопроизводительность испарителя определяется как произведение разницы энтальпий хладагента на входе и выходе и расхода, поступающего на испаритель:

$$Q_{\text{исп}} = (h_1 - h_{\text{к}})G_1. \quad (5)$$

Таким образом, коэффициент трансформации можно определить по формуле:

$$\mu = \frac{Q_{\text{конд}}}{N_{\text{Э}}}, \quad (6)$$

где, $Q_{\text{конд}}$ – тепловая мощность, Вт.

Процесс расширения в h-s диаграмме для высокотемпературных тепловых насосов на примере двухступенчатого теплового насоса на хладагенте R-134a:

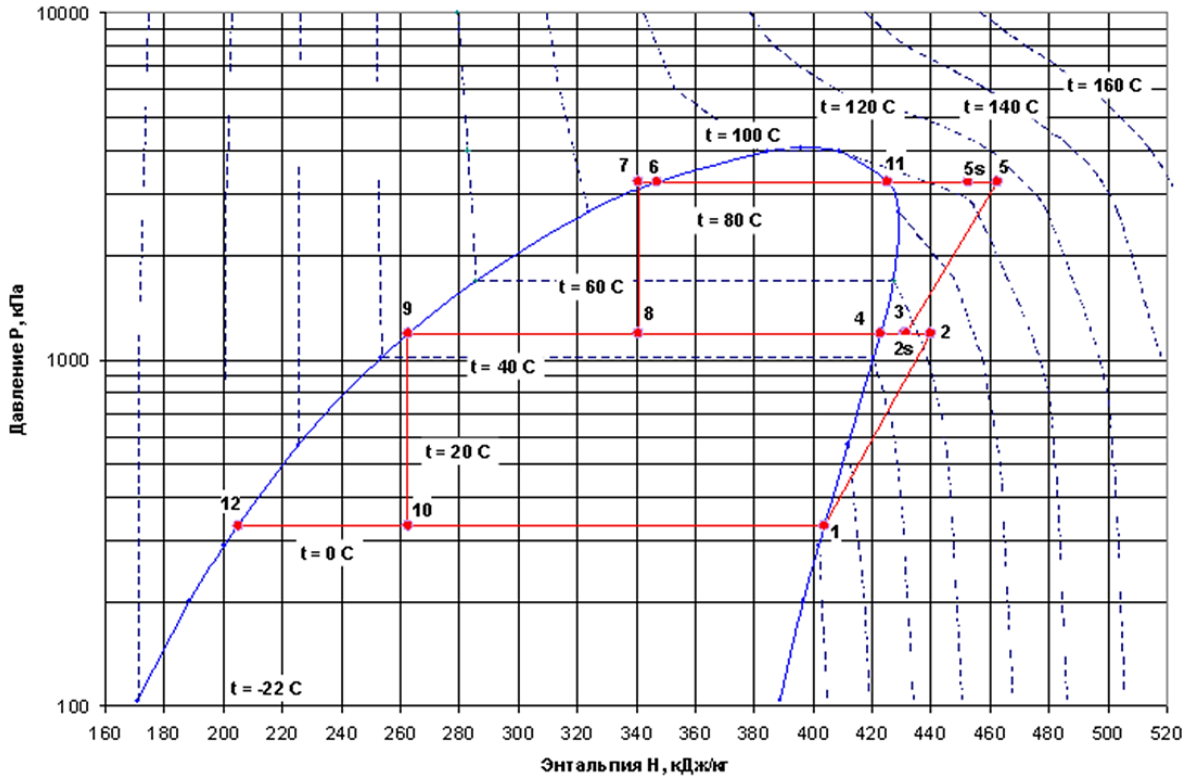


Рисунок 2 – Процесс расширения в h-s диаграмме для высокотемпературных тепловых насосов на примере двухступенчатого теплового насоса на хладагенте R-134a [2]

Высокотемпературные насосы [3] служат для обеспечения отоплением и горячим водоснабжением. Блок компрессора может быть установлен как внутри, так и снаружи. Материал изготовления компрессора – оцинкованная сталь. Соединение внешнего блока компрессора с конденсатором внутри здания обеспечивается медными трубками.

Высокотемпературные тепловые насосы имеют характеристики, приведенные ниже в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики высокотемпературных тепловых насосов

Нагрев воды до 65 °С	Производительность, кВт	80
	Потребляемая мощность, кВт	15,96
	Расход воды, $м^3/ч$	1,38
Нагрев воды до 90 °С	Производительность, кВт	79
	Потребляемая мощность, кВт	17,35
	Расход воды, $м^3/ч$	0,92
Расчетное давление хладагента	МПа	На стороне ВД – 15,0; на стороне НД – 6,4
Хладагент	Тип / объем загрузки	CO_2 / 20 кг

Большинство видов высокотемпературных тепловых насосов работают с хладагентом – диоксидом углерода. Работа насоса с диоксидом углерода в цикле поднимает вопрос, касающийся экологической безопасности. Ответ на этот вопрос – цикл Аллама.

Цикл Аллама – цикл работы тепловых механизмов, разработанный английским инженером Роднеем Джоном Алламом, основанный на использовании CO_2 внутри замкнутого цикла, то есть хладагент циркулирует по замкнутому контуру. Данный цикл уже хорошо зарекомендовал себя в мировой энергетике, что видно из его частого использования. Большинство ТЭС успешно перешли на работу по данному циклу, что положительно сказывается динамике роста экологических и технико-экономических показателях этих станций. Высокотемпературные тепловые насосы, работающие по данному циклу, имеют большую энергоэффективность.

Заключение

Высокотемпературные тепловые насосы могут стать достойной заменой для малых и средних котельных. Их преимуществами перед котельными является больший КПД, снижение выбросов диоксида углерода на 34 %, круглогодичное обеспечение горячим водоснабжением, значительное упрощение вопросов, касающиеся жилищно-коммунального хозяйства, а также меньшая цена.

Литература

1. Системы теплоснабжения [Электронный ресурс] / Системы теплоснабжения. –Режим доступа: https://aegrb.by/teplosnabzhenie-sistemy-teplosnabzheniya /. – Дата доступа: 20.10.2024.

2. Пример расчета высокотемпературного теплового насоса [Электронный ресурс] / Пример расчета высокотемпературного теплового насоса. – Режим доступа: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2363 /. – Дата доступа: 20.10.2024.

3. Описание высокотемпературных тепловых насосов [Электронный ресурс] / Описание высокотемпературных тепловых насосов. – Режим доступа: https://uztn.ru/description-hightemptn /. – Дата доступа: 20.10.2024.

УДК 629.113

ПРИМЕНЕНИЕ СЖИЖЕННОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА (СНГ) НА СОВРЕМЕННЫХ АВТОМОБИЛЯХ С БЕНЗИНОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

THE USE OF LIQUEFIED PETROLEUM GAS (LPG) IN MODERN CARS WITH GASOLINE ENGINES

А.А. Герасимович
Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Gerasimovich
Supervisor – V. Kravchenko, Candidate of Economic Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Как моторное топливо, сжиженный газ обладает важными преимуществами при использовании в автомобильных двигателях. Использование данного топлива намного экономичнее в сравнении с бензином.*
Abstract: *As a motor fuel, liquefied gas has important advantages when used in automobile engines. The use of this fuel is much more economical in comparison with gasoline.*
Ключевые слова: *СУГ, сжиженный газ, бензин, бензиновый двигатель, пропан, бутан.*
Keywords: *LPG, liquefied gas, benzine, gasoline engine, propane, butane.*

Введение

В процессе переработки нефти, можно извлечь сочетание газов пропана и бутана, их применяют в качестве горючего для бензиновых двигателей и для обогрева жилых помещений и в быту.

Сжиженный нефтяной газ (СНГ) – это углеводороды, существующие в форме газа в нефтяном слое и при нормальных условиях, пребывают в газообразном состоянии. Чаще всего данное топливо используют для получение энергии в двигателях внутреннего сгорания, используя сочетание алканов.

Основная часть

Бензин отличается от СНГ (соединение пропан плюс бутан) углеродным числом. В бензине оно равно 8, в пропане равное 3, а у бутана эквивалентно 4. При росте температуры плотность жидкой фазы уменьшается. Данный нефтяной газ по весу превосходит воздух. Из преимуществ то, что в отличие от бензина, у которого точка кипения выше, чем нормальные условия, данный газ закипает при меньшей температуре. Получим, что бензин храниться жидким при нормальном давлении.

А СНГ находится в баллоне при давлении, численно равном давлению его насыщенных паров. В результате получим, что сжиженный газ менее взрывоопасен. Это даёт возможность поднять степень сжатия двигателя, что поспособствует увеличению экономии энергоносителя. При проведении теоретических расчётов отношения массы сгорания 1 кг топлива даёт понять, сколь понадобится воздуха для сгорания 1 кг газа. У СНГ этот параметр выше,

чем у бензина. Также имеет большую теплоту сгорания и легкую транспортировку. Газ используемый в качестве топлива для автомобильного транспорта обладает высокими экономическими и санитарно-гигиеническими показателями.

Во время падения температур окружающей среды, к примеру зимой, в СНГ должно быть увеличено содержание пропана, так как он повышает испаряемость смеси. Потому что у пропана и бутана разные температуры закипания

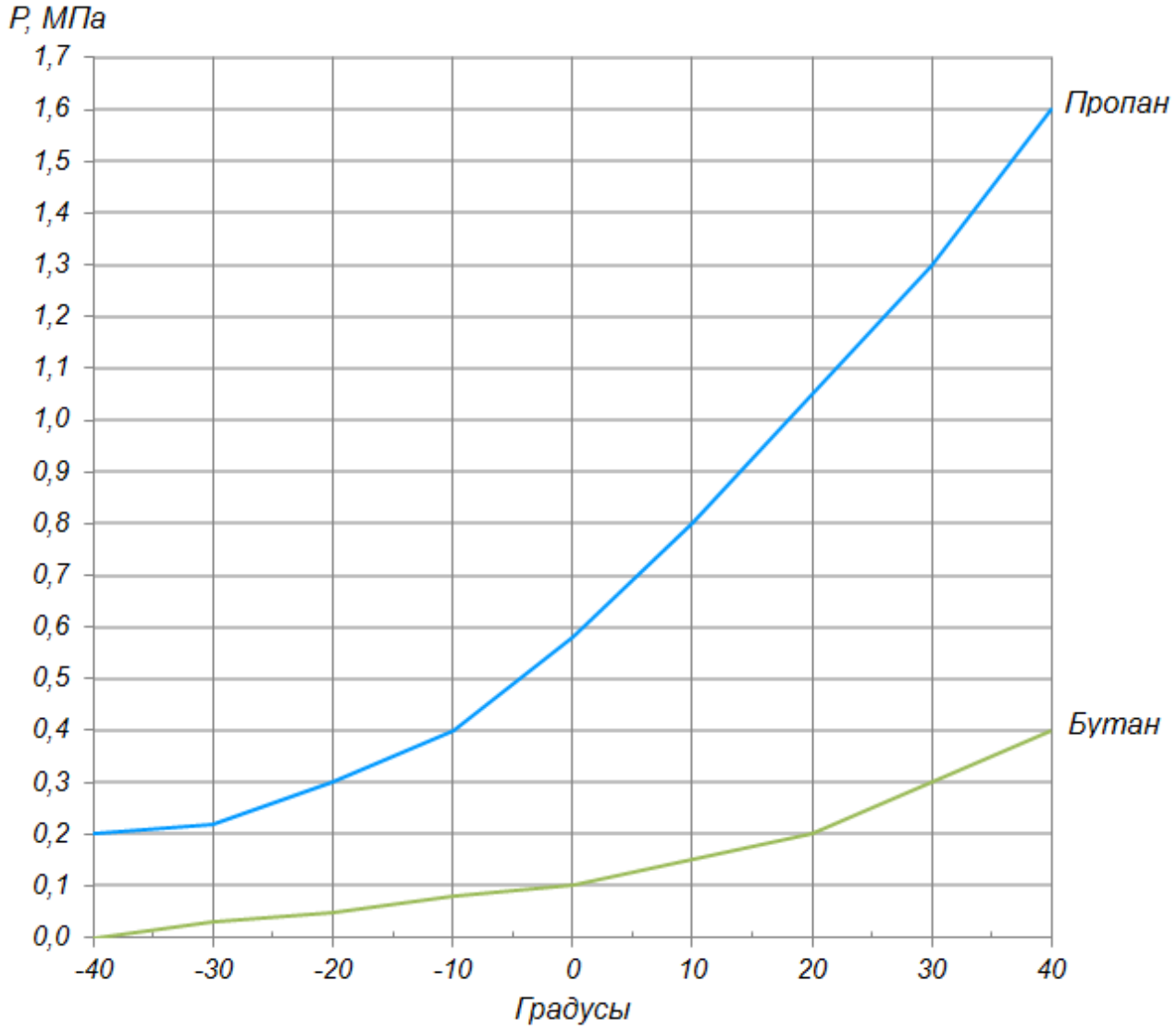


Рисунок 1 – График отношения давления к температуре СНГ [3]

СНГ сгорает практически до конца, поэтому после его потребления доля выбросов токсичных веществ минимальна, что является положительной чертой для густонаселенных городов и экологии. Благодаря этому не появляется нагар на поршнях, камерах сгорания.



Рисунок 2 – Транспортировка газа [2]

Во время потребления сжиженного горючего не происходит смыва масла с поршней и цилиндров, что в результате дает более длительный срок службы. Также получим низкий рост степени сжатия, который не вредит двигателю. СНГ полностью сгорает, то есть вредные выбросы минимальны, также в отличие от бензина и дизеля не имеет копоти при сжигании. Внутри моторов не появляется абразивный нагар и не наблюдается конденсация пара, благодаря этому остается плёнка масла на рабочие стенки, что дает возможности увеличение срока службы. К тому же растёт КПД использования машин и мощность, уменьшается удельный расход горючего.

Заключение

За счёт всего вышеперечисленного можно прийти к выводу, что СНГ имеет множество превосходств над дизельным топливом и бензином в применении на современных автомобилях с бензиновыми двигателями. Сжиженный газ выступает продуктом высокого качества в результате переработки нефти и её попутного газа. Во время работы на сжиженных нефтяных газах бензиновые двигатели на современных автомобилях показывают высокие экономические, технические, гигиенические и санитарные параметры. Поэтому приобретение сжиженного нефтяного газа на современных автомобилях с бензиновыми двигателями в сравнении с бензиновым и дизельным топливом наиболее выгодно скажется на окружающей среде и экономике.

Литература

1. Сжиженные нефтяные газы [Электронный ресурс] / Сжиженные нефтяные газы. – Режим доступа: https://www.magnumoil.ru/blog/stati/szhizhennyie-neftyanyie-gazy /. – Дата доступа: 16.10.2024.

2. Как доставить сжиженный газ до потребителя: способы транспортировки [Электронный ресурс] / Как доставить сжиженный газ до потребителя: способы транспортировки. – Режим доступа: https://dzen.ru/a/Yv_zvtgQsAqak65V /. – Дата доступа: 16.10.2024.

3. Собрат бутана и пропана: Газ из того же ряда, что и бутан, пропан, 4 (четыре) буквы [Электронный ресурс] / Собрат бутана и пропана: Газ из того же ряда, что и бутан, пропан, 4 (четыре) буквы. – Режим доступа: https://90zavod.ru/raznoe/sobrat-butana-i-propana-gaz-iz-togo-zhe-ryada-chto-i-butan-propan-4-chetyre-bukvy.html /. – Дата доступа: 16.10.2024.

УДК 338.984

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ НУЖД ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ
APPLICATION OF HEAT PUMPS FOR HEAT SUPPLY NEEDS

В.Р. Бежелев, В.А. Желенков
Научный руководитель – Л.А. Тарасевич, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
V. Bezhelev, V. Zhelenkov
Supervisor – L. Tarasevich, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье рассмотрим принцип работы теплового насоса и подробно опишем преимущества и недостатки этих насосов.*
Abstract: *In this article we will consider the operating principle of a heat pump and describe in detail the advantages and disadvantages of these pumps.*
Ключевые слова: *насос, тепло, эффективность, вода, энергия.*
Keywords: *pump, warm, efficiency, water, energy.*

Введение

На сегодняшний день основным источником получения тепла и электроэнергии являются тепловые электрические станции, которые занимают большую часть всей выработки электроэнергии в мире. Основным топливом которых является угль, природный газ или мазут. КПД станции не очень высокий из-за больший потерь теплоты. Самые большие потери тепла происходят в конденсаторе около 38 %. Поэтому очень важно сохранить как можно больше тепла. Для этого на станции установлено вспомогательное оборудование, в частности тепловые насосы [1].

Основная часть

В общем, тепловые насосы – это устройства, сообщающие теплоту от менее нагретого тела к более нагретому, которые применяют принцип охлаждения. На самих электростанциях насосы данного типа могут существенно повысить общую эффективность, используя такие процессы как рекуперация отходящего тепла, применяется в роли отопления или охлаждения. Производительность тепловых насосов определяется коэффициентом производительности (COP). Данный коэффициент демонстрирует сколько тепла может генерировать на единицу расходуемой электроэнергии. COP 3 генерирует 3 кВт·ч.

Ниже рассмотрим основные элементы теплового насоса (рис. 1):

- Основополагающая составляющая насоса является испаритель, который черпает тепло из внешней среды: из отборов пара на станции или попросту горячей воды. Процесс взимания теплоты возможен даже при низких температурах, что делает его многофункциональным. Он преобразует хладагент из жидкой фазы в газообразную, при процессе поглощения тепла. Затем хладагент, находящийся в газообразной фазе, направляется в компрессор [2];
- Компрессор. Компрессор является ключевым элементом всей системы.

После поступления в него газообразного хладагента начинается его сжатие, при котором растет значение давления и температуры. Данный процесс способствует сообщению теплоты конденсатору. Также происходит постоянная циркуляция движения хладагента для поддержания нормальной работы всей системы. За счет процесса сжатия выделяется дополнительная энергия для передачи ее другому телу;

– Конденсатор. Суть конденсатора состоит в конденсации хладагента: преобразование его из горячей газообразной фазы в жидкую и дальнейшая передача тепла для отопительной системы или горячего водоснабжения. Конденсатор – это заключительный элемент всей системы насоса.

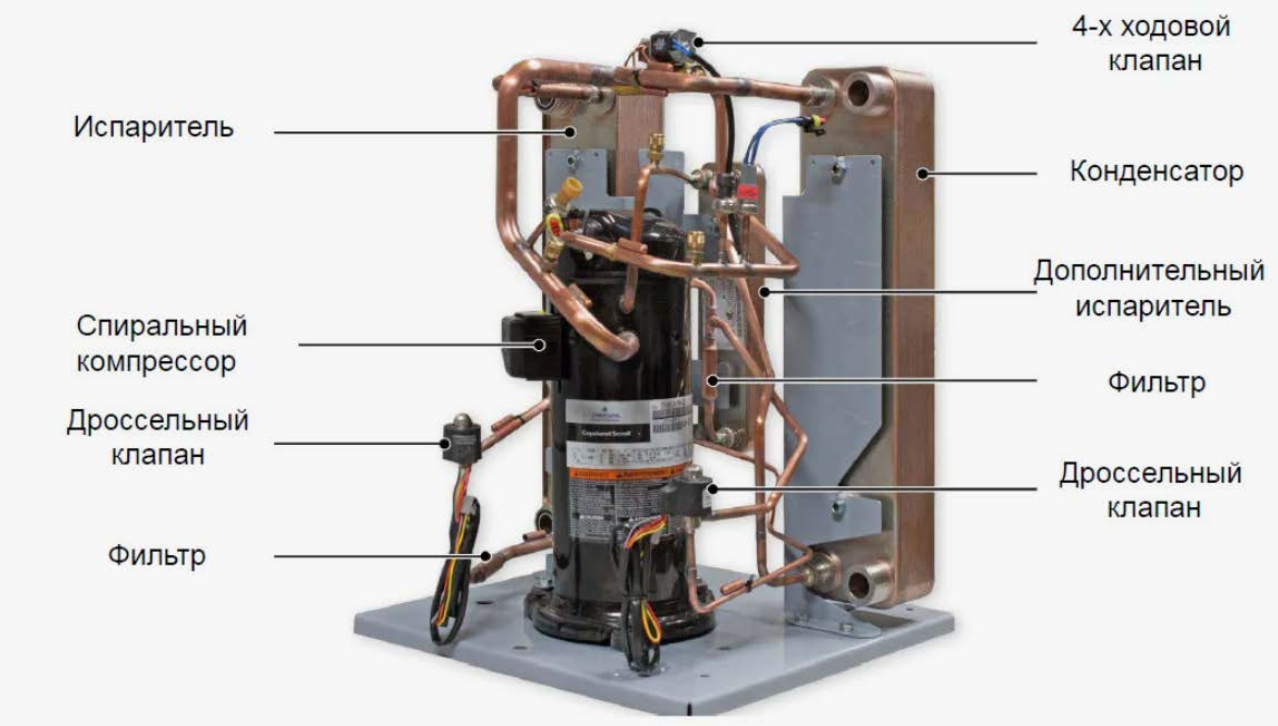


Рисунок 1 – Схема теплового насоса [2]

По принципу выбора источника отбора теплоты различают следующие виды тепловых насосов:

– Воздушные тепловые насосы (рис. 2). Воздушные тепловые насосы имеют низкий коэффициент COP, поэтому эффективность получения тепла из окружающей среды уменьшается из-за низких температурных условий. Главным преимуществом такого насоса это наилучшая энергоэффективность, то есть выработка тепла много больше, чем затраченная электроэнергия на ее получение. Эти насосы минимизируют выбросы углекислого газа в атмосферу, за счет использования возобновляемых источников энергии. Но при достаточно низких температурах полезность насоса уменьшается, что требует дополнительного источника тепла [3].

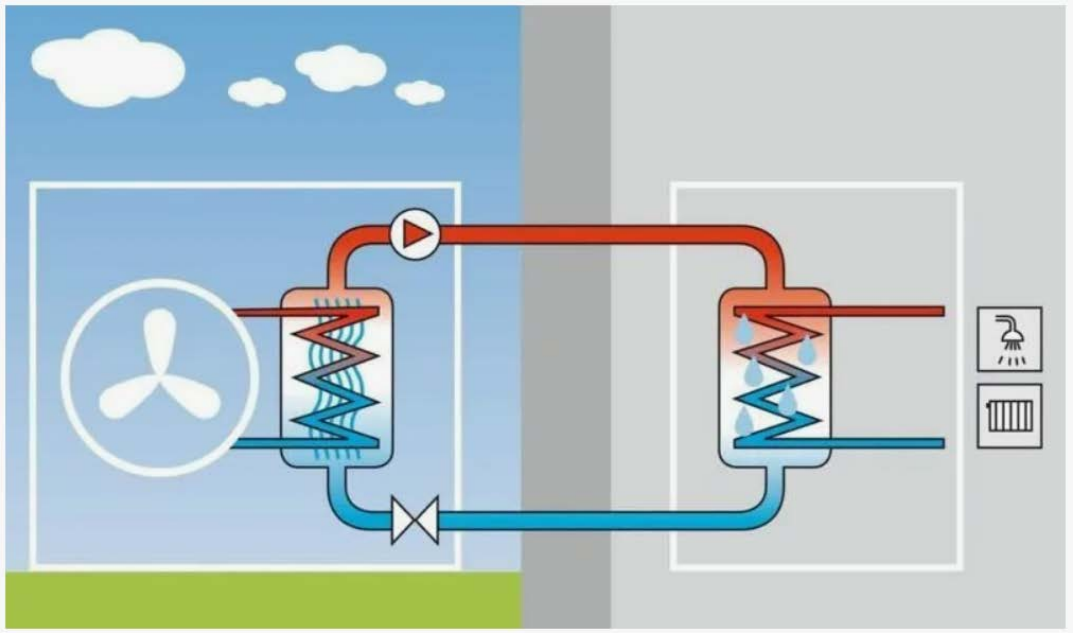


Рисунок 2 – Схема воздушного теплового насоса [3]

– Геотермальные тепловые насосы (ГТН). Как видно из самого названия, насосы данного типа используют тепло из недр земли для горячего водоснабжения или охлаждения зданий, благодаря постоянству значений температур нижних слоев земли (рис. 3).

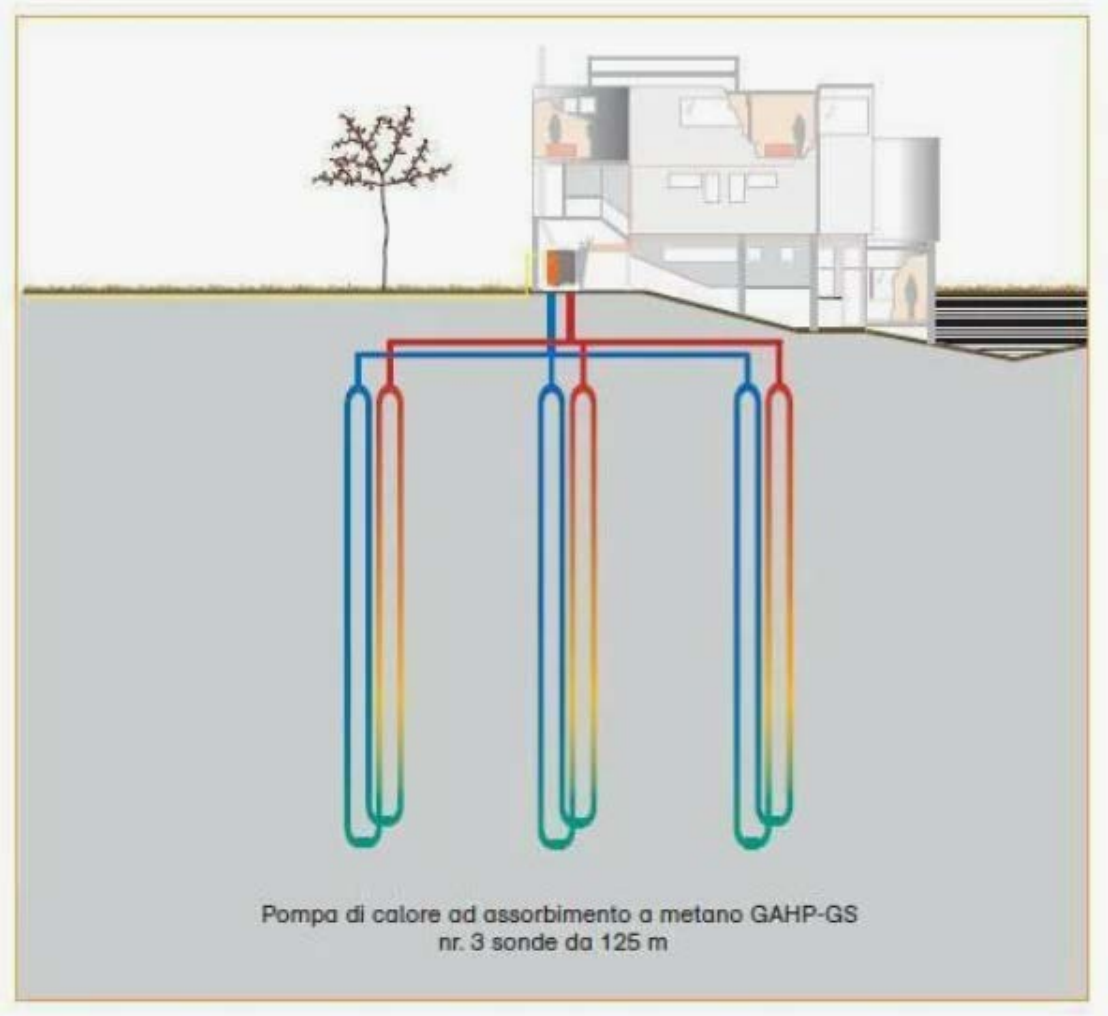


Рисунок 3 – Схема геотермального теплового насоса [3]

Принцип работы схож с воздушными насосами. Насос данного типа поглощает тепло из недр через специальные трубки, которые находятся в земле. В трубных системах обычно используется вода, которая нагревается и подается в сам насос. Далее вода, уже в насосе, направляется в компрессор для повышения температуры. После чего нагретое рабочее тело идет на систему отоплений. Насос экологичен из-за использования возобновляемого источника: геотермальная энергия. Средний срок службы насоса составляет 25 и более лет. Но не смотря на все эти вышеперечисленные хорошие аспекты ГТН, большие начальные инвестиции, немалый периметр участка для установки этой системы, и самое главное это наличие геотермальных источников могут отменить установку данного насоса.

– Гидротермальный тепловой насос (рис. 4). Данная установка имеет способность использовать тепло, находящиеся в воде и применяется в основном систем отопления или охлаждения. Рабочим телом является поверхностные воды рек, озер и т.д. Насос выкачивает воду из поверхностных источников и пропускает через теплообменник, где происходит передача теплоты хладагенту. После чего хладагент сжимается в компрессоре с дополнительным увеличением температуры. Затем сжатый хладагент отдает накопленное тепло системе отопления. Гидротермальный насос затрачивает малое количество энергии при достаточно большой выработке тепла. Однако этот насос находится в большой зависимости от расположения ближайших водных источников.

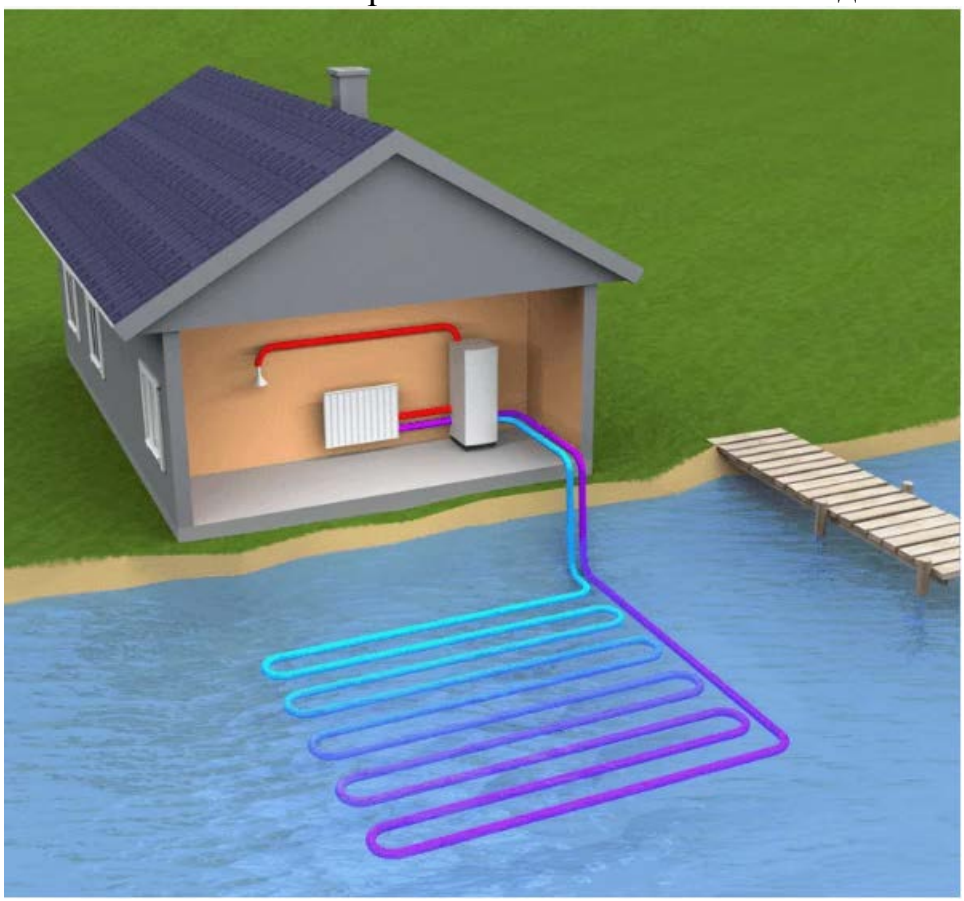


Рисунок 4 – Схема гидротермального теплового насоса [3]

На сегодняшний день различают две классификации насосов по принципу действия:

- Парокомпрессионный тепловой насос (ПКТН). Эта установка, которая с помощью парокомпрессионного цикла способна передавать тепло от одного тела к другому, то есть от менее нагретого источника к более нагретому (рис. 5). В нем происходит процесс систематического расширения и сжатия рабочего тела. Конструкция ПКТН в основном такая же, как и в предыдущих типах насосов, но с одним отличием: наличие дросселя. Дроссель необходим для снижения давления хладагента перед входом его в испаритель [4].

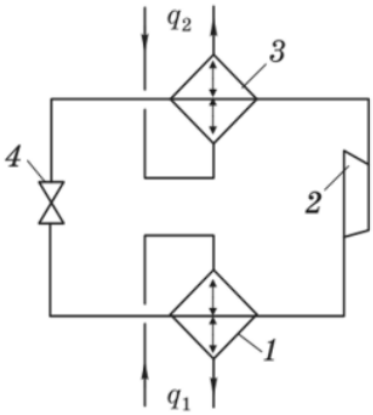


Рисунок 5 – Схема установки ПКТН [4]

- Абсорбционный тепловой насос (АБТН) – установки, применяющие абсорбционный цикл, который обеспечивает передачу теплоты (рис. 6). Насосы данного типа обладают меньшей энергетической эффективностью по сравнению с парокомпрессионными установками, так как ПКТН используют более надежную и дорогую механическую энергию, а вторе наоборот примитивную энергию отборов турбоустановок, вторичной теплоты уходящих газов котлов.

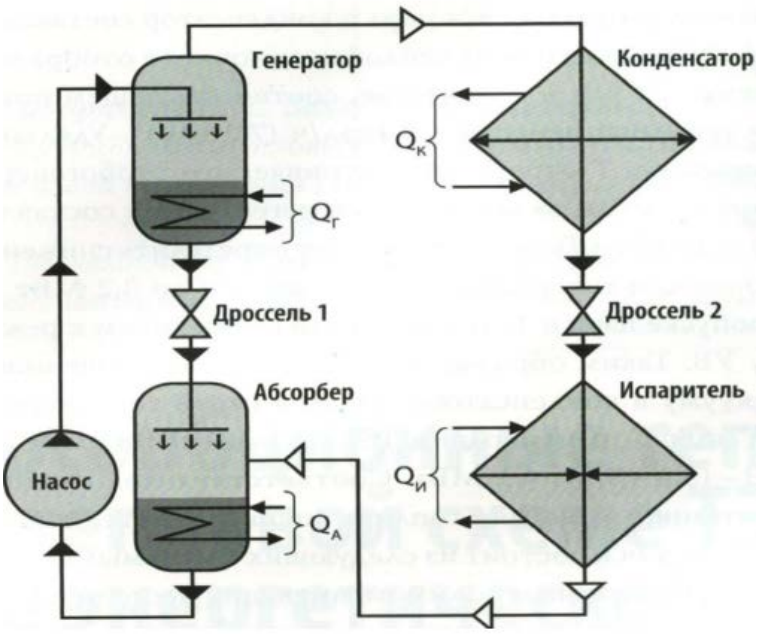


Рисунок 6 – Схема установки АБТН [4]

Заключение

В общем и целом, тепловые насосы являются важной составляющей всех систем теплоснабжения. Отличительная черта этих насосов – высокая эффективность выработки тепла с минимальной затраченной энергией и экологически чистые. Для разных природных условий применяются соответствующие виды насосов, что делает их многофункциональными.

Литература

1. Применение тепловых насосов в схемах тепловых электростанций [Электронный ресурс] / Применение тепловых насосов в схемах тепловых электростанций. – Режим доступа: https://moluch.ru/archive/391/86211 /. – Дата доступа: 22.10.2024.

2. Тепловой насос как отопительная система [Электронный ресурс] / Тепловой насос как отопительная система. – Режим доступа: https://geoteplo.by/o_tehnologii/teplovoy-nasos-v-otoplenii-doma /. – Дата доступа: 22.10.2024.

3. Тепловой насос. Устройство, виды, принцип действия теплового насоса [Электронный ресурс] / Тепловой насос. Устройство, виды, принцип действия теплового насоса. – Режим доступа: https://eti.su/articles/over/over_1540.html /. – Дата доступа: 22.10.2024.

4. Применение тепловых насосов на ТЭЦ [Электронный ресурс] / Применение тепловых насосов на ТЭЦ. – Режим доступа: https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/29383/Primenenie_teplovyh_nasosov_na_TEHC.pdf?sequence=1&isAllowed=y /. – Дата доступа: 22.10.2024.

УДК 628.196

ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА ДЛЯ ОЧИСТКИ ОРОСИТЕЛЕЙ ИСПАРИТЕЛЬНОЙ БАШЕННОЙ ГРАДИРНИ
APPLICATION OF ULTRASOUND FOR CLEANING OF EVAPORATIVE TOWER COOLING TOWER SPRINKLERS

А.Н. Кривелёва
Научный руководитель – И.А. Некало, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Krivelyova
Supervisor – I. Nekalo, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В статье рассматривается возможность очистки оросителей башенной градирни от карбонатных отложений с помощью ультразвуковых ванн.*
Abstract: *The article considers the possibility of cleaning tower cooling tower sprinklers from carbonate deposits using ultrasonic baths.*
Ключевые слова: *ультразвуковые ванны, оросители, башенные градирни, карбонатные отложения.*
Keywords: *ultrasonic baths, sprinklers, cooling towers, carbonate deposits.*

Введение

Градирни на атомных и тепловых электростанциях используются как устройства для охлаждения большого объема технической воды посредством орошения нагретой воды в конденсаторах и последующим ее пассивным охлаждением за счет окружающей среды (рис. 1).



Рисунок 1 – Фото градирни [1]

Существует большое количество разновидностей градирней. Для тепловых и атомных электрических станций нашли применение градирни башенного типа, верхняя часть которых (диффузор) располагается на высоте не менее 55 м [2].

Однако опыт эксплуатации башенных градирен показывает, что в летний период времени температура охлаждающей воды превышает проектные величины, из-за чего эффективность подобных устройств для охлаждения технической воды снижается [3]. Основным фактором, влияющим на эффективность башенных градирен, является появление карбонатных отложений на оросителях, каплеуловителях и системах водораспределения.

Основная часть

Башенные градирни работаю на естественной тяге, которая создается благодаря разнице давлений по высоте и представляют собой металлическую или железобетонную конструкцию, которая выглядит, как усеченный конус. Конструкция башенной градирни изображена на рисунке 2. Испарительная башенная градирня состоит из основных частей: водораспределительной системы, вытяжной башни, оросителей, водосборного бассейна и каплеуловителей (влагоуловителей).

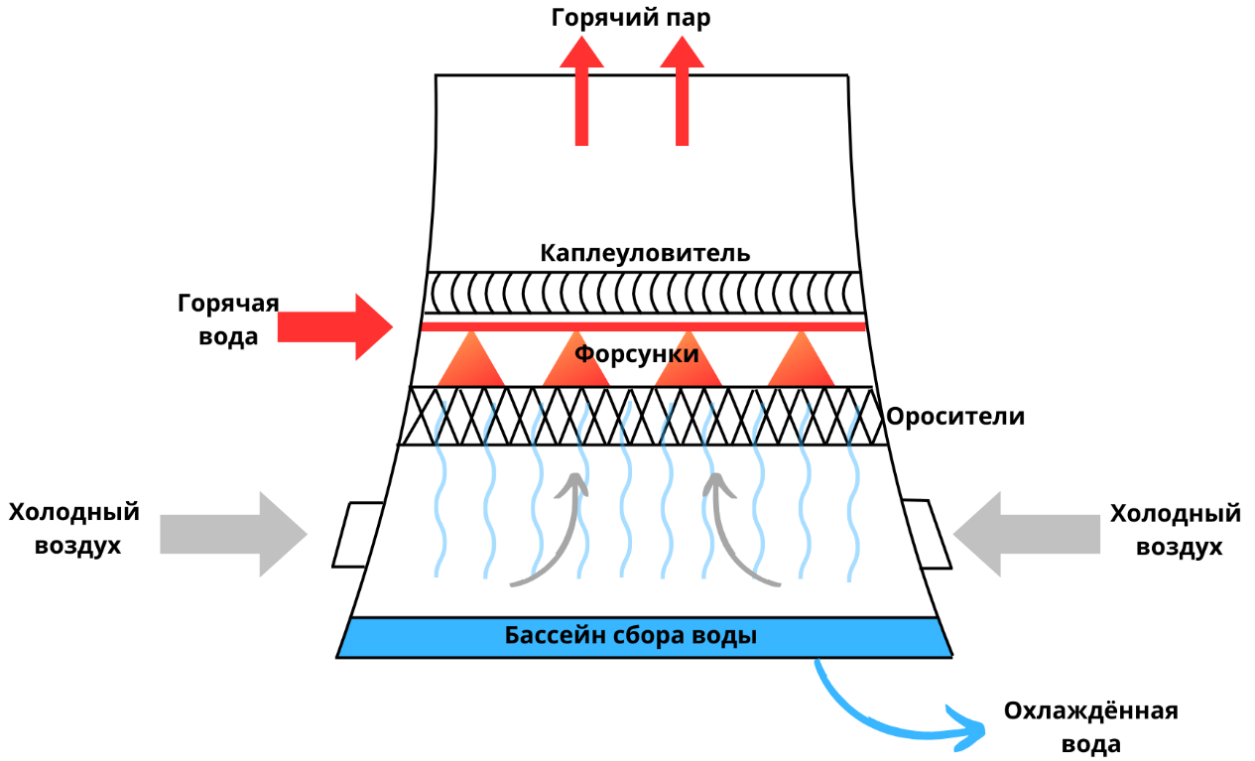


Рисунок 2 – Конструкция башенной градирни

Вода, поступающая из конденсатора паровой турбины, направляется на водоразбрызгивающие форсунки для равномерного распределения и создания водяного тумана, который эффективно охлаждается при контакте с воздухом за счет испарения. Часть охлаждающей воды теряется за счет испарения (1-1,5 %) и капельного уноса (0,1 % с каплеуловителями и 0,5 % – без каплеуловителей) [2]. Так как испаряемая влага – это вода без примесей, то общее солесодержание оборотной воды увеличивается. Для регулирования солесодержания

осуществляется продувка всей системы, во избежания отложений на внутренней поверхности трубок конденсатора.

Оросители – устройство, представляющее собой единый блок, который собран из сетчатых элементов, предназначенных для распределения нагретой воды от конденсаторов паровой турбины на капли, струи или пленки, стекающие вниз навстречу восходящему потоку воздуха, который поступает через боковые отверстия внизу градирни. Оросители бывают: капельные, пленочные и капельно-пленочные (рис. 3).

Пленочный и капельно-пленочный оросители больше подвержены зарастанию в процессе работы, хотя имеют большую охлаждающую способность чем капельный.

При использовании оборотной системы охлаждения с градирнями неизбежно засорение оросителей, что приводит к снижению эффективности самой градирни. Для устранения налета проводится техническое обслуживания как в период работы энергоблока, так и при его останове. Налет на поверхности оросителей состоит из солей карбонатной жесткости, продуктов коррозии, а также водорослей и бактерий (рисунок 4). Данные отложения могу повысить температуру охлаждающей воды, что может привести к снижению эффективности охлаждения в конденсаторе и снижению вырабатываемой электрической мощности паровой турбины.

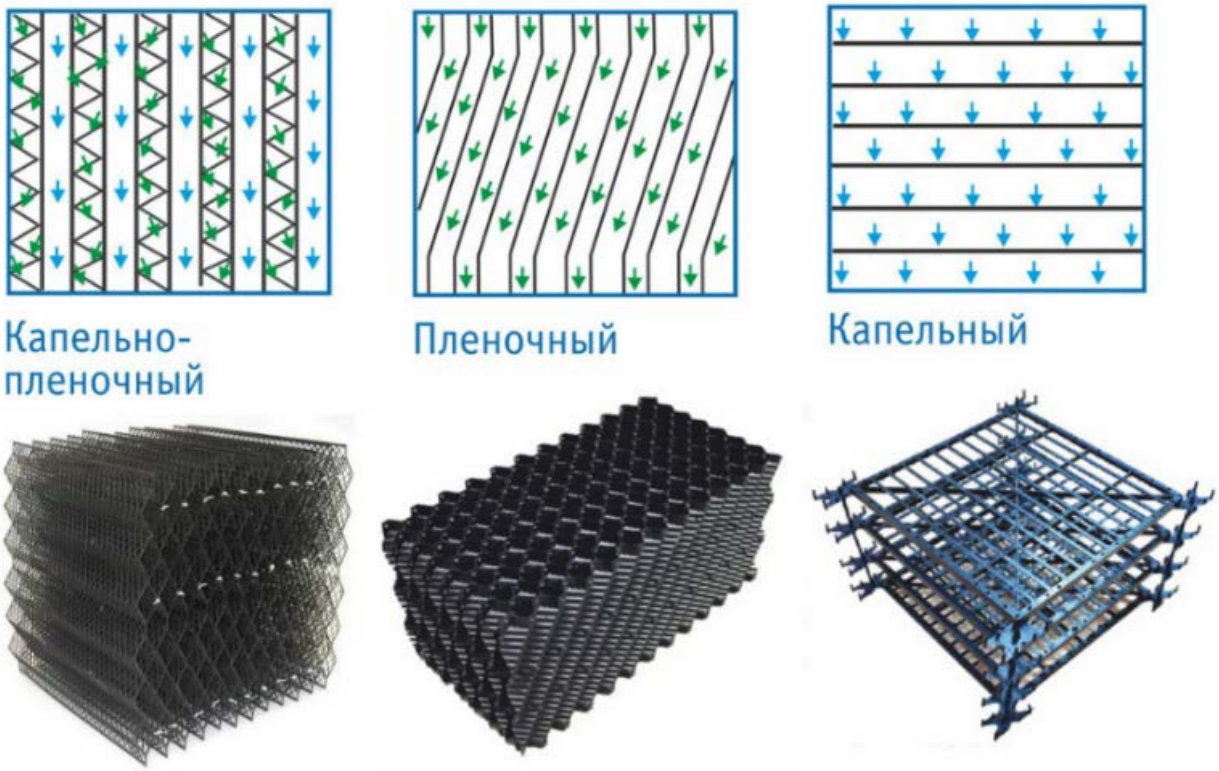


Рисунок 3 – Типы оросителей [1]

При использовании оборотных систем охлаждающей воды с помощью удаления углекислоты, концентрирования солей получается перенасыщение воды по карбонату кальция, из-за чего происходит образование на поверхности оборудования отложений.

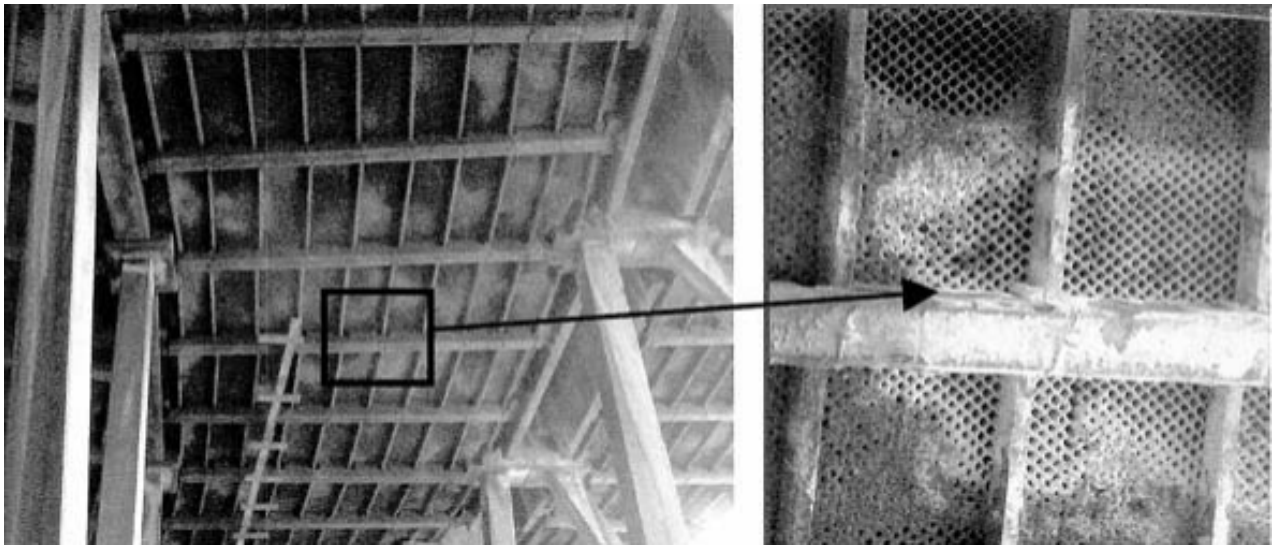


Рисунок 4 – Состояние оросителей периферийных секторов градирни на НВАЭС с блоками ВВЭР-1200 [3]

Применяются следующие варианты очистки технической воды:

- фильтрация (уменьшает уровень грубодисперсных примесей);
- реагентная обработка (предотвращает накопление нерастворимых металлов на поверхностях теплообмена и роста микроорганизмов);
- умягчение воды (позволяет заменить катионы кальция и магния на натрий);
- электрохимические системы (предотвращает образования осадка в системе);
- опреснение (снижение общее солесодержания воды).

При соблюдении всех требований по очистке технической воды, оросители градирни все равно будут обрастать налетом. Поэтому во время остановки энергоблока оросители могут быть извлечены для их замены или очистки. Могут применяться следующие виды работы по очистке оросителей:

- гидродинамическая очистка высоким и сверхвысоким давление;
- отмывка химическим способом или погружение в кислотную среду для размягчения и последующего удаления налета;
- извлечение оросителей для их механической очистки.

Механические и гидродинамическое методы очистки могут повредить оросители, так как они являются довольно хрупкими, также во время механической очистки затрачивается огромный человеческий ресурс. Во время химической отмывки необходимо соблюдать осторожность при работе с токсичными и опасными для человека веществами.

При использование вышеперечисленных видов работ используется большое количество воды.

С недавнего времени нашел применение еще один вид очистки оросителей – с помощью ультразвуковых ванн (рис. 5). Такой метод позволяет использовать минимальное количество человеческих ресурсов, а также минимальные затраты на электроэнергию и реагенты.

Суть метода очистки заключается в извлечении блоков оросителей и погружении их в ультразвуковую ванну с раствором кислот для последующей

обработки. Под действием ультразвуковых колебаний образуются кавитационные пузыри, которые взрываются во время фазы высокого давления, что создает волны давления на загрязнения.

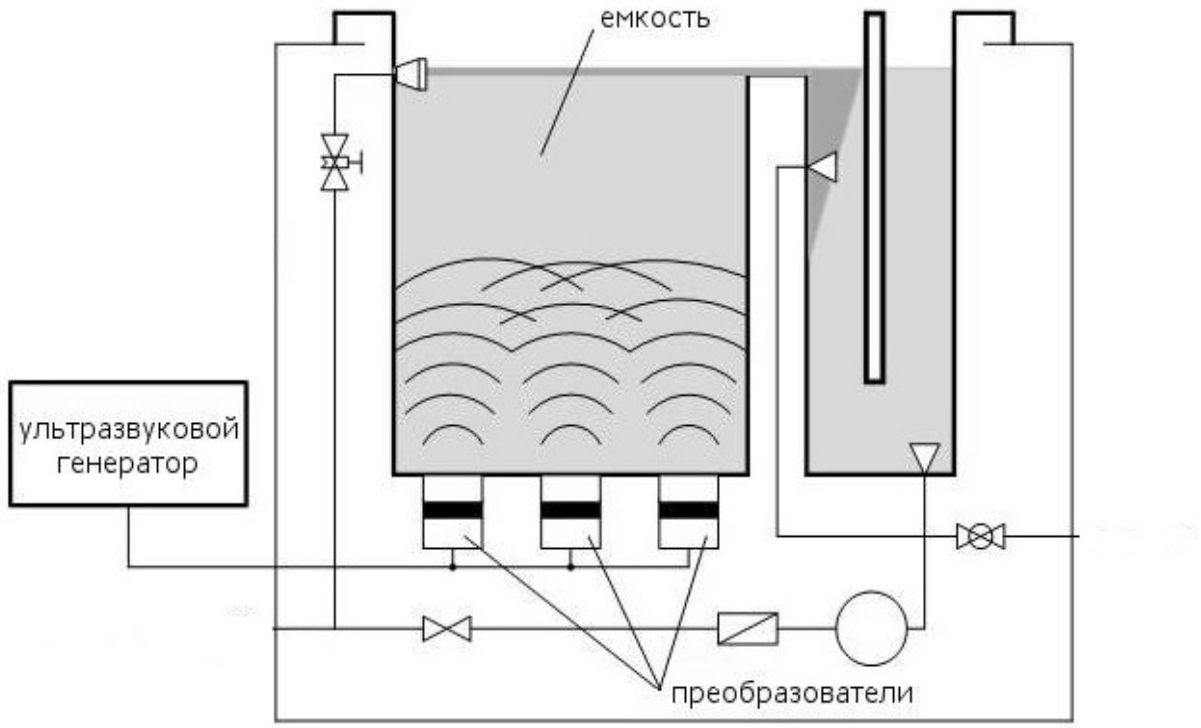


Рисунок 5 – Устройство ультразвуковой ванны [4]

Заключение

Таким образом, применение ультразвуковой ванны для очистки оросителей башенной градирни является эффективным и щадящим методом с минимальными затратами человеческих ресурсов, реагентов, воды и электроэнергии.

Литература

1. НПО Агростройсервис. Очистные сооружения и градирни [Электронный ресурс] / НПО Агростройсервис. Очистные сооружения и градирни. – Режим доступа: https://acs-nnov.ru /. – Дата доступа: 23.10.2024.

2. Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС и АЭС: учебно-методическое пособие по курсовому и дипломному проектированию для студентов специальностей 1-43 01 04" Тепловые электрические станции" и 1-43 01 08 "Паротурбинные установки атомных электрических станций" / В.А. Чиж [и др.]; Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Тепловые электрические станции". – Минск: БНТУ, 2015. – 105 с. : ил., табл.

3. Поваров, В.П. Опыт эксплуатации и пути повышения эффективности работы системы технического водоснабжения энергоблоков № 1, 2 нововоронежской АЭС-2. / В.П. Поваров, Д.Б. Стацура, Д.Е. Усачев // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2020. – № 2. – С. 5-16.

4. Принцип работы ультразвуковых ванн [Электронный ресурс] / Принцип работы ультразвуковых ванн. – Режим доступа: https://titan-ultrasonic.com.ua /. – Дата доступа: 23.10.2024.

УДК 621.165

ПРИЧИНЫ НАРУШЕНИЯ НОРМАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПАРОВЫХ ТУРБИН
THE REASONS FOR THE DISRUPTION OF THE NORMAL OPERATION OF STEAM TURBINES

В.В. Бакалова, В.Д. Лукьяненко
Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
V. Bakalova, V. Lukyanenko
Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье представлены основные аспекты нормальной эксплуатации турбоустановок. Отдельно рассмотрены элементы защиты и регулирования турбины, причины образования отложений в проточной части установки, а также вибрационное ее состояние. В заключении делается вывод о значимости правильно осуществленного процесса эксплуатации паровых турбин.*

Annotation: *Tthis article presents the main aspects of the normal operation of turbine installations. The elements of protection and regulation of the turbine, the causes of sediment formation in the flow part of the installation, as well as its vibration state are considered separately. In conclusion, the conclusion is made about the importance of a properly implemented steam turbine operation process.*

Ключевые слова: *паровая турбина, система регулирования и защиты, эрозия, вибрация, занос солями, кавитация, отложения, абразивный износ.*

Key words: *steam turbine, steam turbine, control and protection system, erosion, vibration, salt drift, cavitation, deposits, abrasive wear.*

Введение

На сегодняшний день существует ряд способов повысить экономичность и обеспечить надежность паровых турбоустановок. К там способам относятся: постоянное улучшение рабочих процессов агрегатов, организация непрерывного наблюдение и «ухода» за введенной в эксплуатацию турбиной, контроль параметров пара и нагрузки, учет вибрационного состояния оборудования, обеспечение оптимальной эксплуатации элементов системы регулирования и защиты. Немало важно также снижать риск возникновения заносов солями проточной части турбины и эрозии металлических конструкций.

Основная часть

В качестве одной из причин нарушения нормальной эксплуатации паровых турбин можно выделить занос солями их проточной части.

Соли по своим свойствам классифицируют следующим образом:

- Растворимые в воде соли ($Na_2CO_4, Na_2SO_4, NaCl$) характерны для турбин низкого и среднего давления и попадают в проточную ее часть за счет капельного уноса частиц жидкости с поверхности испарения. Следует отметить, что в области влажного пара эти соли не

откладываются [1];

- Плохо растворимые соли. По мере перехода на пар высоких параметров нерастворимые и слаборастворимые в воде соединения становятся актуальнее. Их попадание в турбину обусловлено молекулярным уносом, возникающим при растворении солей в сухом насыщенном паре высокого давления. Соли, растворенные в паре, находятся в равновесном состоянии, однако в процессе расширения в турбине они переходят в перенасыщенное состояние и выпадают из пара в виде твердого кристаллического осадка [1];
- Нерастворимые соли содержат в своем составе медь, железо, кальций, алюминий, кремний.

Соли в турбину попадают из котла вместе с паром из-за некачественной работы сепараторных установок котла, резкого подъема уровня воды, скачков нагрузки, вспенивания воды, а также ухудшения водного режима, что является наиболее частой причиной образования отложений.

Вследствие выпадения из пара твердых осадков в значительной мере изменяется и процесс расширения пара в турбине. Это явление связано с перераспределением теплоперепадов по ее ступеням. Таким образом, в нерасчетном режиме начинают работать не только подвергшиеся воздействию солей, но и чистые ступени (больше всего страдает последняя ступень). Занос солями влечет за собой уменьшение проходного сечения соплового и лопаточного аппарата. Тем самым растет давление на диафрагмы и диски ступеней, увеличивается теплоперепад и повышается риск возникновения утечек через диафрагменные уплотнения. Кроме того возможны утечки через разгрузочные отверстия в дисках и надбандажные уплотнения, а также появление шероховатости стенок каналов, вследствие чего преумножаются профильные потери и, конечно, значительно снижается КПД турбины. В случае интенсивного заноса солями требуется понижать нагрузку для предотвращения нарушения работоспособности диафрагм и упорного подшипника турбины.

Состав выпадающего осадка напрямую зависит от начальных параметров пара. Так с увеличением давления наблюдается переход от образования солей кремния (90 кгс/см^2) к окиси железа (140 кгс/см^2). В паре сверхкритических параметров присутствует большое количество соединений меди. Они как раз-таки и являются продуктом коррозии латунных трубок конденсатора и ПНД. Здесь влияние отложений особенно велико из-за малых размеров сопл и лопаток.

По эксплуатационному опыту отложения 1 кг солей в проточной части ЦВД турбины К-100-900 приводит к снижению абсолютного КПД этого цилиндра на 1 %. В результате расход теплоты турбины увеличивается на 0,5 %, а годовой перерасход условного топлива составляет 1500 т. Для турбины К-300-240 1 % заноса солями проходного сечения ЦВД приводит к годовому перерасходу условного топлива, равному 2450 т [1]. На одной из ГРЭС (турбина К-300-240 ЛМЗ) мощность двух блоков 160 МВт снизилась за 2-3 месяца до 120 МВт. В процессе разборки установки были выявлены отложения толщиной до 2 мм и даже 3 мм. На другой ГРЭС спустя пару месяцев работы мощность двух блоков

200 МВт уменьшилась на 30-40 МВт. Здесь толщина отложений составила 5 мм. На одной из этих турбин уже спустя неделю эксплуатации максимальная мощность упала до 170 МВт [2].

Примеры образования обложений в системе трубопроводов представлены на рисунках 1 и 2.



Рисунок 4 – Отложения в распределительном трубопроводе



Рисунок 5 – Фрагмент отложений в трубопроводах

Занос солями в свою очередь влияет на развитие процесса разрушения и износа материала отдельных компонентов турбоустановки в результате контакта потоков жидкости или газа, называемый эрозией (рисунок 3). Этот процесс свойственен различным типам турбин и имеет ряд причин:

- Кавитация. При снижении давления жидкости ниже её парциального давления начинают появляться пузырьки, которые при схлопывании оказывают неблагоприятный эффект на лопаточный аппарат установки;
- Абразивные частицы. Наличие твердых частиц в рабочей среде (песок и др.) ведет к неизбежному механическому износу;
- Температура и давление. Сверхкритические параметры рабочей среды способствуют увеличению скорости коррозионного процесса и, следовательно, снижению прочности материалов;
- Недостатки при проектировании или производстве агрегата могут выступать причиной неравномерного распределения нагрузок, тем самым увеличивать риск эрозии.



Рисунок 3 – Коррозия задвижки насоса

Развитие эрозионного процесса влечет за собой снижение эффективности работы турбины, значительный годовой перерасход топлива, повышение риска возникновения поломок и аварийных ситуаций, снижение экономичности в силу роста затрат на обслуживание и ремонт оборудования. Таким образом, для предотвращения эрозии необходимо осуществлять регулярные проверки состояния компонентов для выявления проблемы на ранней стадии, а также ответственно подходить к выбору материалов: использовать более устойчивые к эрозии сплавы и покрытия.

Еще одной причиной нарушения работоспособности турбины является снижение надежности ее работы, определяемой вибрационным состоянием установки. Непосредственным источником возникновения вибрации выступает валопровод агрегата. Далее вибрационное состояние подхватывают подшипники и находящиеся в связке с ними корпуса цилиндров и фундаментные плиты. Учет вибрационного состояния турбоустановки ведется с помощью стационарной аппаратуры непрерывного контроля вибрации (согласно ГОСТ).

Вибрация может появляться и соответственно измеряется по следующим направлениям:

- вертикальная вибрация (измеряется в верхней части подшипника);
- горизонтально-осевая вибрация (измеряется на уровне оси вала);
- горизонтально поперечная вибрация измеряется аналогично предыдущей.

Для описания уровня вибрации было введено понятие виброскорости, которая измеряется прибором, регистрируется и выводится на щит управления. Однако важно учитывать, что для определения вибрации турбины недостаточно знать только амплитуду колебаний, в силу ее сложного характера во времени, представляющим синусоидальную зависимость.

Причинами возникновения вибрации также могут быть некачественное изготовление, монтаж и ремонт турбины. Все это ведет к различного рода поломкам оборудования или даже к крупным авариям. Все последствия вибрационного состояния несут накопительный характер и проявляются различным образом (трещины в роторе, дефекты/повреждения уплотнений, клапанов, опорах и передачах, нарушение жесткой связи статора и подшипников, возможно увеличение расцентровки валов). Так, например, под воздействием вибрации вал начинает вращаться в прогнутом состоянии. При чрезмерном его прогибе наблюдается задевание подвижными частями конструкции неподвижных, параллельно сопровождающееся выделением большого количества теплоты. Даже при минимальном касании неизбежен преждевременный износ уплотнений, увеличение зазоров, а, следовательно, и снижение экономичности. При нарушении контакта соединенных между собой поверхностей вала или насадных элементов (диски, втулки, уплотнения) смещается центр масс и, как следствие, наблюдается разбалансировка ротора. В условиях высоких температур посадка насадных элементов постепенно ослабевает, снижается освобождающая частота вращения, в результате чего наблюдается рост вибрации.

Опираясь на эксплуатационный опыт, около 20 % времени необходимых простоев установок связано именно с вибрацией. Однако в процессе своей работы турбина, так или иначе, подвержена вибрации. Исходя из правил эксплуатации, существуют определенные допустимые границы уровня вибрации. Продолжительная эксплуатация турбоагрегатов мощностью 200 МВт и выше разрешается, если вибрация подшипниковых опор не превышает 2,8 мм/с. При ее увеличении до 7,1 мм/с и более эксплуатация установки запрещена. Эксплуатация не разрешена и в том случае, когда в условиях установившегося режима наблюдается резкий скачок виброскорости на 1 мм/с [2].

Предотвращению ряда вышеперечисленных аспектов способствует правильно организованный процесс эксплуатации элементов системы регулирования и защиты турбоустановки, позволяющий повысить экономичность, надежность, безопасность, и немало важно обеспечить бесперебойную работу агрегата и станции в целом. Основной целью системы можно назвать поддержание на заданном уровне параметров энергии (электрической, тепловой), идущей потребителю. Помимо этого, система регулирования предупреждает возникновение аварийных ситуаций.

Работу системы можно описать с помощью статической (рис. 4) и динамической характеристик. Статическая характеристика описывает регулирование в установившемся режиме. Здесь особо выражена зависимость частоты вращения от нагрузки турбоустановки, медленно изменяющуюся и представляющую собой плавную кривую/прямую, с отсутствием перегибов.

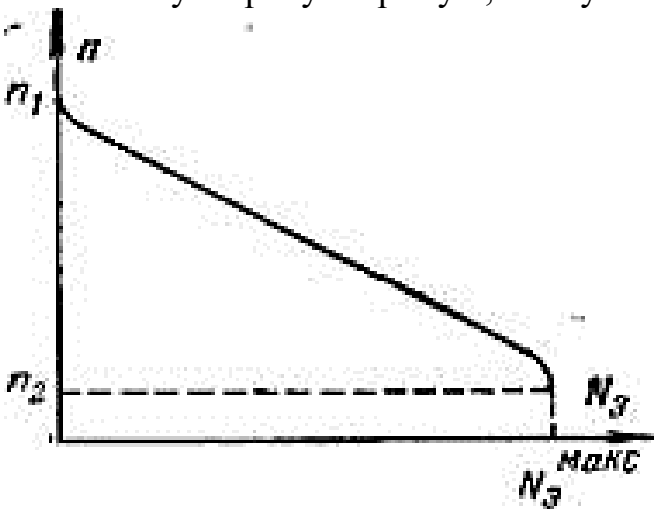


Рисунок 4 – Статическая характеристика системы регулирования

Динамическая характеристика (рис. 5) показывает работу системы в переходном процессе и представляет собой график изменения частоты вращения турбины с момента полного сброса нагрузки.

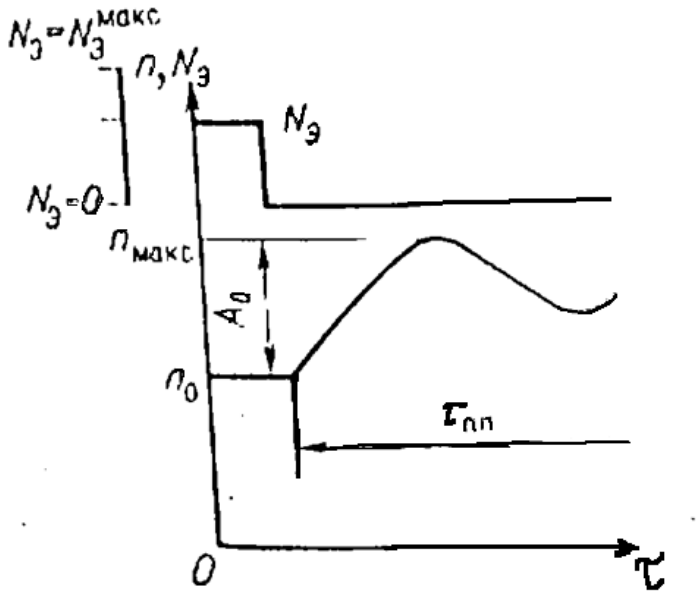


Рисунок 5 – Динамическая характеристика системы регулирования

Неполадки в работе системы обусловлены несовершенством конструкции отдельных ее элементов, неправильной наладкой (могут быть устранены в ходе ремонтно-наладочных работ), а также преждевременным износом конструкций или увеличением зазоров (устраняются в процессе капремонта).

Для нормальной работы турбины необходима постоянная или постепенно изменяющаяся нагрузка, которая зависит от условий рабочей и окружающей среды и обеспечивает экономичную и бесперебойную эксплуатацию оборудования. Так, при правильной эксплуатации турбины термические и механические напряжения в конструкции находятся в допустимых пределах. При этом турбина работает в автоматическом режиме, параллельно регулируя параметры тепловой и электрической энергии. Рабочий персонал в свою очередь должен обеспечивать постоянный контроль за основными параметрами турбоустановки (давление и температура свежего пара, промперегрева, вибрация, показатели масла, расход охлаждающей воды и т.д.), системой регулирования и защиты, механизмами и отдельными узлами, запись показаний приборов в суточную ведомость, ведение журналов учета, соблюдая при этом правила техники безопасности. При необходимости рабочие могут настраивать вспомогательное оборудование и параметры отборного пара, а также переключать и изменять нагрузку. Для достижения максимальной экономичности важно поддерживать заданные параметры пара и питательной воды, а также минимальный ее недогрев в подогревателях, оптимальный вакуум и минимальное переохлаждение конденсата в конденсаторе. Также следует обеспечивать оптимальный режим работы вспомогательного оборудования (деаэратор, испаритель, бойлерная установка и т.д.), минимизировать потери тепла и конденсата, равномерно распределять нагрузку между работающими турбинами [3].

Заключение

Таким образом, постоянное улучшение рабочих процессов турбоустановок, непрерывное наблюдение и «уход» за введенной в эксплуатацию турбиной,

обеспечение регулярного контроля за параметрами рабочего тела и нагрузкой, учет вибрации и ее последствий, предотвращение заносов солями проточной части турбины и эрозии металлических конструкций, другими словами, обеспечение оптимальная эксплуатации турбоустановки позволяют не только поддерживать/повышать эффективность работы оборудования, но и предотвращать различного рода поломки и аварийные ситуации.

Литература

1. Эксплуатация паротурбинных установок [Электронный ресурс] / Эксплуатация паротурбинных установок. – Режим доступа: https://dl.libcats.org/genesis/162000/e0974750830d8f8faa28e63868f14bfa/_as/[B.E. Kapelovich]_YEkspluataciya_paroturbinnueh_ust(libcats.org).pdf /. – Дата доступа: 28.09.2024.

2. Стационарные паровые турбины [Электронный ресурс] / Стационарные паровые турбины. – Режим доступа: https://djvu.online/file/04ogQ3BKSu9xz /. – Дата доступа: 29.09.2024.

3. Энергобезопасность и энергосбережение. Курс на энергоэффективность [Электронный ресурс] / Энергобезопасность и энергосбережение. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/kurs-na-energoeffektivnost/viewer /. – Дата доступа: 20.09.2024.

УДК 621.039.74

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТА ТРАНСПОРТНО-УПОКОВОЧНОГО КОНТЕЙНЕРА ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ОЯТ
DEVELOPMENT OF THE CONCEPT OF A TRANSPORT AND PACKAGING CONTAINER FOR THE TRANSPORTATION OF SPENT NUCLEAR FUEL

А.М. Стапура
Научный руководитель – И.А. Евсеенко, ассистент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Stapura
Supervisor – I. Yevseyenko, Assistant
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Одна из проблем охраны окружающей среды – перевозка отработавшего ядерного топлива (ОЯТ). Непосредственно для транспортировки ОЯТ было создано множество моделей и видов транспортно-упаковочных контейнеров (ТУК) с самыми разными техническими решениями, материалами и габаритами. В данной работе были главным образом выделены перспективные материалы для изготовления составляющих корпуса ТУК, а также проведены приблизительные расчёты габаритов транспортного контейнера для дальнейшей разработки ТУК для перевозки ОЯТ.*

Abstract: *One of the problems of environmental protection is the transportation of spent nuclear fuel. Many models and types of transport and packaging kits with a variety of technical solutions, materials and dimensions have been created directly for the transportation of spent nuclear fuel. In this work, promising materials were mainly identified for the manufacture of components of the body of a transport and packaging container, as well as approximate calculations of the dimensions of a transport container for the further development of a transport and packaging container for the transportation of spent nuclear fuel.*

Ключевые слова: *ОЯТ, транспортировка, защита, высокопрочный чугун.*
Keywords: *SNF, transportation, protection, high-strength cast iron.*

Введение

После завершения топливной кампании ОЯТ отправляется на захоронение или переработку [1]. Для перевозки ОЯТ были разработаны специализированные транспортные контейнеры. Их главной задачей является защита окружающей среды от остаточного ионизирующего излучения и тепловыделения ОЯТ. А главной задачей при разработке ТУК является не только обеспечение безопасности окружающей среды, но и максимальная экономически эффективная перевозка, то есть минимальные затраты на производство и эксплуатацию ТУК, что в первую очередь зависит от технологического способа изготовления ТУК и используемых для этого материалов.

Основная часть

Транспортный упаковочный комплект – это компоненты и устройства, которые необходимы для безопасной транспортировки ОЯТ. В состав ТУК могут входить следующие элементы:

- контейнер для размещения пеналов, чехлов, отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС) [2];
- система охлаждения;
- защитные приспособления от механических повреждений(демпферы).

Корпус контейнера является главной частью ТУК [3]. Существует несколько способов изготовления механической защиты:

- Изготовление корпуса из сварочно-кованых заготовок. Технология предусматривает отливку 4-х слитков и последующую их ковку и сваркой между собой на последнем этапе. Из недостатков данного способа изготовления ТК можно выделить: высокая трудоёмкость, долгий производственный цикл. Из достоинств можно выделить лишь относительно высокую прочность кованного металла;
- Изготовление цельнолитого корпуса. ТК отливается сифонным способом в кузнечную изложницу с формообразующей трубой с использованием структурообразующих внутренних холодильников, которые значительно улучшают химическую и физическую однородность. Из достоинств можно выделить сокращение многих технологических операций.

Для изготовления корпуса контейнера используются металлы и их сплавы. Из наиболее перспективных сплавов, таких как хромистая сталь, армированная квазимонолитная сталь, серый чугун, модифицированный чугун, чугун с пластинчатым, шаровидным графитом, последний имеет наилучшие прочностные характеристики.

Также корпус контейнера предполагает наличие защиты окружающей среды от нейтронного излучения ОЯТ. Для обеспечения такого рода защиты используют материалы на основе атомов лёгких ядер вследствие их способности к отражению или поглощению нейтронов, это может быть особо тяжёлый бетон, силоксановый каучук, полиэтилен, вода, парафин и прочие материалы.

Для разработки концепта корпуса ТУК для реактора ВВЭР были приняты следующие решения: механическая защита ТУК представлена цельнолитой цилиндрической основой из чугуна с шаровидным графитом, нейтронная защита окружающей среды выполнена внутренним слоем из особо тяжёлого бетона.

Вследствие анализа источников были получены данные о габаритах ОТВС и качественного состава ОЯТ. Были проведены расчёты остаточного ионизирующего излучения ОЯТ, внесены данные об источнике ионизирующего излучения и плотности материалов корпуса в программу MicroShield 5, где был произведён расчёт толщин нейтронной и механической защиты ТУК.

В результате расчётов была получена модель корпуса контейнера со следующими характеристиками: длина – 5,31 м, диаметр – 1,97м, толщина нейтронной защиты стенок, днища и крышки – 20 см, толщина механической защиты стенок, днища и крышки – 15 см, масса нейтронной защиты – 20,5 т, масса механической защиты – 37,5 т, общая масса пустого корпуса – 58 т.

Заключение

Таким образом предложенный концепт корпуса сможет обеспечить безопасность окружающей среды посредством использования материалов, которые гарантируют целостность конструкции при любых, в том числе аварийных, ситуациях, защитят от остаточного ионизирующего излучения и долго прослужат для транспортировки ОЯТ. Данный корпус отвечает правилам безопасности перевозки радиоактивных материалов, соблюдает максимально допустимые габариты и имеет небольшую массу, по сравнению с другими моделями ТУК, что позволит осуществлять дешёвую и безопасную перевозку ОЯТ.

Литература

1. Отработавшее ядерное топливо АЭС / В.А. Брылева, Е.Ф. Войтецкая, Л.М. Нарейко. – Минск : ГНУ «ОИЭЯИ-Сосны», 2010. – № 7-8. – 8 с.

2. Тепловыделяющие сборки реакторов ВВЭР / В.А. Брылева, Е.Ф. Войтецкая, Л.М. Нарейко. – Минск : ГНУ «ОИЭЯИ-Сосны», 2011. – № 6-7. – 8 с.

3. Контейнеры для отработавшего ядерного топлива / В.А. Брылева, Е.Ф. Войтецкая, Л.М. Нарейко. – Минск : ГНУ «ОИЭЯИ-Сосны», 2016. – № 4. – 4 с.

УДК 621.165

СИСТЕМА МАСЛОСНАБЖЕНИЯ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ
OIL SUPPLY SYSTEM OF COGENERATION UNIT

В.Д. Лукьяненко
Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
V. Lukyanenko
Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье представлены основные характеристики системы маслоснабжения когенерационных установок. Отдельно рассмотрены ее функции, приборы для оценки качества, процесс подачи масла в когенерационную установку. В заключении делается вывод о необходимости правильного технического обслуживания масляной системы.*

Annotation: *This article presents the main characteristics of the oil supply system for cogeneration units. Its functions, instruments for assessing quality, and the process of supplying oil to a cogeneration plant are considered separately. In conclusion, it is concluded that proper maintenance of the oil system is necessary.*

Ключевые слова: *когенерационная установка, системы маслоснабжения, насос, фильтр, охладитель, масло, очистка, защита, качество, двигатель, масляные тестеры.*

Key words: *cogeneration unit, oil supply systems, pump, filter, cooler, oil, cleaning, protection, quality, engine, oil testers.*

Введение

Система маслоснабжения когенерационных установок является важнейшим элементом для хорошей работы оборудования. Масло в установке используется для системы смазки подшипников, редукторов, подвижных узлов. Служит для охлаждения, уплотнения, чистки мотора когенерационной установки. Нужно поддерживать качественное состояние масла для нормальной работы системы маслоснабжения, то есть проверять на наличие загрязненных частиц, следить за температурой.

Основная часть

Когенерационная установка – это электрогенераторная установка с поршневыми двигателями внутреннего сгорания. Она имеет газовый двигатель внутреннего сгорания с искровым зажиганием. Двигатель четырехтактный, с турбонаддувом топливной смеси, с последующим охлаждением, с высококачественной системой зажигания и контролируемой электроникой системой смесеобразования топливо - воздух. Двигатель оборудован наиболее усовершенствованной системой сжигания обедненной топливной смеси [1].

В системе маслоснабжения когенерационной установки используется редукторное масло ИТД-220. Это масло глубокой очистки, произведенное из нефти с введением в него присадок (вязкостно-температурных, антиокислительных). Присадки совершенствуют характеристики масла, такие

как: защита деталей от износа, коррозии. Масло образует жидкостную пленку, которая разделяет поверхности трения, предотвращая снижение коэффициента трения и износ. Используется для смазывания зубчатых передач, редукторов и подшипников [1].

На качество масла особенно влияет содержание сульфатной золы. Масла с большим содержанием золы более стойкие, но менее благоприятны. Тем не менее небольшое количество золы в масле необходимо, чтобы был эффект сухой смазки.

Масло в когенерационной установке подается через шестеренчатые насосы на все движущиеся детали оборудования (рис. 1). При вращении роторов на входной стороне создается разряжение, благодаря чему жидкость под атмосферным давлением заполняет пространство между зубьями и перемещается от входа к выходу. Затем масло попадает под зацепление зубьев и выталкивается в гидравлическую систему. Насос смонтирован на раме модуля и используется для предварительной смазки и последующего охлаждения турбокомпрессоров.

Период действия [2]:

- предварительная смазка – 1 минута;
- последующее охлаждение – 15 минут с момента остановки двигателя.

Автоматическая система восполнения смазки включает в себя поплавковый клапан на линии подачи смазочного масла и смотровое стекло. Поставляется электрическая система мониторинга для отключения двигателя при уровне масла «минимум» или «максимум». Во время работы двигателя в работе электромагнитный вентиль на линии подачи масла. При смене смазочного масла включается ручное управление электромагнитного вентиля с блокировкой автоматики для процедуры заполнения [2].



Рисунок 1 – Масляные насосы

Масло в когенерационных установках выполняет некоторые важные функции [3]:

- смазка редукторов и подшипников;
- охлаждение турбокопрессоров;
- очистка от загрязнений и механических частиц, которые могут образоваться в процессе маслоснабжения, что может повредить целостность оборудования;
- защита от коррозии и окисления металлических поверхностей;
- выполняет функцию уплотнения;
- запас масла в системе маслоснабжения, в которую входят масляные баки.

После прохождения масла через шестеренчатые насосы, оно подается в фильтры очистки. В фильтрах оно очищается от частиц, загрязнений. Загрязнение рабочей жидкости отрицательно влияет на долговечность установки и на надежность. Механические примеси, попадают в зазоры вращающихся деталей, на фаски клапанов, в щели и отверстия дросселей и демпферов, что может вызывать повышенный износ, потерю герметичности, заклинивание плунжеров. Если фильтры не менять и не следить за классом чистоты масла, вязкости, то фильтр будет загрязнен механическими частицами (рис. 2).



Рисунок 2 – Загрязненный фильтр насоса

Для оценки класса чистоты и вязкости масла в когенерационной установке используются масляные тестеры. Этот прибор позволяет обеспечивать непрерывный контроль загрязнения минеральных масел твердыми частицами и позволяет производить оценку класса чистоты масла согласно международным стандартам с последующим регистрированием результатов, сохранением памяти и отображением в полностью автоматическом непрерывном режиме. Благодаря этим характеристикам прибора можно в кратчайшие сроки осуществлять ремонт.

В системе маслоснабжения часто устанавливаются датчики температуры такие как термопары, резистивные термометры, а также инфракрасные датчики. Благодаря этим датчикам можно контролировать состояние масла и активировать охладитель при такой необходимости. Из инжектора первой ступени масло подается в полость всасывания главного масляного насоса. Инжектор второй ступени нагнетает давление масла 0,25-0,3 МПа [4]. Между инжектором второй ступени и подшипниками устанавливаются поверхностные маслоохладители. В них происходит охлаждение водой. Именно поэтому в настоящее время давление воды в маслоохладителях часто устанавливается выше давления масла.

После прохождения через систему смазки масло возвращается в масляный бак. Из него под давлением масло подается в систему смазки и регулирования. Запас масла – несколько десятков тонн. Запас выбирается из условия продолжительности хода сливаемых масленых потоков (не менее 7 минут), это время необходимо для выделения из масленого объема воздуха и легких фракций. Маслобак герметичен, для удаления воздуха и газообразных продуктов на нем устанавливается вентилятор. Все сливы из системы автоматического регулирования и подшипников заводятся под уровень масла для предотвращения захвата воздуха. Системой сеток маслобак разделен на грязный, чистый отсеки. В масляном баке масло подготавливается к повторному использованию.

Условия, которые предъявляются к системе смазки:

- Высокая надежность системы. Для достижения этой цели применяются дублирование или резервирование компонентов, а также независимые защитные контуры;
- Пожаробезопасность. Принимаются некоторые меры для предотвращения контакта масла с горячими частями установки. Органические масла имеют температуру воспламенения 270 °С;
- Долговечность использования. Стремятся использовать масло в течение 7-10 лет.

Заключение

Современные технологии и материалы, которые используются в масляных системах, помогают добиться высокой эффективности и надежности. Однако, для обеспечения нормальной работы необходимо постоянно проводить техническое обслуживание системы маслоснабжения, следить за состоянием масла и уровнем загрязненности фильтров, а также контролировать работу маслоохладителей. В целом, масляная система является неотъемлемой частью в работе когенерационной установки, от которой зависит не только эффективность работы установки, но и безопасность эксплуатации в целом. Инвестиции в

качественное оборудование и регулярное обслуживание системы могут помочь избежать серьезных аварий и продлить срок службы турбины.

Литература

1. Когенерационные установки в системе теплофикации [Электронный ресурс] / Когенерационные установки в системе теплофикации. – Режим доступа: https:// http://energetika.in.ua/ru/books/book-3/part-1/section-4/4-2/4-2-1 /. – Дата доступа: 25.10.2024.

2. Автономные когенерационные установки [Электронный ресурс] / Автономные когенерационные установки. – Режим доступа: https://elib.ispu.ru/product-pdf/avtonomnye-kogeneracionnye-ustanovki-ch1 /. – Дата доступа: 25.10.2024.

3. Турбинные установки ТЭС и АЭС [Электронный ресурс] / Турбинные установки ТЭС и АЭС. – Режим доступа: https://vshph.com/upload/inf/978-985-06-3220-3.pdf /. – Дата доступа: 25.10.2024.

4. Энергетический и эксергетический рейтинги теплоэнергетических установок [Электронный ресурс] / Энергетический и эксергетический рейтинги теплоэнергетических установок. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/energeticheskiy-i-eksergeticheskiy-reytingi-teploenergeticheskih-ustanovok /. – Дата доступа: 25.10.2024.

УДК 628.3

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ НА ОСНОВЕ БЛОКЧЕЙН
WASTEWATER MANAGEMENT SYSTEMS BASED ON BLOCKCHAIN

А.С. Гурина, А.С. Парфёнова
Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Gurina, A. Parfuonova
Supervisor – V. Romanko, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация**: В данной статье рассматриваются технологии блокчейн, которые используют для эффективного управления сточными водами.*
***Abstract**: This article discusses blockchain technologies that are used for effective wastewater management*
***Ключевые слова**: блокчейн, воды, обработка, оптимизация.*
***Keywords**: blockchain, Water, processing, optimization.*

Введение

Блокчейн (усовершенствованный механизм базы данных) – технология, которая позволяет сохранять и передавать данные в виде последовательности связанных блоков. Каждый блок содержит информацию и ссылку на предыдущий – вместе они образуют цепочку. Так данные в блокчейне защищены от изменений и фальсификации. Данная технология начала активно использоваться во всех сферах деятельности, в том числе и для мониторинга водных ресурсов. Предприятия внедряют блокчейн для более эффективного отслеживания качества воды и экологической ситуации в целом.

Основная часть

Сточные воды – это загрязненная промышленной и бытовой деятельностью человека вода, которая так же включает атмосферные осадки, талые воды и прочее.

Сточные воды необходимо контролировать, так как в них могут содержаться опасные вещества (тяжёлые металлы и другие), которые могут навредить человеку и окружающей среде. Проведение мониторинга качества вод позволяет оценить их пригодность для эксплуатации.

В энергетику активно внедряются новые технологии, одна из них блокчейн.

Ее используют для мониторинга качества сточных вод с различных энергетических предприятий (например ТЭЦ), в нефтегазовой и других видах промышленности [1].

На рисунке 1 показан принцип действия простой технологии блокчейн. Специальный компьютер-дрон передает сигал по одноранговой сети (каждый ПК может выполнять функции сервера и клиента одновременно), в которой решена проблема единой точки отказа (система не останавливается при отказе одного из узлов). Сигнал содержит информацию о качестве воды, наличие в ней опасных веществ и системах очистки и передается в модернизированную базу

данных (блокчейн). Там информация разбивается на блоки, что делает доступ к ней более простым [2].

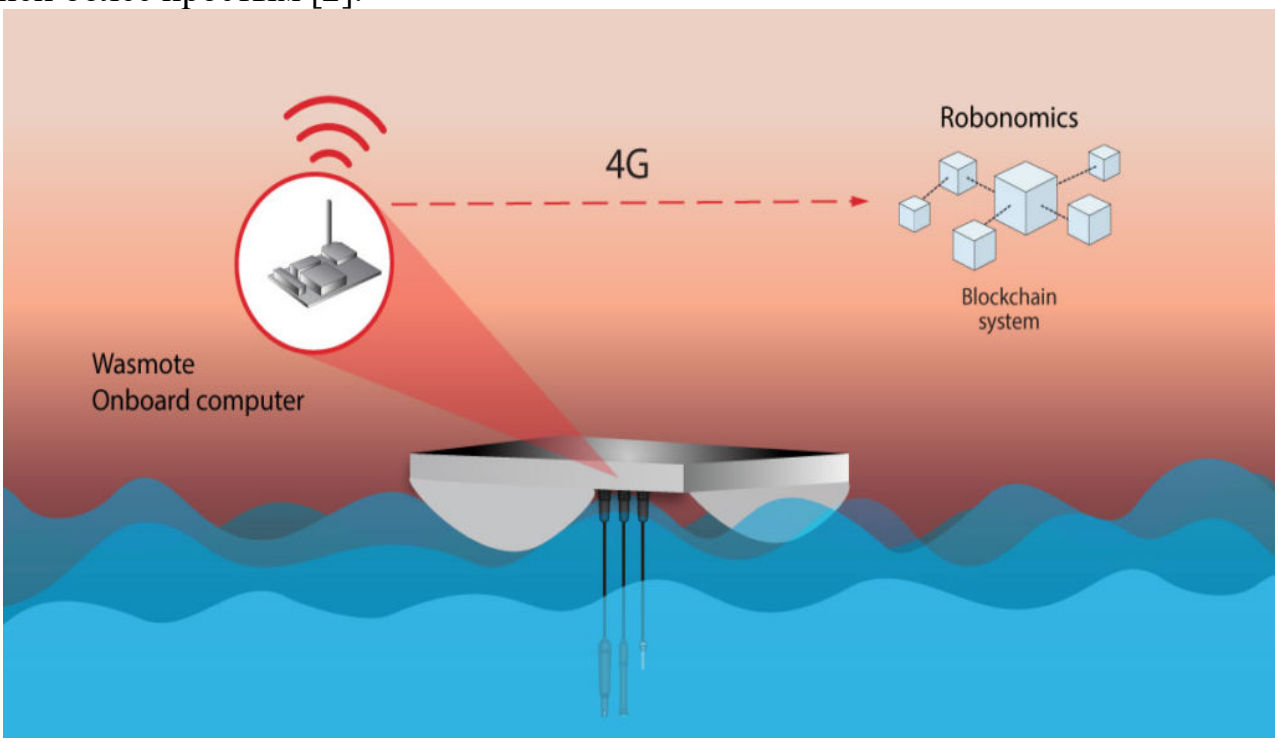


Рисунок 1 – принцип работы блокчейн технологии [2]

Таким образом, данная блокчейн технология обладает следующими преимуществами:

- Прозрачность и безопасность: данные о сточных водах, водных ресурсах и системах очистки записываются в блокчейн, их могут посмотреть граждане. При этом технология достаточно сложная и манипулировать данными практически невозможно. Это делает блокчейн безопасным;
- Возможность повторного использования: на энергетических предприятиях блокчейн технологии используют для разработки систем повторного использования сточных вод, например для охлаждения;
- Автоматизация процессов: Значительное сокращение времени работы и уменьшения числа ошибок, которые как правило связаны с человеческим фактором. В результате экспериментов установили, что технология способна сократить рабочее время более чем на 80 дней;
- Облегчение контроля: проверяющие могут проводить аудит напрямую из блокчейна это существенно упрощает контроль за соблюдением норм.

Несмотря на ряд преимуществ, у данной технологии можно отметить следующие недостатки:

- Сложности установки: необходимо адаптировать законодательство к вводу новых технологий. Так же, не каждое предприятие согласиться на ввод изменений в свои технологические процессы.
- Барьеры: для установки блокчейн-системы необходима высококачественная инфраструктура и технические знания.

Заключение

В заключение, использование блокчейн-систем существенно облегчает мониторинг водных ресурсов. Позволяет сократить рабочее время и в целом, дает свободный и безопасный доступ к информации о качестве сточных вод, системах очистки и экологической составляющей. Однако для успешного внедрения таких систем необходимо учесть технические, организационные и правовые аспекты.

Литература

1. OOC Oil & Gas Blockchain Consortium. TAdviser [Электронный ресурс] / OOC Oil & Gas Blockchain Consortium. TAdviser. – Режим доступа https://www.tadviser.ru/index.php:OOC_Oil_&_Gas_Blockchain_Consortium /. – Дата доступа 08.10.2024.

2. IotSMART [Электронный ресурс] / IotSMART. – Режим доступа https://iotsmart.ru/дроны - датчики - и - блокчейн - для – контроля /. – Дата доступа: 08.10.2024.

УДК 621.311

СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ЕЕ РОЛЬ НА ЗДРАВООХРАНЕНИЕ ТЕРРИТОРИИ
SOLAR ENERGY AND ITS ROLE IN THE HEALTH OF THE TERRITORY

А.С. Печко, А.И. Павловская
Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Piachko, A. Pavlovskaya
Supervisor – V. Kravchenko, Candidate of Economic Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Статья посвящена развитию технологии возобновляемого источника энергии, с акцентом на технологию стабилизации и решению проблем в сфере здравоохранения. Рассмотрены основные материалы и схемы изготовления фотоэлектрических элементов: однокристальный кремний, поликристальный кремний, аморфный кремний, тонкопленочные схемы, перовскитские схемы, органические фотоэлектрические схемы, гибкие и прозрачные панели.*

Abstract: *The article is devoted to the development of renewable energy technology, with an emphasis on stabilization technology and solving problems in the field of health care. The main materials and schemes for manufacturing photovoltaic elements are considered: single-crystal silicon, polycrystalline silicon, amorphous silicon, thin-film circuits, perovskite circuits, organic photovoltaic circuits, flexible and transparent panels.*

Ключевые слова: *цель устойчивого развития, возобновляемый источник энергии, солнечная панель, кремний, кремнёвые пластины, здравоохранение, чистая энергия, безотходное производство.*

Keywords: *sustainable development goal, renewable energy, solar panel, silicon, silicon wafers, healthcare, clean energy, zero waste.*

Введение

Энергия и здоровье неразрывно связаны. Доступ к чистой, устойчивой и доступной энергии, изложенный в седьмой Цели устойчивого развития (ЦУР 7), играет решающую роль в укреплении здоровья (ЦУР 3). Энергия также имеет решающее значение для достижения почти всех других глобальных целей, включая искоренение нищеты (ЦУР 1), возможности для качественного образования (ЦУР 4), достижение гендерного равенства (ЦУР 5), доступ к чистой воде (ЦУР 6), безопасность рабочих мест и экономический рост (ЦУР 8) и борьбу с изменением климата (ЦУР 13). Связь между энергией и здоровьем особенно очевидна в домах и медицинских учреждениях. Доступ к чистой и устойчивой энергии в домах необходим для защиты здоровья людей от загрязнения воздуха в домашних условиях из-за использования загрязняющих воздух печей и видов топлива, таких как уголь и биомасса. Доступ к чистой и надежной энергии в медицинских учреждениях важен для обеспечения предоставления основных медицинских услуг для профилактики и лечения заболеваний.

Основная часть

Во всем мире 2,4 миллиарда человек не имеют доступа к чистому топливу и технологиям для приготовления пищи. Загрязнение воздуха в домохозяйствах, вызванное использованием загрязняющих окружающую среду печей и топлива, ежегодно становится причиной около 3,2 миллиона смертей. Женщины и дети в особенности подвергаются большему риску для здоровья и средств к существованию, поскольку им часто приходится готовить и собирать топливную древесину. Бремя для здоровья становится еще больше, если учитывать использование загрязняющей энергии для других целей (например, отопление помещений, освещение).

Последние статистические данные показывают, что рост населения в настоящее время опережает рост доступа к энергии в некоторых регионах, особенно в странах Африки к югу от Сахары. Это остается единственным регионом, в котором растет число людей, не имеющих доступа к чистому топливу и технологиям. Только около 1 из 5 человек в странах Африки к югу от Сахары (17 %) имеет доступ к чистому приготовлению пищи. В целом, в странах Африки к югу от Сахары проживает больше людей, не имеющих доступа к чистому топливу и технологиям, чем в любом другом регионе, при этом около 83 % населения (около 900 миллионов человек) в регионе не имеют доступа к чистому приготовлению пищи. Доступ к энергии также играет важную роль в функциональности медицинских учреждений и качестве, доступности и надежности медицинских услуг, предоставляемых всем. Тем не менее, по оценкам, 1 миллиард человек во всем мире обслуживаются медицинскими учреждениями без электричества. По оценкам, около 25 % медицинских учреждений в 11 странах Африки к югу от Сахары не имеют доступа к электричеству. Хотя большинство крупных больниц имеют доступ, для сельских и отдаленных клиник тарифы резко снижаются.

Если не предпринять срочных мер, мир не достигнет цели всеобщего доступа к экологически чистому приготовлению пищи, в результате чего более одной пятой (24 %) населения по-прежнему не будет иметь доступа к 2030 году, что сделает их уязвимыми для здоровья и других последствий. Необходимо расширять внедрение экологически чистых решений для приготовления пищи посредством повышения осведомленности, политики, финансирования, инновационных моделей доставки и разработки технологий.

Кроме того, энергия нужна для работы важных медицинских приборов, таких как морозильники вакцин и хирургические установки срочной помощи, лабораторное и диагностическое оборудование, а также для работы главных удобств, таких как освещение, доступность очищенной водой, охлаждение, вентиляция, отопление или обогрев помещений и связь. Электричество является основополагающим для улучшения здравоохранения, и во многих вариантах оно может иметь значение в вопросе между жизнью и смертью. Вследствие комплексных раскладов к задачам здравоохранения и энергетики ВОЗ работает над ускорением доступа к экологично чистому изготовлению пищи и электричеству для медицинских учреждений.

Общая мощность солнечных панелей в Африке выросла до 15,3 МВт к концу 2023 года, говорится в исследовании Африканской ассоциации солнечной промышленности (AFSIA), отраслевого органа. Следует отметить значительный рост числа солнечных панелей в коммерческих и промышленных помещениях - примерно на 50 %. Кроме того, выросло, хотя и сравнительно, число установок солнечных панелей в жилых домах. В частности, в коммерческом и промышленном секторе было установлено 2429,5 МВт новых мощностей по сравнению с 90 МВт в жилом секторе. Это говорит о том, что, несмотря на рост, еще есть куда стремиться, особенно в жилом секторе. Важность надежных коммунальных служб и мощных сетей.

Тот факт, что большую часть растущего рынка солнечных фотоэлектрических установок составляют коммерческие установки, является одновременно и возможностью и угрозой. Это говорит о том, что предприятия готовы возглавить энергетический переход. С другой стороны, все еще существует дисбаланс между корпоративным сектором и сектором домашних хозяйств, что является серьезным сигналом. Потенциал возобновляемой энергетики, особенно гидроэнергетики и солнечной энергии, огромен. Однако многие государственные энергетические компании на африканском континенте изо всех сил пытаются укрепить свои электросети и полное отключение от сети может стать лучшим вариантом как для домохозяйств, так и для предприятий. Предприятия уже обошли эту проблему, объединив солнечные панели с накопителями энергии. Домашние хозяйства пока немного отстают в этом отношении, поскольку у них ограниченные возможности для таких довольно крупных инвестиций. И это уже давно является самой большой проблемой в Южной Африке. ESKOM, крупнейшая государственная электроэнергетическая компания ЮАР, не обладает достаточными мощностями для обеспечения надежной и мощной сети, в результате чего домохозяйства сталкиваются с отключениями и перебоями в подаче электроэнергии. Однако местные власти ЮАР предпринимают шаги по переводу домохозяйств на возобновляемые источники энергии. ЮАР лидирует в энергетическом переходе на африканском континенте. После 2022 года Южная Африка вновь стала лидером по установке солнечных панелей в 2023 году. Более 80 % новых проектов по установке солнечных батарей на африканском континенте были реализованы в ЮАР. Крупные отрасли промышленности Южной Африки, в частности, испытывают серьезные проблемы с этим и все еще имеют достаточно влияния, чтобы найти альтернативу в солнечных панелях. Сейчас самое время также подключить домохозяйства к энергетическому переходу. И для этого есть много возможностей. Между тем, 47,5 процента всех установок солнечных панелей на африканском континенте находятся в Южной Африке. На душу населения Южная Африка с 111,8 кВт·ч уступает только Сейшельским Островам (184,9 кВт·ч) и Намибии (114,5 кВт·ч). Африка теперь использует потенциал солнечной энергии Африканский континент все лучше развивается в области солнечной энергетики. В 20 странах более 5 % электроэнергии уже вырабатывается с помощью солнечной энергии. В Центральноафриканской Республике даже половина электроэнергии вырабатывается за счет солнечной энергии. Страна

обязана этим двум крупным солнечным электростанциям, которые были введены в эксплуатацию в 2023 году. Это показывает, что Африка теперь воспользовалась возможностями, которые предоставляет солнечная энергия.

Предлагается продолжать устанавливать панели по обработке солнечной энергии в Африке и дальше укреплять устойчивые позиции в развитии безотходных источников энергии, рынку жилой недвижимости также необходимо предоставить возможность перейти на возобновляемую солнечную энергию в больших масштабах.

Современная промышленность солнечной энергетики применяет разнообразные материалы и схемы по изготовлению фотоэлектрических элементов, стремясь повысить их эффективность, уменьшить стоимость и повысить площади применения.

Однокристальный кремний представляется классическим и наиболее общераспространенным материалом для производства солнечных панелей. Монокристаллические солнечные элементы производятся из единого кристалла кремния, что обеспечивает их высокую результативность – до 22-24 % в коммерческих образцах [2]. Процесс производства заключает в себе культивирование кристаллов кремния в специальных печах, дальнейшее их нарезание на тонкие пластинки и создание в их поверхности фотоэлектрического слоя. Высокая чистота кремния гарантирует наилучшую электропроводность и эффективность, но также делает данные панели одними из самых дорогостоящих на рынке.

Поликристаллический кремний представляет собой более доступную альтернативу монокристаллическому кремнию. Поликристаллические панели производятся из кремния, который был расплавлен и затем медленно остывает, создавая множество незначительных кристаллов. Данный процесс делает поликристаллические панели менее дорогостоящими в производстве, впрочем, их эффективность несколько ниже – около 15-17 % [3]. Поликристаллические панели просто узнаваемы по их свойственному синему оттенку и неоднородной текстуре.

Тонкопленочные схемы, а именно кадмий-теллурид (CdTe) и медь-индий-галлий-селенид (CIGS), представляются особенно распространенными материалами для тонкопленочных солнечных панелей. Эти панели изготовляются через нанесения микроскопических пленок фотоэлектрического материала на подложку, что делает их эластичными и легкими. Тонкопленочные технологии гарантируют наименьшую по сравнению с кремниевыми панелями результативность – около 10-13 % для CdTe и до 15-22 % для CIGS, но их изготовление существенно дешевле, и они могут являться интегрированы в различные поверхности [3].

Аморфный кремний представляет еще вид тонкопленочной технологии, используемым в отдельных солнечных панелях. Эти панели обладают низким рубежом производительности среди иных солнечных технологий – около 6-8 %, но их легко производить, и они отлично функционируют в условиях низкой освещенности [3].

Солнечные элементы представляют собой новое поколение фотоэлектрических технологий, обещающее высочайшую результативность преображения при существенно более невысоких затратах на производство. Перовскиты – это класс материалов с уникальной кристаллической структурой, которая может быть оптимизирована для эффективного поглощения света. Современные изучения показывают эффективность солнечных элементов более 25 %, что устанавливает их в один ряд с наилучшими монокристаллическими кремниевыми панелями.

Органические фотоэлектрические элементы (ОФЭ) применяют углеродсодержащие соединения, которые могут быть нанесены на подложку с поддержкою печати или других доступных технологий. Эти элементы могут быть прозрачными, эластичными и легкими, впрочем, их результативность на данный момент остается ниже, чем у неорганических аналогов, достигая 10-12 % [3].

Гибкие и прозрачные солнечные панели – это передовое направление в формировании солнечной энергетики, позволяющее интегрировать фотоэлектрические элементы абсолютно в любые поверхности, включительно оконные стекла, фасады строений и даже одежду. Эти технологии находятся на ранних стадиях развития, однако уже демонстрируют значительный потенциал для создания пригодных и вездесущих источников солнечной энергии.

Заключение

Любая из рассмотренных технологий играет свою важность в формировании и модернизирования солнечной энергетики, предлагая неповторимые превосходства в зависимости от конкретных условий и критерий применения. Продолжающиеся изучения и инновации в этой области обещают последующее сокращение стоимости солнечной энергии и углубление ее доступности и использования на глобальном уровне.

Солнечная энергетика продолжает демонстрировать свой огромный потенциал как основа для перехода к устойчивой и чистой энергетической системе. Продолжающиеся исследования и инновации обещают не только улучшить существующие технологии, но и открыть новые горизонты в использовании солнечной энергии, делая ее еще более доступной, эффективной и экологически безопасной.

Литература

1. Солнечная энергетика, ее применение / [Электронный ресурс] / Солнечная энергетика. – Режим доступа: https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=705990 /. – Дата доступа: 19.10.2024.

2. Использование солнечной энергии / [Электронный ресурс] / Солнечная энергия. – Режим доступа: https://electricalschool.info/energy/2305-solnechnaya-energetika-istoriya-plyusy-i-minusy.html /. – Дата доступа: 19.10.2024.

3. Солнечная энергия в медицине / [Электронный ресурс] / Энергия в медицине. – Режим доступа: http://zeleneet.com/solnechnaya-energiya-v-medicine/1723 /. – Дата доступа: 19.10.2024.

УДК 621.311

ТЕРМОАКУСТИЧЕСКОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ
THERMOACOUSTIC COOLING

Д.А. Панкратов, А.О. Боровикова
Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
D. Pankratov, A. Borovikova
Supervisor – V. Romanko, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *D данной статье рассматривается термоакустические охладители воды.*
Annotation: *This article discusses thermoacoustic water coolers.*
Ключевые слова*: термоакустика, холодильник, экология.*
Key words: *thermoacoustics, refrigerator, ecology.*

Введение

Термоакустическое охлаждение – это технология, основанная на использовании термоакустических эффектов для получения низких температур. Данное охлаждение использует энергию звуковых волн для переноса тепла между проходимой средой и частями системы, что позволяет создавать эффективные и компактные холодильные установки.

Основная часть

В данной статье проводится анализ нового способа охлаждения конденсационной воды на тепловых электрических станциях и сравнение его с другими способами охлаждения, такими как брызгальные бассейны, градирни и бассейны охлаждения. Термоакустический способ охлаждения воды появился в 2012 году и был предложен ученым Свифтом и после этого открытия все мировые университеты и большие корпорации начали вкладывать средства в развитие охладителя данного типа, так как этот способ может позволить более эффективно охлаждать теплоносители, а также более бережно относится к природе. В данном методе нет ничего, что могло бы навредить природе.

Термоакустические системы охлаждения функционируют на основе использования звуковых волн и негорючей смеси инертного газа (гелий, аргон, воздух) или смеси газов в резонаторе для обеспечения охлаждения. Термоакустические устройства обычно классифицируются как «стоячая волна» или «бегущая волна». Схематическая диаграмма устройства стоячей волны (рис. 1).

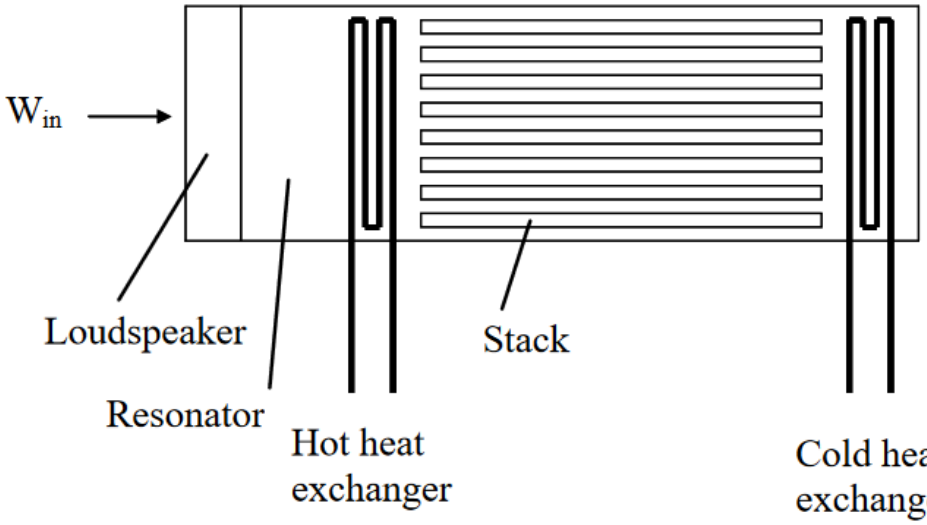


Рисунок 1 – Устройство стоячей волны [1]

Основными компонентами являются цилиндр, динамики, пористый элемент и две системы теплообменников. В этом устройстве газ становится резонансным после использования акустических динамиков. Когда газ колеблется вперед и назад, он создает разницу температур по длине цилиндра. Это изменение температуры происходит из-за сжатия и расширения газа под действием звукового давления, а остальное является следствием теплопередачи между газом и цилиндром. Разница температур используется для удаления тепла с холодной стороны и его отвода на горячей стороне системы. Примером такого устройства с бегущей волной является термоакустический холодильник со стоячей волной (рис. 2).



Рисунок 2 – Термоакустический холодильник со стоячей волной [2]

Многие технические компании заинтересованы в том, чтобы велись разработки в этой перспективной сфере. Технология имеет потенциал предложить еще один вариант охлаждения, но необходимы улучшения в

конструкции для повышения КПД до уровня систем компрессии пара. Промышленный термоакустические охладители смогут вытеснить с рынка такие охладители как брызгальные бассейны (рисунок 3), бассейны охладители (рисунок 4) и градирни (рисунок 5)



Рисунок 3 – Брызгальные бассейны МТЭЦ-5 [3]



Рисунок 4 – Бассейн охладитель [3]



Рисунок 5 – Градирня [3]

На данный моменты самое большое количество воды, потребляемой на станции, идет на охлаждения конденсата пара, после паровых турбин.

Таблица 1. Расчет потребности станции в технической воде

№	Потребители	%	Тыс., м^3/ч
1	Конденсаторы турбин	100	66,0
2	Охлаждение водорода, воздуха, конденсата электрогенератора и крупных электродвигателей.	2,5-4	1,98
3	Охлаждение подшипников вспомогательных механизмов.	0,8-1,2	0,33
4	Охлаждение масла турбин и питательных насосов.	1,2-2,5	0,99

Из таблицы видно, что большая часть охлаждающей воды идет в конденсатор турбины. Более эффективное охлаждение конденсата позволит сэкономить большое количество времени и денег, а также более бережное отношение к окружающей среде. Этого можно достичь, используя термоакустические охладители, которые также не имеют подвижных частей, что даст более долгий срок службы по сравнению с традиционными видами охлаждения.

Основными препятствиями на пути внедрения данной технологии являются [4]:

- КПД термоакустическоой системы охлаждения ниже, чем у тех же градирен, брызгальных и охладительных бассейнов;
- нет коммерческих предложений по использованию термоакустической системы охлаждения.

Для повышения эффективности и снижения стоимости необходимы разработки в области проектирования цилиндров закрытого типа, динамиков и

компактных теплообменников для осциллирующего потока. Также необходимы исследования в области разработки проточных конструкций (открытых систем), которые сократят или исключат использование теплообменников и снизят сложность и стоимость.

Заключение

Термоакустические охладители являются новым и многообещающим методом для охлаждения, который использует инертный газ и звуковые волны для охлаждения проходящий через него технической среды. Это очень эффективные, экологически чистые, а самое главное бесшумные устройства, которые смогут заменять традиционные устройства охлаждения, а дальнейшие исследования и разработки в этой области могут привести к созданию компактных, экономичных и экологически чистых систем охлаждения.

Литература

1. Термоакустическое охлаждение [Электронный ресурс] / Термоакустическое охлаждение. – Режим доступа: URL: https://www.grimsby.ac.uk/documents/defra/tech-thermoacoustic.pdf /. – Дата доступа: 21.10.2024.

2. Обзор проточной конструкции в термоакустическом охлаждении [Электронный ресурс] / Обзор проточной конструкции в термоакустическом охлаж. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/figure/Standing-wave-thermoacoustic-refrigerator-Source-Triton-Shipboard-Thermoacoustic_fig2_235898238 /. – Дата доступа: 21.10.2024.

3. Минскэнерго [Электронный ресурс] / Минскэнерго. – Режим доступа: https://web.minskenergo.by/news/novosti-predpriyatiya/bryzgalnyj-bassejn-filiala-tets-5 /. – Дата доступа: 21.10.2024.

4. Основы термоакустики [Электронный ресурс] / Основы термоакустики. – Режим доступа: https://se7en.ws/osnovy-termoakustiki /. – Дата доступа: 21.10.2024.

УДК 621.311

ТЕХНОЛОГИИ ХРАНЕНИЯ, УЛАВЛИВАНИЯ И УТИЛИЗАЦИИ УГЛЕРОДА
CARBON STORAGE, CAPTURE AND UTILIZATION TECHNOLOGIES

О.А. Ковальчук, А.А. Таркайло
Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
O. Kovalchuk, A. Tarkaylo
Supervisor – V. Kravchenko, Candidate of Economic Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В статье рассматриваются технологии улавливания, утилизации и хранения углерода как инновационные решения для снижения выбросов CO_2 в атмосферу и достижения углеродной нейтральности. В статье подробно описаны ключевые механизмы работы систем CCS, CCU и CCUS, их преимущества и недостатки, а также экономические и технологические аспекты внедрения.*

Abstract: *The article discusses carbon capture, utilization and storage technologies as innovative solutions to reduce CO_2 emissions into the atmosphere and achieve carbon neutrality. The article describes in detail the key mechanisms of the CCS, CCU and CCUS systems, their advantages and disadvantages, as well as the economic and technological aspects of implementation.*

Ключевые слова: *углерод, углекислый газ, улавливание, утилизация, хранение, глобальное потепление, углеродная нейтральность, промышленные выбросы, технологии.*

Keywords: *carbon, carbon dioxide, capture, utilization, storage, global warming, carbon neutrality, industrial emissions, technologies.*

Введение

Учёные по всему миру бьют тревогу. С ростом количества промышленных объектов увеличиваются выбросы углерода в атмосферу. Около четверти мирового объёма CO_2 приходится на промышленность. И эта доля остаётся неизменной с начала 1990-х годов. В мае 2022 года концентрация углерода в атмосфере превысила значение в 400 ppm. Население Земли становится больше, производство не думает уменьшаться, и все это приводит к глобальному потеплению. Ученым все-таки удалось найти решение, как уменьшить выброс больших количеств CO_2. Этим решением стали технологии хранения, улавливания и утилизации углерода CCS/CCU/CCUS, технологии, которые получили бурное развитие в последние годы.

Основная часть

CCS, CCU и CCUS – это общие термины для технологий, которые отделяют и улавливают CO_2, хранят и используют его и привлекают внимание как новаторские идеи по достижению углеродной нейтральности.

CCS (Улавливание и хранение углекислого газа) – это технология, которая отделяет и улавливает CO_2, выбрасываемый электростанциями, химическими заводами и т.д., а затем хранит его глубоко под землей.

CCU (Улавливание, утилизация углекислого газа) – технология, использующая отделенный и рекуперированный CO_2. В частности, помимо превращения ее в топливо или пластик, ее также можно использовать для облегчения добычи сырой нефти путем закачки ее в нефтяные пласты на нефтяных месторождениях.

CCUS (Улавливание, утилизация и хранение углекислого газа) – технология, которая дополнительно использует CO_2, который был отделен, уловлен и сохранен. Термин, объединяющий CCS и CCU.

Улавливание, утилизация и хранение углекислого газа (CCUS) включает технологии, улавливающие CO_2 у источника и предотвращающие его выброс в атмосферу, а также технологии, улавливающие CO_2 непосредственно из воздуха. Уловленный CO_2 транспортируется и хранится под землей или перерабатывается в полезные продукты [1] (рис. 1).



Рисунок 1 – Схематичное изображение технологии улавливания, утилизации и захоронения углекислого газа (CCUS) [1]

Для улавливания углекислого газа его сначала отделяют от других газов, образующихся в результате сжигания или промышленных процессов. Затем его сжимают и очищают, чтобы облегчить транспортировку и хранение. Углекислый газ, образующийся в результате сгорания, особенно в электроэнергетическом секторе, может быть уловлен с помощью одной из трех следующих систем:

– Дожигание: в системе дожигания дымовые газы, образующиеся при сгорании топлива с воздухом, содержат лишь небольшую долю CO_2. Его улавливают путем впрыскивания дымовых газов в жидкость, которая избирательно поглощает CO_2 (например, охлажденный или сжатый органический растворитель). Практически чистый CO_2 можно извлечь из жидкости, как правило, нагревая ее или снижая давление. Подобные

процессы уже используются в больших масштабах для отделения CO_2 от природного газа;

- Предварительное сгорание: в системе предварительного сгорания базовое топливо сначала преобразуется в газ путем нагревания его паром и воздухом или кислородом. В результате этого преобразования образуется газ, состоящий в основном из водорода и CO_2, который легко отделяется. Водород можно использовать для выработки энергии или тепла;
- Сжигание кислородного топлива: при сжигании кислородного топлива для сжигания топлива вместо воздуха используется чистый кислород. В воздухе содержится всего 20 % кислорода и много азота. В результате образуется газовая смесь, состоящая в основном из водяного пара и CO_2. Водяной пар можно легко отделить от CO_2 путем охлаждения и сжатия газового потока. Но для этого подхода кислород сначала необходимо отделить от воздуха, а это довольно сложный процесс.

Подобные системы сбора уже используются в различных промышленных процессах, таких как производство водорода или карбамида и газификация угля [2].

Системы сбора ограничивают выбросы CO_2 от мусоросжигательных заводов примерно на 80-90 %. В цифрах учтен тот факт, что системы сбора требуют дополнительной энергии.

Для новых электростанций, работающих на ископаемом топливе, улавливание CO_2 может увеличить стоимость производства электроэнергии на 35-85 %, в зависимости от конструкции, эксплуатации и финансирования электростанции. Это составляет от 0,01 до 0,03 доллара США за кВт·ч произведенной электроэнергии.

Затраты на сбор также могут быть выражены в долларах США за чистую тонну уловленного CO_2. Стоимость единицы продукции сильно варьируется в зависимости от типа мусоросжигательного завода и промышленного процесса. Себестоимость единицы продукции обычно ниже при производстве относительно чистого потока CO_2, например, при переработке природного газа или производстве водорода или аммиака [3].

Наиболее перспективным проектом сейчас является «Northern Lights», который предлагает норвежская энергетическая компания Equinor. Прямо сейчас, при поддержке правительства, а также нефтяных компаний Shell и Total, она предлагает процесс захоронения CO_2 на дне Северного моря.

В упрощённом виде это выглядит так: CO_2, полученный на мусороперерабатывающем заводе «Фортум-Осло», в цистернах под давлением грузится на корабль и доставляется на береговой терминал на другом конце страны, в Айгардене (рис. 2).

Оттуда он перегоняется в промежуточные береговые резервуары. И по трубам поступает в геологические хранилища в норвежском шельфе Северного моря. Создана инфраструктура для транспортировки, складирования и хранения полутора миллионов тонн CO_2 в год. При успешном развитии планируется увеличивать до пяти миллионов тонн ежегодно.

Причем береговой приемный терминал и трубопроводы уже рассчитаны на объем 5 миллионов тонн в год.

CO_2 закачивается на глубину 2,6 км под морским дном в поры водоносного горизонта. Многолетний опыт работы с крупномасштабным хранением CO_2 продемонстрировал, что риск утечки мал при условии тщательного отбора самого места хранилища. «Northern Lights» готова к приёму и хранению CO_2, приём первой партии ожидается в 2025 году. Проекты по улавливанию и транспортировке CO_2 намерены также реализовать в таких городах, как Роттердам, Хамбер и Стокгольм.

Не менее важным элементом является создание баржи для грамотной транспортировки углерода. Концепт такой баржи был разработан голландской верфью «Royle Northern Sander» совместно с судоходной компанией «Winding by Royle Wagenborg». Ситуация с глобальным потеплением в мире сейчас близка к критической, поэтому данные проекты – ключ к трепетному обращению с нашей планетой [3].



Рисунок 2 – Проект по улавливанию и хранению CO_2 [2]

В Японии, с 2012 года проводится крупномасштабный демонстрационный эксперимент под руководством компании по интеграции технологий CCS, созданной совместно крупными частными компаниями. Это план по отделению CO_2 и других газов от газа, поставляемого с нефтеперерабатывающего завода, и хранению CO_2 в колодцах, вырытых глубоко под водой, и в 2019 году был достигнут целевой объем закачки в 300 000 тонн. Согласно «Окончательному отчету группы по изучению долгосрочной дорожной карты CCS Министерства экономики, торговли и промышленности», по оценкам, в настоящее время существует 11 участков от Хоккайдо до Кюсю с общим объемом резервуаров 16

миллиардов тонн. Поскольку ожидается, что к 2050 году ежегодно будет храниться от 120 до 240 миллионов тонн, в Японии и за рубежом при государственной поддержке реализуются семь проектов с целью дальнейшего развития CCS.

В Европе и Америке развитие CCS стремительно растет примерно с 2018 года. Причиной этого считается расширение государственной поддержки CCS. Например, в США проекты CCS получили право на налоговые вычеты, в то время как в ЕС поддержка в размере 10 миллиардов евро в течение 10 лет будет предоставлена для возобновляемых источников энергии и низкоэнергетических источников энергии. Для реализации проекта создан фонд. В Великобритании были выбраны ведущие поддерживаемые государством центры поставок CCS для стимулирования развития частного сектора. Кроме того, количество демонстрационных случаев коммерциализации CCUS растет, а в Европе и США развитие бизнеса по повторному использованию CO_2 для синтетического топлива прогрессирует, в основном начинающими компаниями [4].

Преимущества CCS:

- Сокращение выбросов углекислого газа. Это является основным преимуществом технологии CCS. По расчётам японских учёных, если бы CCS были установлены на угольных электростанциях, которые могут снабжать электроэнергией примерно 270 000 домохозяйств, ежегодно можно было бы предотвратить примерно 3,4 миллиона тонн выбросов CO_2;
- Энергетическая безопасность. По мере того, как мы отказываемся от ископаемого топлива, нам необходимо найти новые источники энергии, которые являются надежными и доступными. CCS может помочь сделать возобновляемые источники энергии, такие как ветер и солнце, более надежными, предоставляя резервный источник энергии, когда эти источники недоступны;
- Создание рабочих мест. Внедрение технологий CCS может привести к созданию рабочих мест в таких областях, как строительство, проектирование и техническое обслуживание. Это может принести пользу местным сообществам и помочь оживить местную экономику.

Недостатки CCS:

- Создание технологии. Выделение и улавливание CO_2 по-прежнему является новой технологией, и прежде, чем ее можно будет использовать на практике, необходимо решить множество проблем, таких как повышение скорости улавливания CO_2 и энергоэффективности. Например, в Японии при транспортировке CO_2 важна морская транспортировка, но в мире мало таких примеров, и требуются дальнейшие улучшения в технологии транспортировки;
- Снижение затрат. Разработка технологий CCS и CCUS требует огромных затрат. Помимо стремления снизить затраты на сепарацию/извлечение и затраты на добычу/хранение за счет развития технологий, снижение транспортных расходов за счет построения цепочек создания стоимости также стало важным вопросом при подготовке к будущим

крупномасштабным перевозкам;

- Выбор подходящего места хранения. Не любое место подходит для хранения CO_2, но есть места, где есть «слой хранения» из песчаника и т.д., расположенный глубже 800 метров под землей, и «защитный слой» из аргиллита и т.д., который предотвращает утечку CO_2.

Заключение

Технологии улавливания, хранения и утилизации углерода (CCS, CCU, CCUS) представляют собой жизненно важный инструмент в борьбе с глобальным изменением климата. Их внедрение позволяет существенно сократить выбросы углекислого газа в атмосферу, что критически важно для смягчения последствий глобального потепления. Успехи, достигнутые в таких проектах, как «Northern Lights» и других инициативах в Японии, Европе и США, демонстрируют значительный потенциал этих технологий. Однако их повсеместное использование сталкивается с серьезными вызовами, включая высокие затраты, необходимость разработки эффективных методов транспортировки и хранения, а также поиск подходящих геологических условий. При условии дальнейшего развития технологий, совершенствования инфраструктуры и поддержки на государственном уровне, CCS, CCU и CCUS могут сыграть ключевую роль в достижении углеродной нейтральности и обеспечении энергетической безопасности в будущем.

Таким образом для достижения глобального развития и чистых нулевых выбросов (реальных нулевых выбросов) следует сосредоточиться на улавливании, хранении и утилизации углекислого газа.

Литература

1. Экономия на декарбонизации [Электронный ресурс] / Экономия на декарбонизации. – Режим доступа: https://nangs.org/news/ecology/ekonomiya-na-dekarbonizatsii /. – Дата доступа: 09.10.2024.

2. Анализ размера и доли рынка улавливания и хранения углерода – тенденции роста и прогнозы (2024–2029 гг.) [Электронный ресурс] / Анализ размера и доли рынка улавливания и хранения углерода – тенденции роста и прогнозы (2024–2029 гг.). – Режим доступа: https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/carbon-capture-and-storagemarket /. – Дата доступа: 10.10.2024.

3. Интерфакс [Электронный ресурс] / экономика – Режим доступа: https://www.interfax.ru/amp/ 983861 /. – Дата доступа: 12.10.2024.

4. Технологии хранения CO2 под дном Северного моря [Электронный ресурс] / технологии хранения CO2 под дном Северного моря. – Режим доступа: https://pikabu.ru/story/tekhnologii _khraneniya_co2_pod_dnom_severnogo_morya_ 8550927 /. – Дата доступа: 13.10.2024.

УДК 621.311

ТЕХНОЛОГИЯ И МЕТОДЫ БЕСКОНТАКТНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ
TECHNOLOGY AND METHODS OF CONTACTLESS ENERGY TRANSMISSION

Д.А. Бабак, А.С. Гребень
Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
D. Babak, A. Greben
Supervisor – V. Kravchenko, Candidate of Economic Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Доклад посвящён инновациям в области энергетики, с акцентом на технологии беспроводной передачи энергии. Рассмотрены основные виды методов передачи: электромагнитная индукция (традиционный и резонансный типы), связь электрического поля, а также методы на основе электромагнитных волн (микроволновые и лазерные). Приводится обзор возможностей беспроводной передачи энергии в различных областях, включая зарядку аккумуляторных устройств. Отдельное внимание уделено перспективам производства солнечной энергии в космосе с передачей её на Землю.*

Abstract: *The report is devoted to innovations in the field of energy, with an emphasis on wireless energy transmission technologies. The main types of transmission methods are considered: electromagnetic induction (traditional and resonant types), electric field coupling, as well as methods based on electromagnetic waves (microwave and laser). An overview of the possibilities of wireless energy transmission in various areas is given, including charging battery devices. Special attention is paid to the prospects for producing solar energy in space with its transmission to Earth.*

Ключевые слова: *беспроводная передача энергии, первичная катушка, магнитный поток, передача энергии, антенна, волновой метод, магнитная индукция, прием сигнала, солнечная энергия, лазерный свет.*

Keywords: *wireless power transmission, primary coil, magnetic flux, power transmission, antenna, wave method, magnetic induction, signal reception, solar energy, laser light.*

Введение

Беспроводная передача энергии – это технология передачи электрической энергии без использования проводов.

Первичная энергия (от источника питания или другого источника) передается в пространстве от передающей антенны и принимается приемной антенной для фактического использования.

Беспроводная технология передачи электроэнергии привлекает внимание благодаря своим значительным преимуществам.

Основная часть

Во многих промышленных и производственных отраслях электроэнергия передается с помощью технических средств по электрическим кабелям.

Развитие технологии беспроводной передачи энергии устраняет этот недостаток. Это связано с тем, что может быть разработана технология, которая позволит техническому оборудованию предприятий получать электрическую энергию без контакта с источником энергии.

В частности, в последнее десятилетие была разработана технология беспроводной передачи энергии на короткие расстояния, позволяющая бесконтактно заряжать устройства со встроенным и аккумуляторными батареями (АКБ). Однако если эта технология передачи энергии станет практичной на большие расстояния, контактная передача энергии для накопителей станет менее желательной и практичной, атехническое оборудование промышленности сможет получать постоянный поток энергии без дополнительных затрат на ее транспортировку.

Основной задачей для повышения эффективности электромобилестроения является создание способов постоянного хранения и получения энергии, что требует развития бесконтактной передачи энергии. Тот факт, что батарею не нужно подзаряжать, является еще одним важным преимуществом электромобилей, которые в последние годы достиг литехнологического прогресса.

Особо следует отметить необходимость использования Интернет вещей (IoT), который за последние 15 лет претерпел технологический и технический прогресс. Эта технология интегрирована в различные технологии и конструкции, такие как устройства, здания и предметы первой необходимости, где датчики определяют местоположение и состояние объектов и связываются с ними через интернет, глобальную компьютерную сеть. Если этими технологиями можно будет управлять без проводов, то эффективность их работы значительно возрастет.

В настоящее время ведутся исследования в области получения энергии из космоса, которые предполагают сбор солнечной энергии на орбите геостационарного спутника, получение солнечной энергии в течение всего срока службы и передачу ее по беспроводной связи на Землю для выработки электроэнергии.

Как уже упоминалось выше, беспроводная передача энергии обладает огромным потенциалом и привлекает большое внимание, поскольку прогнозируется, что эта технология заложит основу для будущего развития мировой энергетики [1].

Существует пять методов беспроводной передачи энергии:

- метод, использующие электромагнитную индукцию или обычные;
- метод с использованием магнитно-резонансных устройств или магнитно-резонансные типы);
- метод с использованием связи электрических полей;
- метод с использованием электромагнитных волн или (микроволновые);
- метод электромагнитных волн (лазерный);
- Беспроводная передача энергии с помощью электромагнитной индукции использует закон электромагнитной индукции, открытый Майклом Фарадеем, британским химиком и физиком XIX века.

Закон электромагнитной индукции гласит, что при пропускании магнитного потока (пучка линий, указывающих на силу и направление магнитного поля) через катушку или другое кольцо из проводящей проволоки возникает электрический ток (индукционный ток). При прохождении тока через катушку возникает магнитный поток (закон правого витка), что позволяет передавать энергию по двум катушкам. Когда источник переменного тока подключен к первичной обмотке со стороны питания, можно заметить, что переменный ток и напряжение периодически меняются, поэтому генерируемый магнитный поток также периодически меняется.

Когда генерируемый магнитный поток проходит через вторичную катушку, во вторичной катушке генерируется ток, соответствующий изменению магнитного потока. Таким образом, эта электромагнитная индукционная бесконтактная система передает энергию от первичной катушки к вторичной катушке через магнитный поток.

Однако эта электромагнитная индукционная (обычная) бесконтактная система передачи энергии имеет тот недостаток, что эффективность значительно снижается при увеличении расстояния между двумя катушками.

Магнитный поток, излучаемый первичной катушкой, рассеивается по мере увеличения расстояния от катушки, в результате чего образуется большое количество «рассеянного потока», который не достигает вторичной катушки.

Существует множество способов повысить эффективность, но в простых системах расстояние равно диаметру катушки, и даже при оптимизации эффективность составляет всего около 10 % или меньше.

Wireless Power Consortium (WPC), отраслевая ассоциация, специализирующаяся на технологиях беспроводной передачи энергии с использованием электромагнитной индукции, создала стандарт Qi в 2010 году, и стандарт Qi позволил производителям разрабатывать технологии беспроводной передачи энергии, которые ранее были запатентованы и несовместимы друг с другом. Теперь технология беспроводной передачи энергии доступна независимо от производителя.

Электронные устройства многих производителей теперь оснащены функциями зарядки по стандарту Qi.

Беспроводной магнитно-резонансный метод передачи энергии значительно устраняет недостатки эффективности традиционных методов, описанных выше.

Этот метод использует резонанс магнитного поля, создаваемого между двумя катушками (передающей и приемной) с одинаковой резонансной частотой.

Когда приемная катушка помещается в магнитное поле, создаваемое передающей катушкой, приемная катушка резонирует и генерирует новое магнитное поле, которое возбуждает резонанс передающей катушки.

Таким образом, передающая и приемная катушки улавливают магнитные поля друг друга и усиливают резонанс друг друга, создавая сильно связанное (резонансное) состояние.

Используя эту систему, группа MIT смогла зажечь лампочку мощностью 60 Вт, передав энергию от катушки диаметром около 60 см на расстояние 2 м. Фактический КПД составил около 50 процентов.

Еще один метод бесконтактной передачи энергии - использование полевой связи. Этот метод использует принцип беспроводной передачи энергии, основанный на емкостной связи.

Электрические и магнитные поля обладают очень похожими свойствами. Явление электромагнитной индукции соответствует индукции тока магнитным полем, а явление возбуждения напряжения электрическим полем - емкостной связи.

Емкостная связь – это явление, при котором, когда положительный заряд добавляется путем пропускания тока через один из двух противоположных электродов, положительный заряд притягивается, а отрицательный собирается на другом электроде. Это создает иллюзию, что ток течет в направлении, противоположном движению отрицательного заряда.

Эта емкостная связь может быть использована для передачи энергии между двумя удаленными электродами.

Подготавливаются два электрода и размещаются на определенном расстоянии друг от друга. Когда источник переменного тока подключен к одному электроду электродной пары, а лампа накаливания подключена к другому электроду в качестве нагрузки, мощность передается между электродами через емкостную связь и лампа накаливания загорается.

По сравнению с методом электромагнитной индукции, метод связи электрического поля, как ожидается, будет относительно дешевой и легкой системой беспроводной передачи энергии. Это объясняется тем, что для него не нужны дорогостоящие провода для передачи тока с малыми потерями, необходимого для метода электромагнитной индукции, и не нужны дорогие и тяжелые магнитные материалы для создания сильного магнитного потока.

Однако диэлектрическая проницаемость, определяющая передачу электрического поля, на пять порядков меньше диэлектрической проницаемости, определяющей передачу магнитного поля, что делает метод связи полей непригодным для беспроводной передачи энергии на относительно большие расстояния. Он считается подходящим для применения на коротких расстояниях, например, при размещении устройства, принимающего энергию, сверху.

Метод электромагнитных волн – это технология, используемая для беспроводной передачи энергии на большие расстояния. Используются два типа электромагнитных волн: микроволны (радиоволны) и лазерное излучение [2].

Для передачи энергии системы электромагнитной индукции и полевой связи должны находиться относительно близко друг к другу. Эффективность передачи магнитно-резонансного метода, который является усовершенствованием метода электромагнитной индукции, также снижается на расстояниях, превышающих диаметр катушки.

Поэтому для передачи энергиина расстояние в несколько метров в помещении требуются большие антенны диаметром 1-2 м. Были предложены идеи встраивания или приклеивания таких антенн к стенам или полу.

Однако существует также потребность в передаче энергии на расстояния, превышающие несколько метров. Например, в случае использования солнечной энергии в космосе энергия, вырабатываемая с высокой эффективностью устройствами солнечной энергии, размещенными на геостационарных спутниках, передается на Землю непрерывно и бесперебойно в течение всего рабочего периода, независимо оттого, какое время суток на Земле.

В этом примере электромагнитная система беспроводной передачи энергии сначала использует энергию, вырабатываемую солнечными батареями на спутнике, для генерации высокочастотного тока в генераторе, который затем распространяется через антенну в виде электромагнитных волн. Электромагнитные волны принимаются приемной антенной (ректенной) на земле и накапливаются в аккумуляторе.

Беспроводная передача энергии на большие расстояния с использованием электромагнитных волн, как ожидается, будет развиваться не только для выработки солнечной энергии в космосе, но и как технология передачи энергии в районы, пострадавшие от стихийных бедствий, на отдаленные острова, в горные районы, под водой и другие места, где невозможно проложить кабели.

В качестве примера применения беспроводной передачи энергии в ближайшем будущем рассмотрим космическую солнечную технологию, которая изучается в последние годы.

Как уже упоминалось выше, космическая солнечная технология – это технология, которая концентрирует солнечную энергию на орбитах геостационарных спутников на высоте 36 000 км над поверхностью Земли, передает эту энергию на землю с помощью лазеров и микроволн и преобразует ее в электричество и другие виды энергии на земле. На геостационарной спутниковой орбите земная атмосфера не поглощает и не рассеивает энергию, на нее не влияют погода, времена года и продолжительность светового дня, поэтому на единицу площади Земли можно стабильно получать примерно в 10 раз больше энергии. Кроме того, рассматриваемые методы передачи энергии из космоса на Землю в меньшей степени подвержены влиянию атмосферы Земли, поглощающей и рассеивающей энергию.

Если это будет реализовано, то откроется доступ к чистой и неисчерпаемой энергии, независящей от ископаемого топлива.

Исследования технологии использования солнечной энергии в космосе продолжаются, и для передачи энергии используются два типа электромагнитных волн: микроволны и лазерное излучение [3].

Преимущества:

- они практически неподвержены влиянию погодных явлений благодаря выбору оптимальной частоты;
- короткие длины волн позволяют относительно легко миниатюризировать оборудование и системы;
- возможность использования наземного фотоэлектрического оборудования в качестве места приема света.

Недостатки:

- микроволны имеют большую длину волны, чем лазерное излучение,

поэтому требуются крупномасштабные системы как в космосе, так и на земле;
- чувствительны к облакам, дождю и атмосферным воздействиям;
- требуются соответствующие меры безопасности для предотвращения повреждения человеческого тела (глаз).

Космическая микроволновая фотоэлектрическая технология использует в качестве антенны для передачи энергии «решетчатую антенну», состоящую из массива антенных элементов. Контролируя время излучения микроволн каждым элементом антенны и комбинируя их в пространстве, можно формировать лучи любой формы и распространять их в любом направлении.

Однако, поскольку эти антенные решетки имеют огромные размеры, трудно сохранить идеально плоскую структуру. Чтобы достичь точности управления направлением 0,001°, необходимой для передачи энергии на приемную антенну в конкретной точке на земле, необходимо также разработать высокоточную технологию электрической коррекции направления луча.

Космическая фотоэлектрическая технология с использованием лазерных лучей использует высокоэффективные лазеры, возбуждающие лазеры путем прямого облучения солнечным светом специальных кристаллов, в дополнение к традиционному методу лазерной генерации энергии, использующему электричество, вырабатываемое солнечными батареями. В настоящее время ведутся разработки по использованию колебательной системы для освоения космоса.

Кроме того, ведутся исследования не рефракционных лучей, таких как пучки Бесселя с малым разбросом лучей для точного наведения лазерных лучей на цели на земле, и адаптивной оптики для устранения колебаний света, проходящего через атмосферу.

Также ведутся исследования солнечных элементов с высокой эффективностью преобразования при определенных длинах волн лазерного импульса для высокоэффективного преобразования излучаемого лазерного света в энергию, а также методов хранения энергии в различных формах, таких как водород и аммиак, и преобразования ее в электричество при необходимости, вместо прямого преобразования лазерного света в электричество в солнечных элементах. Исследования также продолжаются.

Заключение

Беспроводная передача энергии – это технология, обеспечивающая передачу энергии без использования кабелей и обладающая значительными преимуществами.

Существует пять типов методов беспроводной передачи энергии: электромагнитная индукция (обычная), электромагнитная индукция (магнитный резонанс), полевая связь, электромагнитная волна (микроволновый режим) и электромагнитная волна (лазер).

Технология производства солнечной энергии в космосе рассматривается в качестве примера ближайшего будущего беспроводной передачи энергии с использованием микроволнового и лазерного методов. Поэтому особое внимание следует уделить использованию в нашей стране перспективных

технологий беспроводной передачи энергии с потенциально значительной экономической и энергетической эффективностью.

Литература

1. Как передавать энергию без проводов [Электронный ресурс] / Как передавать энергию без проводов. – Режим доступа: https://ledsshop.ru/kak-peredavat-energiu-bez-provodov /. – Дата доступа: 15.10.2024.

2. Исследовательский проект на тему: «Беспроводная передача энергии» [Электронный ресурс] / Исследовательский проект на тему: «Беспроводная передача энергии». – Режим доступа: https://nsportal.ru/ap/library/nauchno-tekhnicheskoe-tvorchestvo/2019/11/29/issledovatelskiy-proekt-na-temu /. – Дата доступа: 14.10.2024.

3. Беспроводная передача электрического тока [Электронный ресурс] / Беспроводная передача электрического тока. – Режим доступа: https://school-science.ru/22/11/59051 /. – Дата доступа: 15.10.2024.

УДК 338.984

ТУРБОДЕТАНДЕРНЫЕ УСТАНОВКИ
TURBO EXPANDER INSTALLIATIONS

Н.И. Козак, А.В. Геут
Научный руководитель – Л.А. Тарасевич, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
N. Kozak, A. Geut
Supervisor – L. Tarasevich, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье рассмотрены принцип работы турбодетандерной установки, разобраны её основные виды и используемые области применения, а также приводится описание её конструктивных особенностей.*

Abstract: *This article discusses the principle of operation of a turbodetander installation, analyzes its main types and applications used, and also provides a description of its design features.*

Ключевые слова: *турбодетандер, энергия, энергетическая эффективность, газ, охлаждение.*

Keywords: *turbo expander, energy, energy efficiency gas, cooling.*

Введение

Турбодетандерная установка – это устройство, которое реорганизует потенциальную энергию сжатого газа в механическую. Суть работы турбодетандера заключается в следующем: сжатие и расширение газа, выработка энергии и охлаждение. Данный принцип построен на разнице давлений, что обеспечивает возможность извлечения неэффективно расходуемой энергии. Из этого следуют следующие преимущества: повышение эффективности систем, сокращение затрат на энергию и снижение выбросов парниковых газов, что играет ключевую роль на сегодняшний день в условиях глобальных изменений климата и ограниченных ресурсов.

Основная часть

Конструкция турбодетандерной установки представляет собой механизм, который состоит из нескольких ключевых элементов, каждый из которых выполняет специфические функции, способствующие эффективной и надежной работе устройства. Одним из основных составляющих является корпус, изготавливающийся из довольно высокопрочных материалов. Применение данных материалов необходимо для предотвращения коррозии, износа и механических повреждений, а также они способны выдерживать экстремальные условия эксплуатации (высокая температура, давление и агрессивные химические среды) [1].

Корпус гарантирует защиту внутренних механизмов от воздействий внешней среды и обеспечивает нужные условия для преобразования расширения и сжатия газа. Несмотря на это устройство корпуса должно обеспечивать

динамические нагрузки, которые могут возникнуть при его работе, требующей детальной проработки высококвалифицированных специалистов.

Ротор является неотъемлемой частью данного агрегата. На ротор насажено большое количество рабочих лопаток, вращение которых приводит в действие ротор, в котором происходит превращение кинетической энергии потока газа в механическую энергию вращения ротора турбодетандерной установки. Устройство ротора необходимо тщательно прорабатывать для исключения всяческих вибраций, которые в свою очередь возникают во время его эксплуатации. Сильные вибрационные нагрузки могут вывести ротор из строя.

Статор является совокупностью неподвижных частей турбодетандера. В функцию статора входит защита внутренних механизмов. Данный агрегат обеспечивает эффективное направление потока газа через лопатки, а также практичное теплоотведение: рассеивание тепла, которое может возникнуть в процессе эксплуатации данного турбоагрегата, что минимизирует перегрев и повышает срок службы.

Система смазки необходима для качественной работы, основной его функцией является уменьшение трения между движущимися частями, в свою очередь это способствует снижению риска аварийной ситуации.

Система управления включает в себя следующие компоненты: контрольно-измерительные приборы и датчики, регулирующие работу механизма и обеспечивающие эффективную производительность.

Классификация турбодетандеров:

- по конструкции: открытые и закрытые;
- по давлению: низкого (0,4-1,5 МПа), среднего (2-7 МПА), высокого (10-20 МПА);
- по количеству ступеней: одноступенчатые, двухступенчатые и многоступенчатые;
- по типу рабочего тела: воздушные и газовые (воздушно-азотные, гелиевые, водородные, природный газ);
- по агрегатному состоянию: газовое, парожидкостное;
- по способу привода: механические и электрические;
- по области применения: энергетические и холодильные;

Турбодетандерные установки подразделяются на машины объемного и динамического действия. Примером машин объёмного действия могут служить поршневые и винтовые детандеры (рис. 1).

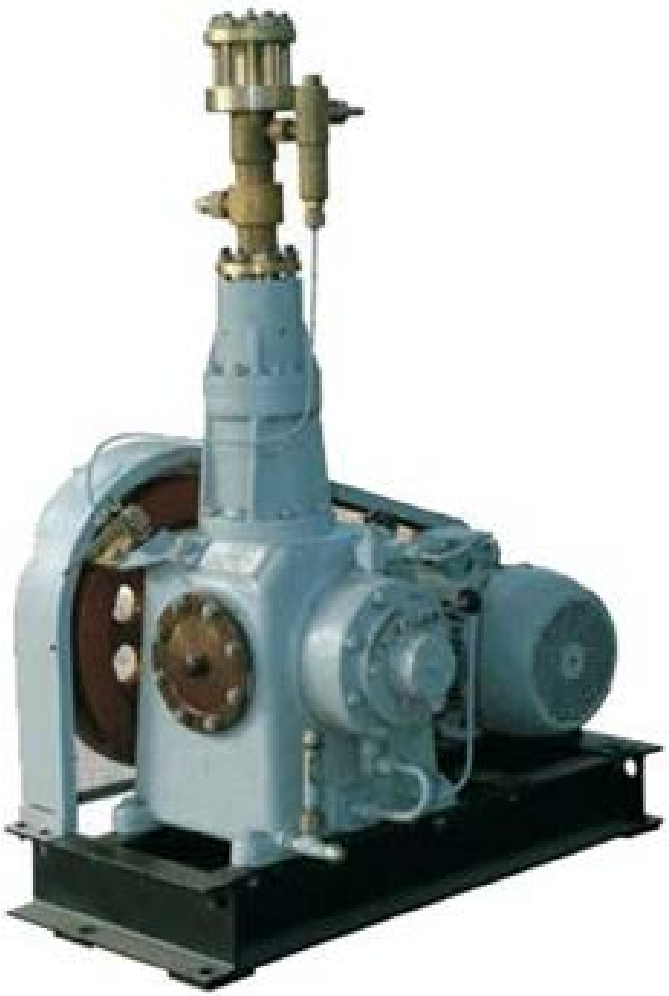


Рисунок 1 – Машина объёмного действия [1]

Машина динамического действия наиболее распространен в криогенной технике и в воздушных холодильных машинах, где рабочим телом является воздух, и температура достигает до -80 ºС (рис. 2).



Рисунок 2 – Машина динамического действия [1]

Принцип работы турбодетандерной установки [2].

Сперва газ, отдавая свою энергию, поступает в компрессор, где в последующем сжимается и приводит к снижению его температуры. Расширение газа совершается вследствие выполнения работы на лопастях турбины, вызывая вращение ротора. Процесс преобразования механической энергии в электрическую – это не просто механическое движение, а искусство перехода одной формы энергии в другую. Приобретенная энергия может сыграть важную роль, начиная от снабжения жилых зданий до обеспечения электроэнергией производственных предприятий. Понижение температуры и снижение давления дает возможность беспрепятственно охлаждать различные системы и процессы. В итоге, помимо создания холода, такие установки позволяют сократить затраты на электроэнергию. Общий вид схемы турбодетандерной установки приведен на рисунке 3.

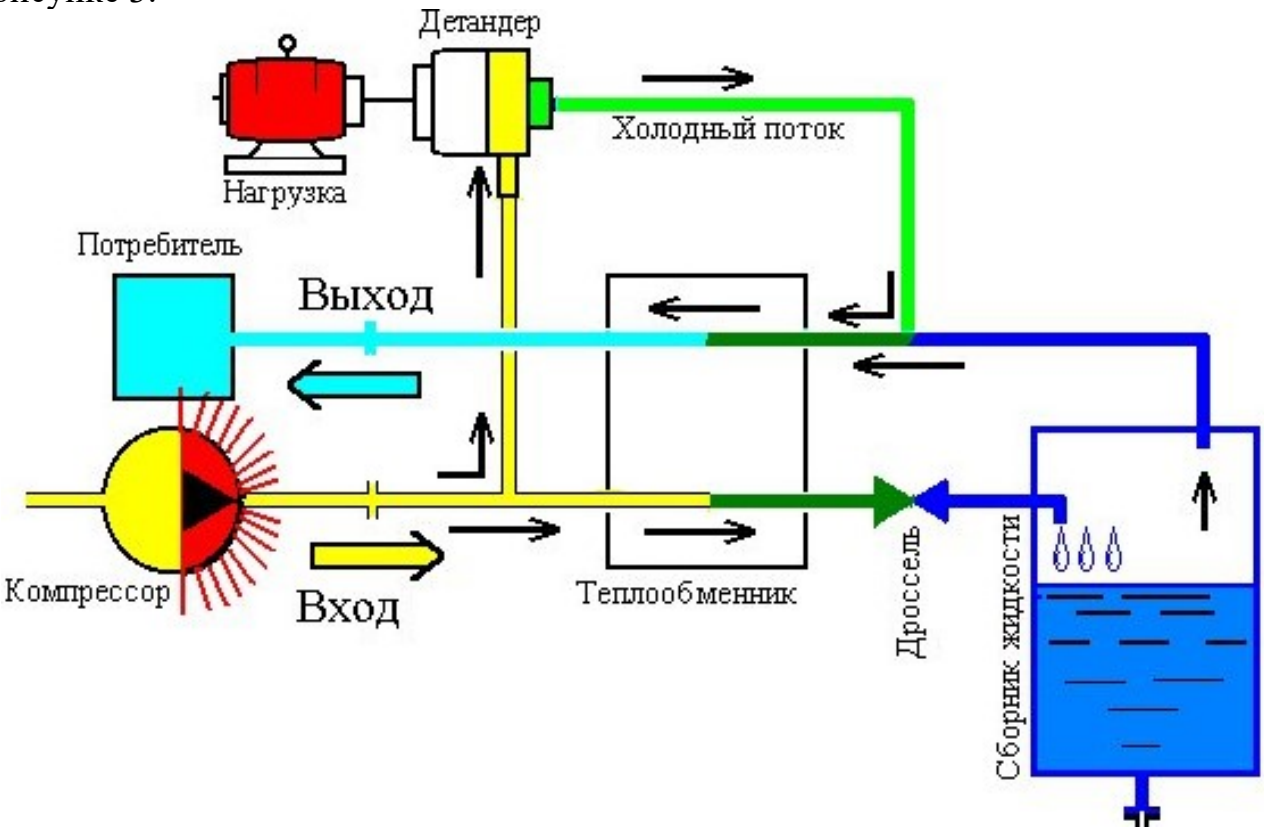


Рисунок 3 – Общий вид турбодетандерной установки [2]

Турбодетандерные установки имеют множество преимуществ, которые делают их наиболее эффективными в различных областях применения. Рассмотрим основные сферы их использования [3]:

- Воздухоразделительное устройство. Принцип его работы основан на извлечении из воздуха азота и кислорода. На сегодняшний день, различают следующие виды: адсорбционные, криогенные и мембранные. Воздухоразделительное устройство широко применяется в медицинской сфере.
- Ожижители азота, водорода и гелия. Распространено в медицине, научных исследованиях, ракетной технике и в исследованиях в области

энергетики.

- Гелиевые рефрижераторы. Суть работы заключается в адсорбции и десорбции. Основной элемент – гелий, благодаря которому достигаются очень низкие значения температур из-за малой температуры кипения. Основным преимуществом является его безопасность за счет отсутствия токсичных и горючих веществ.
- Воздушная холодильная машина. Рабочим телом является воздух. Расширение и сжатие газа – это те принципы, на которых основана данная установка. Она применяется в различных сферах, такие как промышленность, офисные здания, сельское хозяйство, торговля, а также автомобильная промышленность.
- Ожижитель природного газа. Данная установка основана на превращении природного газа в жидкую фазу, которая способствует значительному снижению затрат на его перевозку и хранение. Ожижители играют весомую роль в промышленности, быту и энергетике.
- Турбодетандеры-электрогенераторы на перепаде давлений сетевого природного газа. Эффективно применяются в следующих областях: энергетика, автономные источники энергии, газотранспортная система, промышленность.

Заключение

Турбодетандерные установки являются важным аспектом для повышения эффективности энергетических систем в промышленных областях. Одним из весомых достоинств является преобразование кинетической энергии в механическую с наименьшими потерями, что приводит к сокращению потребления топлива и позволяет снизить количество токсичных веществ. Эффективное развитие и постоянные модернизации данной установки приводят к заметным улучшениям и усовершенствованиям в области устойчивой энергетики. Применение турбодетандерной установки в сферах промышленности, медицины, газотранспортной системе, авиации, ракетной технике и энергетики подчеркивает универсальность и многогранность данной установки [4].

Таким образом, турбодетандерные установки являются неотъемлемой частью энергетических и производственных систем, благодаря его особенному принципу работы преимущества перекрывают недостатки, что делают их наиболее предпочтительнее при выборе.

Литература

1. Расчёт и оптимальное проектирование расширительных машин объёмного и динамического действия [Электронный ресурс] / Расчёт и оптимальное проектирование расширительных машин объёмного и динамического действия. – Режим доступа: https://books.ifmo.ru/file/pdf/2043.pdf /. – Дата доступа: 21.10.2024.

2. Турбодетандер и его принципы работы [Электронный ресурс] / Турбодетандер и его принципы работы. – Режим доступа:

https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/27035/%D0%A1.%20450.pdf?sequence=1 /. – Дата доступа: 23.10.2024.

3. Расчёт параметров турбодетандера [Электронный ресурс] / Расчет параметров турбодетандер. – Режим доступа: https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/53356/1/TPU680502.pdf /. – Дата доступа: 22.10.2024.

4. Турбодетандер [Электронный ресурс] / Турбодетандер. – Режим доступа: https://rmgas-invest.ru/upload/iblock/b6a/b6ab570d45b994afb5322a4d31cd2208.pdf /. – Дата доступа: 21.10.2024.

УДК 426.33

УМНЫЕ ГОРОДА: ИНТЕГРАЦИЯ IOT В СИСТЕМУ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ
SMART CITIES: INTEGRATION OF IOT INTO THE ENERGY SUPPLY SYSTEM

Д.В. Данилович, Д.В. Чуйко
Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
D. Danilovich, D. Chuiko
Supervisor – V. Kravchenko, Candidate of Economic Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *Статья посвящена концепции умных городов, которые используют информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) и Интернет вещей (IoT) для повышения эффективности городской энергетики. Рассматриваются ключевые инициативы, направленные на решение актуальных проблем городов.*

Abstract: *The article is devoted to the concept of smart cities that use information and communication technologies (ICT) and the Internet of Things (IoT) to improve the efficiency of urban energy. Key initiatives aimed at solving pressing urban problems are examined.*

Ключевые слова: *умный город, информационно-коммуникационные технологии, Интернет вещей, устройства.*

Keywords: *smart city, information and communication technologies, Internet of things, devices.*

Введение

Умный город – это город, который использует информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) и Интернет вещей (IoT), чтобы сделать городскую инфраструктуру и услуги более эффективными и устойчивыми. Умные города не только улучшают качество жизни горожан, но и способствуют снижению воздействия на окружающую среду и экономическому развитию (рис. 1).

Инициативы, связанные с умными городами, реализуются во всем мире, но основная цель – решение проблем, с которыми сталкиваются города. В условиях будущих опасений по поводу энергетической безопасности поиск новых, уникальных способов производства энергии, необходимой для управления умными городами, может стать решающим шагом. Цель «умных городов» – использовать технологии ИКТ для решения проблем и оживления городов. Примерами конкретных инициатив являются [1].

- использование туристических ресурсов;
- разработка мер по предотвращению и смягчению последствий стихийных бедствий;
- повышенная безопасность;
- развитие городской инфраструктуры.

Умные города используют большие данные и новейшие технологии при реализации этих инициатив.



Рисунок 1 – Умный город [1]

Предыстория акцента на умных городах.

Концепция «умных городов» возникла в конце 1990-х – начале 2000-х годов. Первоначально основное внимание уделялось городскому планированию и управлению инфраструктурой с использованием ИКТ, но постепенно были внедрены такие технологии, как Интернет вещей, искусственный интеллект и анализ больших данных, что сделало возможным более комплексное управление городскими данными. Кроме того, с ростом интереса к устойчивому развитию и защите окружающей среды, инициативы «умного города» развиваются параллельно с развитием экогородов.

Основная часть

Многие города, такие как Лондон, Стокгольм, Дубай и Нью-Йорк, начали превращаться в умные города. Поскольку становится все более распространенным осознание того, что достижения в области информации и коммуникаций будут предшествовать неизбежным и необходимым достижениям в городской среде, последнее будет сопровождаться энергетической дилеммой. По данным Лондонского реестра выбросов энергии и парниковых газов («LEGGI»), в 2018 году город использовал около 134 000 гигаватт-часов энергии. По мере того, как Лондон (и другие города) превращаются в полноценный умный город, это число будет только увеличиваться [2].

В условиях будущих опасений по поводу энергетической безопасности поиск новых, уникальных способов производства энергии, необходимой для управления умными городами, может стать решающим шагом. В то время как

многие города в развитом мире стремятся стать городами с нулевым выбросом углерода, полностью питаясь возобновляемой энергией, стоит изучить новые, менее масштабные устройства для сбора энергии, чтобы использовать устойчивые источники энергии. Одним из таких подходов является система генерации энергии на основе пьезоэлектрических шагов, усовершенствованная с помощью Интернета вещей.

Пьезоэлектрические материалы в системах Интернет вещей

Поскольку сенсорные устройства становятся все более распространенными в умных городах, становится возможным использовать различные источники движения и вибрации для производства энергии. Пьезоэлектрические материалы могут «захватывать» кинетическую энергию из таких источников, как движение человека, ветер, транспортные средства, океанские волны и т.д., и преобразовывать ее в электрическую энергию [3]. Эти пьезоэлектрические материалы, встроенные в обувь или прикрепленные к конечностям, могут улавливать энергию от таких действий, как ходьба или покачивание. Эта технология эффективно и чисто преобразует механическое давление в электрическую энергию, что делает ее экологически чистым источником энергии. Интернет вещей как технология может играть рамочную и регулирующую роль в реализации жизнеспособных пьезоэлектрических систем сбора энергии.



Рисунок 2 – Пьезоэлектрические материалы [3]

Во-первых, устройства Интернета вещей в системах сбора энергии постоянно контролируют работу пьезоэлектрических устройств, которые используют энергию, выявляя износ и соответствие местным нормам и стандартам. Но как Интернет вещей может раскрыть истинный потенциал

пьезоэлектрических систем сбора энергии за счет интеллектуального управления распределением собранной энергии? В умных городах Интернет вещей может облегчить торговлю и обмен собранной энергией. Избыточную энергию можно продать в сеть или разделить с соседними зданиями или инфраструктурой, создавая более связанную и устойчивую энергетическую экосистему. Он может использовать вырабатываемую электроэнергию для питания различных устройств или сохранять избыточную энергию для дальнейшего использования. Такое динамическое распределение энергии повышает доступность и надежность системы. Кроме того, построение сети пьезоэлектрических датчиков может повысить эффективность и сделать работу удаленной.

Хотя пьезоэлектрические материалы потенциально могут быть интегрированы в единую систему, которая интегрируется с инфраструктурой управления электропитанием, распространенной в умных городах, эти материалы все еще находятся в зачаточном состоянии и коммерчески нежизнеспособны для сбора данных о движении человека, ветре, транспортных средствах и океанских волнах и т. д. Источник вибраций выгодно использовать для преобразования энергии в электричество. Это требует дополнительных исследований этого и других маломасштабных методов сбора энергии, чтобы дополнить крупных игроков в области устойчивой энергетики [1].

Учитывая ограниченность земель, доступных для сельскохозяйственных целей, фермеры будут применять вертикальное земледелие, гидропонику и другие интенсивные методы. Эти методы включают искусственное освещение, системы климат-контроля и автоматизацию, все из которых требуют значительных энергозатрат. Оглядываясь назад, можно сказать, что даже сельское хозяйство в традиционных условиях требует больше энергии, потому что нужно кормить больше людей. Поскольку мир настаивает на нулевых выбросах углекислого газа, правительства всего мира призывают сельскохозяйственный сектор неизбежно перейти на возобновляемые источники энергии.

Хотя Интернет вещей широко применяется в сфере регулирования, его потенциальная роль в повышении энергоэффективности ферм часто упускается из виду. Хотя устройства Интернета вещей существуют, которые могут отслеживать и контролировать использование энергии в городских фермерских хозяйствах, эту технологию необходимо внедрять даже в источнике энергии. Тем не менее, хотя мы добились прогресса в области энергосбережения на фермах, существует также необходимость регулирования производства энергии на фермах.

Фермы и агроэкосистемы.

Фермы, по сути, представляют собой экосистемы, способные производить собственную энергию. Они могут использовать солнечную энергию, перерабатывать питательные вещества и использовать возобновляемые источники энергии. Системы Интернета вещей могут быть разработаны для регулирования и управления энергией, вырабатываемой эндогенно на ферме. В городских сельскохозяйственных условиях биогаз или энергия, получаемая путем переработки питательных веществ, может не только обеспечивать

энергией вертикальные фермы и небольшие участки земли, но также может вносить вклад в основную энергосистему – при условии, что их собственное потребление энергии оптимизировано и сведено к минимуму. Интернет вещей как технология – это умный инструмент, помогающий создать самодостаточные умные города, которые вскоре станут повсеместными. Хотя Интернет вещей – это технология, которая позволяет «умным» городам существовать, нельзя игнорировать их потенциал по смягчению проблем, с которыми сталкиваются эти учреждения [3].

Заключение

Подводя итог, можно сказать, что интеграция Интернета вещей, автомобильной электроники, полупроводников и искусственного интеллекта представляет собой гигантский скачок вперед в устойчивом развитии. Технологии могут сделать города более эффективными, пригодными для жизни и экологически чистыми. На этом этапе технологической революции нам следует действовать осторожно, решать проблемы и справедливо распределять выгоды. Идеализм умных городов обещает более яркое, зеленое и лучшее будущее, в котором технологии станут движущей силой перемен в городском развитии.

В заключение, концепция умных городов, основанная на интеграции информационно-коммуникационных технологий и Интернета вещей, открывает новые горизонты для устойчивого развития городских пространств. Применение инновационных технологий, таких как пьезоэлектрические системы и управление энергией с помощью IoT, не только позволяет эффективно использовать ресурсы, но и способствует созданию более безопасных, удобных и экологически чистых условий жизни для горожан.

Литература

1. IoT в умном городе: преимущества и применение технологий Интернета вещей. [Электронный ресурс] / IoT в умном городе: преимущества и применение технологий Интернета вещей. – Режим доступа: https://sofiot.ru/blog/poleznye-materialy-iot/iot-v-umnom-gorode-preimushchestva-i-primenenie-tekhnologiy-interneta-veshchey /. – Дата доступа: 10.10.2024.

2. Перспективы интеграции Интернета вещей (IoT) и умных электрических сетей (Smart Grid) [Электронный ресурс] / Перспективы интеграции Интернета вещей (IoT) и умных электрических сетей (Smart Grid). – Режим доступа: https://electricalschool.info/guides/2692-integraciya-iot-i-smart-grid.html /. – Дата доступа: 14.10.2024.

3. «Умная» энергетика «умного» города [Электронный ресурс] / «Умная» энергетика «умного» города. – Режим доступа: https://www.eprussia.ru/market-and-analytics/4301845.htm /. – Дата доступа: 10.10.2024.

УДК 621.311

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД: КОАГУЛИЦИЯ И ФЛОКУЛЯЦИЯ
PHYSICAL AND CHEMICAL METHODS OF WASTEWATER TREATMENT: COAGULATION AND FLOCCULATION

В.А. Новикова, А.И. Снапкова
Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
V. Novikova, A. Snapkova
Supervisor – V. Romanko, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В данной статье рассматриваются некоторые способы очистки сточных вод, описание каждого из методов, преимущества и недостатки их применения в процессе очистки от разного рода примесей.*
Abstract: *This article discusses some methods of wastewater treatment, a description of each method, the advantages and disadvantages of their use in the process of purification from various types of impurities.*
Ключевые слова: *сточные воды, очистка, примеси, коагуляция, флокуляция, гидрофильные вещества, коллоидные частицы.*
Key words: *wastewater, treatment, impurities, coagulation, flocculation, hydrophilic substances, colloidal particles.*

Введение

Попадание в водоёмы сточных вод, содержащих неорганические загрязнители, такие как соли азота, фосфор, тяжелые металлы способствуют росту сине-зеленых водорослей, что в конечном итоге приводит к разрушению экосистемы. В зависимости от состава и уровня концентрации этих загрязняющих веществ выбирается соответствующий метод очистки. Этот подход основывается на использовании физических характеристик загрязнений и химических веществ, применяемых для их устранения.

Основная часть

Важную роль в очистке сточных вод играют физико-химические методы, включающие огромное количество способов, что могут использоваться не только отдельного, но и совместно с другими процессами (биологическими, механическими и др.). Такие методы очистки способны избавляться как от твердых частиц, так и от растворенных примесей.

Взаимодействие веществ с водой определяется их гидрофильностью или гидрофобностью. У гидрофильных веществ силы притяжения к молекулам воды превышают силы притяжения между самими молекулами воды. Это приводит к интенсивному взаимодействию и хорошей растворимости таких веществ в воде.

Напротив, у гидрофобных веществ силы притяжения между молекулами воды сильнее, чем силы притяжения к молекулам этих веществ. Как правило, к таким веществам относятся нуклеиновые кислоты, белки (нерастворимые в воде), жиры, крахмал, клетчатка, АТФ и др.

Важно отметить, что абсолютной гидрофобности не существует, и гидрофобность рассматривается как низкий уровень гидрофильности [1].

Если рассматривать физико-химические методы очистки, то они направлены на удаление коллоидных и мелкодисперсных примесей размером 1-1000 нм, представляющих собой нерастворимые минеральные и органические соединения, а также на удаление некоторых щелочей и кислот, ионов и разрушение слабо окисляемых соединений.

Достоинством таких способов очистки являются:

- очищающие системы функционируют стабильно даже при низких температурах жидкости, изменениях показателя pH, а также при варьирующих гидравлических и органических нагрузок;
- оборудование можно за небольшое время активировать после его первоначального монтажа или профилактического обслуживания и ремонта;
- каткая продолжительность процессов обработки;
- процесс в значительной степени автоматизирован, что снижает необходимость ручного контроля за работой оборудования;
- по сравнению с этапом биологической очистки обработка сточных вод характеризуются стабильностью;
- 85-99 % эффективности удаления загрязняющих веществ, которые не удается убрать при механической фильтрации;
- имеется возможность утилизации большого числа отходов в целях повторного применения.

К недостаткам относятся:

- применение передовых методов очистки воды, таких как обратный осмос, абсорбция и ионный обмен связано с высокими денежными затратами;
- использование более доступных методов, таких как коагуляция и флокуляция приводит к образованию значительного количества отходов, которые необходимо дополнительно очищать;
- некоторые методы, основанные на использовании электричества, требуют больших затрат энергии.

Для каждого типа сточных вод существует свой способ очистки, который лучше всего подходит для устранения конкретных примесей. Эти методы отличаются по принципу работы, используемыми реагентами и критерием оценки качества очищенной воды. Рассмотрим 2 распространенных метода очистки: коагуляция и флокуляция.

Коагуляция.

В основе метода лежит процесс объединения мелких коллоидных частиц загрязнений в более крупные агрегаты при их столкновении. В результате этого размер частиц увеличивается с 0,0001 до 10 мкм и более. Для достижения такого эффекта используются минеральные вещества, такие как соли алюминия, магния, железа, меди, сернокислого кальция и цинка. Также применяются замутнители (глины, известь, различные отходы, которые содержат алюминий, песок, цемент и др.).

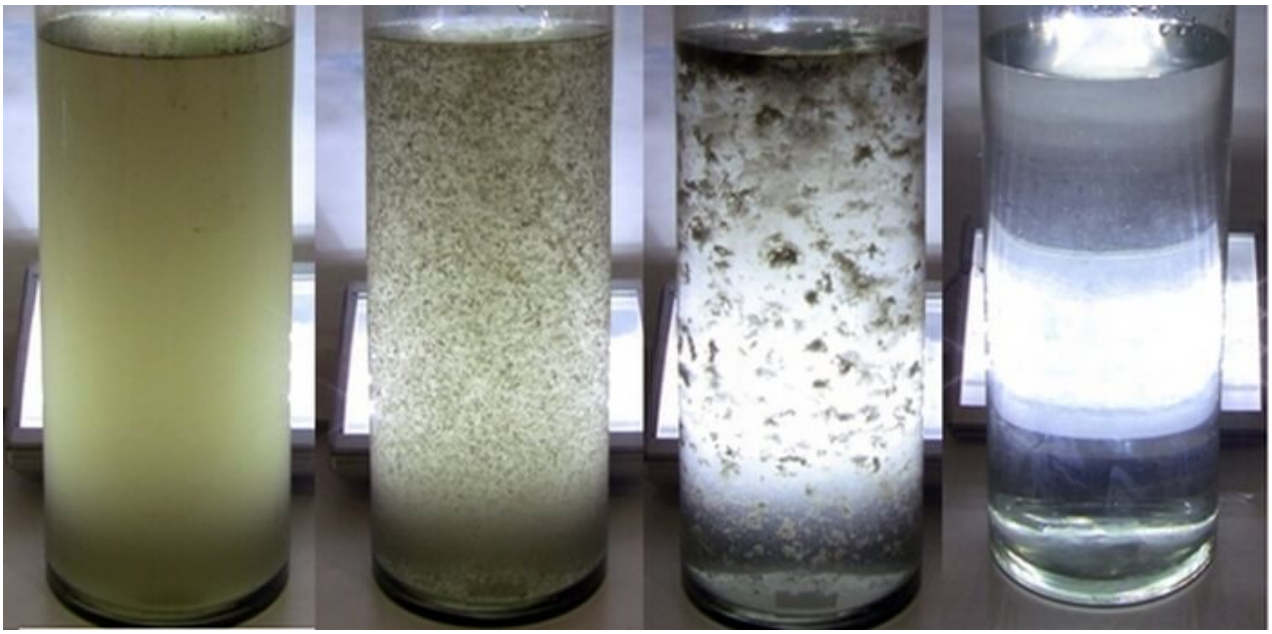


Рисунок 1 – Процесс коагуляции сточной воды [2]

Коагуляция является самым эффективным методом очистки от тонкодисперсных примесей. Образовавшиеся хлопья оседают под действием силы тяжести и просто удаляются после отстаивания. Эффективность очистки данного способа зависит от дозы коагулянта, температуры, активности перемешивания загрязнений с коагулянтом [2]. Доза коагулянта обычно увеличивается с ростом концентрации загрязнений, однако переизбыток коагулянта может ухудшить протекание процесса очистки и приводит к перерасходу вещества, а недостаток не обеспечивает необходимую степень очистки. Дозируемое вещество может иметь наименьшую концентрацию и тогда его следует называть порогом коагуляции.

Данный метод очистки может протекать медленно или быстро. Когда коагуляция протекает медленно, только мизерная часть частиц слипается и коагулянт, в основном, не растворяется. При быстрой коагуляции – большее число частиц начинает слипаться и в растворе образуется осадок. К способам перемешивания раствора отбносят: механический, пневматический и комбинированный.

Также в сочетании с другими методами очистки применяется процесс соосаждения (при коагуляции удаляются растворимые примеси, которые адсорбируются на поверхности растущих кристаллов).

Флокуляция.

Процесс флокуляции основан на объединении взвешенных частиц в более крупные образования. Для этого в сточные воды добавляют специальные вещества, называемые флокулянтом, которые представляют собой высокомолекулярные соединения.

Объединение (агрегация) частиц может происходить как при непосредственном контакте, подобно процессу коагуляции, так и при взаимодействии молекул флокулянта, адсорбированного бна поверхности частиц.

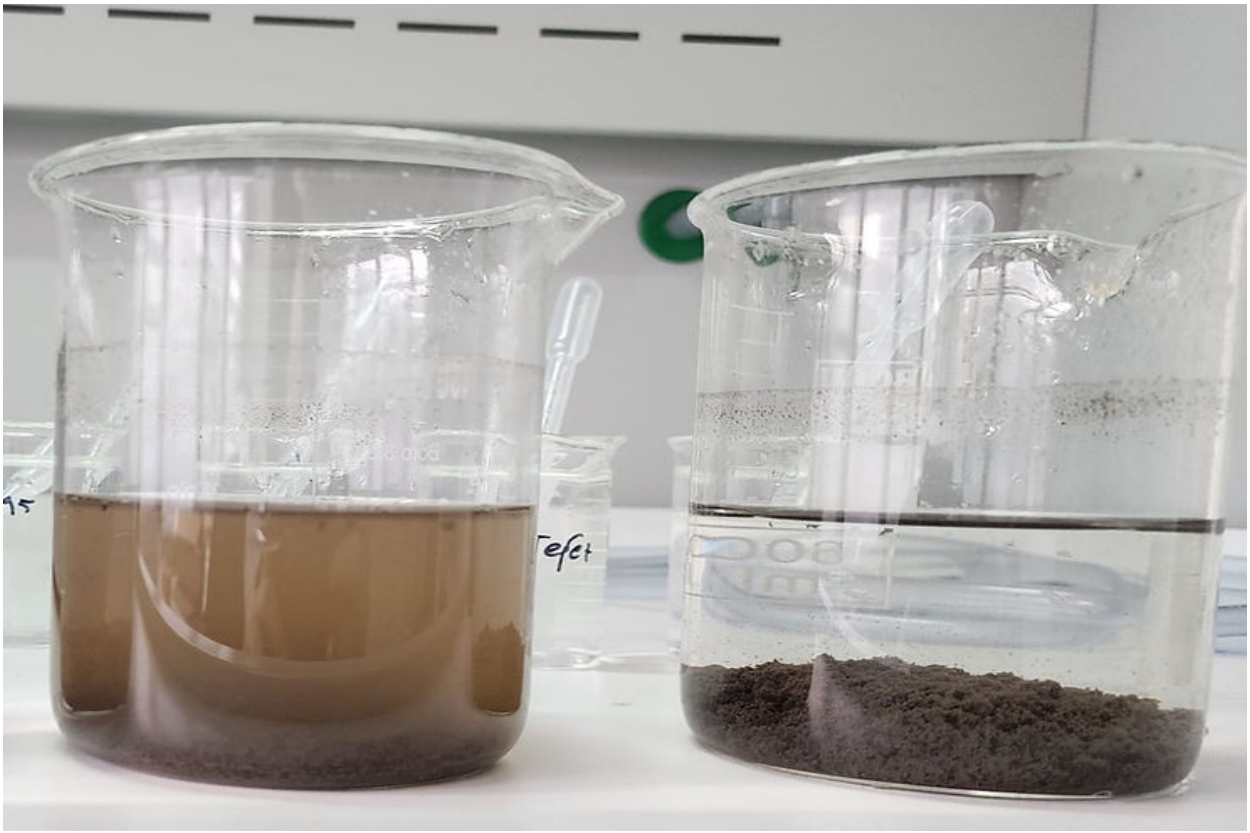


Рисунок 2 – Процесс флокуляции [3]

Флокулянты обычно применяются для активации коагулянтов, что позволяет увеличить объем образующихся хлопьев, которые после выпадают в осадок. Благодаря своей высокой молекулярной массе, флокулянты способны создавать связи между микрохлопьями, превращая их в более крупные и плотные макрохлопья, которые быстрее оседают. Комбинирование двух процессов коагуляции и флокуляции позволяет существенно снизить расход коагулянта.

Флокулянты можно разделить на 3 категории:

- неорганические соединения (активная кремниевая кислота);
- синтетические полимеры;
- природные полимеры (гуаровые смолы, крахмал, альгинат натрия, а также производные целлюлозы). Они отличаются высокой безопасностью, но их способность к флокуляции ограничена.

Это самый широко применяющиеся вещества для очистки воды, которые эффективно удаляют примеси даже в небольших количествах и без использования коагулянтов.

Чтобы ускорить процесс распределения флокулянтов в жидкость, применяют разбавленные растворы и активно перемешивают смесь с помощью специальных устройств, что позволяет снизить расход флокулянта примерно на треть.

К основным достоинствам использования растворов флокулянтов для очистки воды относят следующие факторы:

- ускорение процесса осаждения, придание жидкости прозрачности;
- сокращение продолжительности процедуры фильтрации, что позволяет снизить затраты при значительных объемах;

- продление эксплуатационного срока фильтрующих систем за счет удаления крупных загрязнений;
- отсутствие влияния на показатель pH обрабатываемой субстанции;
- частичное удаление вирусов, бактерий, водорослей;
- повышение эффективности процедуры на 30 % по сравнению с аналогичными методами.

Рассматривая оба приведенных выше метода очистки воды, можно подытожить, что и коагуляция, и флокуляция представляют собой обыкновенные процессы, однако они имеют множество отличий. К примеру, коагуляция – это химический процесс, и он предполагает свертывание. Коагулянты – это соли, обычно распадающиеся на заряды разного потенциала. В то время как флокуляция – это физический процесс, обеспечивающий слипание частиц, а затем образование осадка. Флокулянты – обычно полимеры, преобразующие частицы в более крупные хлопья. Хотя флокуляция и ускоряет процесс очистки воды, однако для этого необходимо постоянное помешивание, когда коагуляция происходит. Как только коагулянт будет добавлен в воду.

Заключение

В энергетике и промышленности практически всегда используется очистка с помощью физико-химических методов. В сточных водах нередко образуются нерастворимые примеси и их нельзя устранить с помощью других методов. Запускаемые в эксплуатацию очистительные сооружения имеют сравнительно небольшие размеры и процесс очистки полностью автоматизирован. Методы хороши тем, что они работают как по отдельности, так и в сочетании с другими видами очисток и друг с другом. В среднем процесс имеет достаточно большую эффективность. Среди таких эффективнейших методов выступают флокуляция и коагуляция, которые способны очистить воду от тонкодисперсных трудноудаляемых примесей.

Литература

1. Физико химическая очистка сточных вод: основные методы и их суть. [Электронный ресурс] / Физико химическая очистка сточных вод: основные методы и их суть. – Режим доступа: https://rcycle.net/stochnye-vody/ochistka/fiziko-himicheskij-metod /. – Дата доступа: 17.09.2022.

2. Физико-химические основы процессов очистки воды: учебное пособие / А.Ф. Никифоров, А.С. Кутергин, И.Н. Липунов [и др.]. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 164 с.

3. Что такое флокулянт? С какой целью и где он используется? [Электронный ресурс] / Что такое флокулянт? С какой целью и где он используется? – Режим доступа: https://www.ncc.com.tr/ru/post /. – Дата доступа: 23.02.2023.

УДК 621.438

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГТУ НА ПРИМЕРЕ ГРОДНЕНСКОЙ ТЭЦ-2
ENERGY AND ECONOMIC EFFICIENCY OF GTU ON THE EXAMPLE OF GRODNO TPS-2

И.Г. Черенкевич, М.В. Горбунов
Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
I. Cherenkevich, M. Horbunov
Supervisor – V. Kravchenko, Candidate of Economic Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В статье рассматривается газотурбинная установка 120МВт, приведены сравнительные технико-экономические показатели Гродненской ТЭЦ-2 с ГТУ 120МВт и без.*
Abstract: *The article discusses a 120MW gas turbine installation, provides comparative technical and economic indicators of Grodno TPS-2 with and without GTU 120MW.*
Ключевые слова: *газотурбинная установка, котел-утилизатор, топливо, электроэнергия, эффективность.*
Keywords: *gas turbine installation, waste heat boiler, fuel, electricity, efficiency.*

Введение

Газовая турбина мощностью 120 МВт используется в энергетике для производства электроэнергии. Рассмотрим установку газотурбинной установки (далее – ГТУ) на примере Гродненской ТЭЦ-2. Проект был осуществлен с использованием кредитных средств, предоставленных Экспортно-импортным банком Индии, а поставка оборудования выполнена индийской компанией. Bharat Heavy Electricals LTD.

Основная часть

ГТУ играют ключевую роль в современной энергетике благодаря своей высокой эффективности и экологичности. Оптимизация ГТУ становится все более актуальным вопросом. Газовая турбина извлекает энергию из процесса сгорания топлива в специальной камере. ГТУ использует высокоскоростные газовые потоки под давлением для приведения в движение, аналогично тому, как это делается в паровых турбинах (рис. 1).

В отличие от паротурбинных установок (ПТУ), мощность газотурбинных установок составляет всего 30-50 % от мощности турбины. Увеличение доли мощности возможно путем повышения температуры газа, который поступает перед турбиной, или понижением температуры воздуха, входящего в компрессор. Вначале происходит увеличение работы, связанной с расширением газа в турбине, в тоже время – снижение усилий, необходимых для сжатия воздуха в компрессоре. Эти методы способствуют увеличению доли вырабатываемой мощности. Мощность газотурбинного устройства также зависит от аэродинамических характеристик его компонентов – компрессора и

турбины. Чем меньше аэродинамические потери, тем выше мощность газовой турбины. Эффективность ГТУ, по сравнению с другими тепловыми двигателями, в основном проявляется при высоких температурах газов и оптимальной экономичности как турбины, так и компрессора. Поэтому газотурбинные двигатели, обладающие более простым принципом функционирования, начали использовать в промышленности позже других типов тепловых аппаратов, лишь после достижения прогресса в области жаропрочных материалов и накопления знаний в аэродинамике турбомашин. Название «турбина» происходит от латинского слова «turbineus», что переводится как «вихревое движение», или «turbo», что означает «волчок». Турбина представляет собой тяговое устройство, которое преобразует кинетическую энергию потока газа, получаемую из потенциальной энергии сгоревшего топлива, в механическую энергию, передаваемую на вал машины [2].

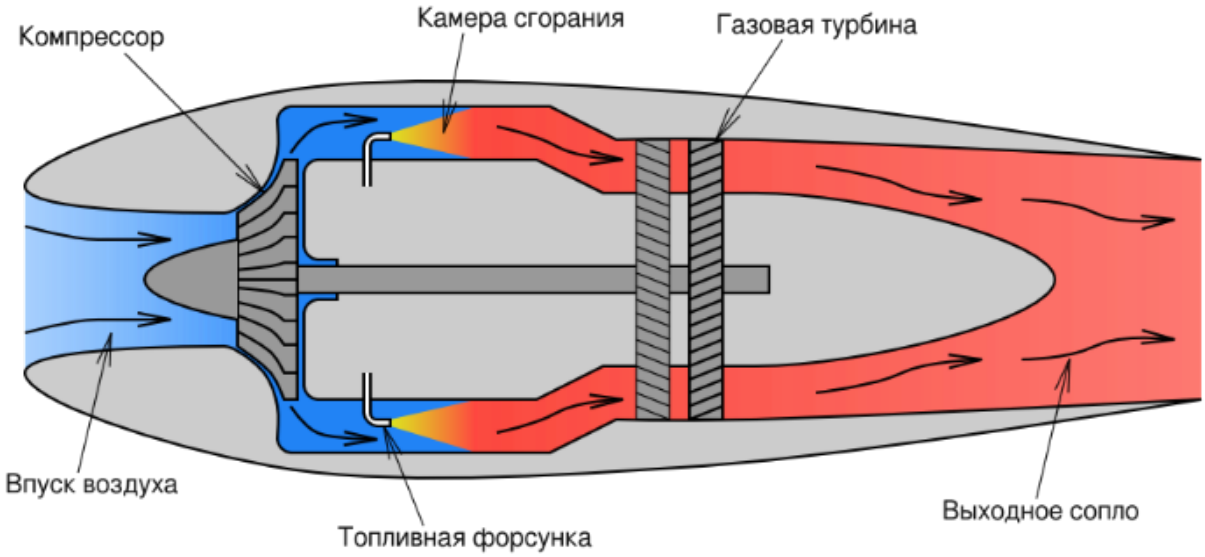


Рисунок 1 – Движение газов под давлением [1]

В состав установки входит газовая турбина мощностью 121,7 МВт и двухбарабанный котел-утилизатор с дожигающим устройством и со встроенным газоводяным подогревателем сетевой воды для утилизации тепла уходящих газов.

В ходе переоборудования были произведены:

- установлена газовая турбина мощностью 120 МВт;
- установлен котёл-утилизатор, предназначенный для работы с паром двух контуров: I – P=13,7 МПа, T=550 °C, G =206 т/час, II – P=1,3 МПа, T=280 °C, G =28 т/час. Котел оснащен газовым подогревателем сетевой воды мощностью 27 Гкал/ч, который обеспечивает снижение температуры дымовых газов не более 120°C. В процессе работы было затрачено минимально возможное количество природного газа, требуемого для нагрева пара в первом контуре. Подсоединение котла-утилизатора к первому контуру осуществляется к паровой магистрали совместно с энергетическими котлами, которые имеют параметры P=13,7 МПа и T=550 °C. Второй контур подключается к общестанционным коллектору пара с давлением 1,3 МПа, а по сетевой воде происходит

соединение с трубопроводами, находящимися после бойлерной установки. Питание котла-утилизатора для I контура берётся из коллектора питательной воды, а для II контура – от всасывающего коллектора с низким давлением, по сетевой воде – от трубопроводов после насосной установки;

- установлен генератор мощностью 130 МВт и напряжением 10 кВ с воздушным охлаждением;
- выполнена реконструкция газораспределительной станции, с добавлением отдельного газопровода к дожимному компрессору газотурбинной установки.

В таблице 1 приведены сравнительные технико-экономические показатели Гродненской ТЭЦ-2 с установкой ГТУ и без установки ГТУ.

Связь газотурбинной установки с технологическими системами эксплуатируемой части ТЭЦ осуществляется по пару, питательной и сетевой воде. Для питания контура низкого давления, насосы подают питательную воду из всасывающего коллектора с параметрами Р=0,6 МПа, t=158 ºС. Чтобы снизить температуру дымовых газов, в системе предусмотрен газовый подогреватель сетевой воды. Вода из сети подается к газовому нагревателю от коллектора сетевой воды, который направляет её к подогревателям ПСВ-315-3-23 на станциях №№ 3 и 4. Сетевая вода после газового подогревателя направляется в коллектор сетевой воды после подогревателей сетевой воды ПСВ-315-3-23 ст. №№ 3,4. Для поддержания температуры сетевой воды до газового подогревателя постоянной, устанавливаются насосы рециркуляции сетевой воды типа НКу-90. Газоснабжение ГТУ осуществляется после дожимной компрессорной станции.

Топливный газ по трубопроводу с давлением 2,7 МПа и температурой 60 °С по эстакаде подается в помещение газовой арматуры ГТУ. В помещении газовой арматуры размещается отключающая арматура, расходомерное устройство, газовые фильтры и отсечной клапан. Из помещения газовой арматуры газ поступает непосредственно к газовому блоку арматуры ГТУ и далее на форсунки.

Таблица 1 – Сравнительные технико-экономические показатели

№ п/п	Показатель	Ед. изм.	Без ГТУ	с ГТУ-120 МВт
1.	Электроэнергия			
1.1.	Общая выработка	млн. кВт·ч	854,5	1740,6
1.2.	Годовая выработка электроэнергии ПТ	млн. кВт·ч	854,5	804,5
1.3.	Годовая выработка электроэнергии ГТУ	млн. кВт·ч	–	936,1
1.4.	Потребление электроэнергии на с/н	млн. кВт·ч	105,4	168,9
1.5.	Годовой отпуск электроэнергии	млн. кВт·ч	749,1	1571,7
2	Тепловая энергия			
2.1	Годовой отпуск ТЭ	тыс. Гкал/год	2900	2900
3.	Топливо			
3.1	Годовой расход условного топлива на ТЭЦ	тыс. т у.т./год	630,8	765,2
3.2	Годовой расход условного топлива на ГТУ	тыс. т у.т./год	–	242,9
3.3	Годовой расход топлива на котлы	тыс. т/год	630,8	522,3
4.	Распределение топлива			

4.1	Расход условного топлива на ЭЭ	тыс. т у.т./год	137,8	276,5
4.2	Расход условного топлива на ТЭ	тыс. т у.т./год	493,0	488,7
5.	Удельный расход условного топлива			
5.1	На отпуск ЭЭ	г у.т./(кВт·ч)	183,3	176,0
5.2	На отпуск ТЭ	кг у.т./Гкал	168,5	168,5

Топливный газ по трубопроводу с давлением 2,7 МПа и температурой 60 °С по эстакаде подается в помещение газовой арматуры ГТУ. В помещении газовой арматуры размещается отключающая арматура, расходомерное устройство, газовые фильтры и отсечной клапан. Из помещения газовой арматуры газ поступает непосредственно к газовому блоку арматуры ГТУ и далее на форсунки.

Газ на дожигающее устройство котла-утилизатора поступает с параметрами Р=0,09 МПа и t=20 °С из существующего общестанционного коллектора газа. Газовая аппаратура, в которую входят: отключающая арматура, отсечной клапан, фильтры, расходомерное устройство, регулятор давления газа, располагаются в котельном отделении на площадке обслуживания котла-утилизатора. Сброс отработанных дымовых газов осуществляется в индивидуальную стальную дымовую трубу высотой 60 м, диаметром 5,5 м. Непрерывная продувка барабанов котла-утилизатора осуществляется во вновь устанавливаемый сепаратор непрерывной продувки типа СП-1,5У. Периодическая продувка и аварийный слив с барабанов котла-утилизатора осуществляется в существующий барботер парового котла № 5.

Заключение

Преимущество газового устройства по сравнению с паровыми или парогазовыми турбинами является постоянство агрегатного состояния рабочего вещества на протяжении всего цикла. Это преимущество позволяет им взаимодействовать при более высоких температурах, в следствии чего, способствует повышению КПД.

Данная модернизация позволяет уменьшить расходы на топливо более 140 тысяч тонн условного топлива ежегодно, что эквивалентно 123 миллионам кубометров газа. Снизились удельные расходы топлива на выработку электроэнергии, повысилась надежность электроснабжения. В Гродненской энергосистеме доля электроэнергии, вырабатываемая ТЭЦ-2, повысилась от 20 до 35 процентов.

Таким образом, предлагается использовать полученный опыт реконструкции с применением ГТУ для других ТЭЦ энергосистемы страны.

Литература

1. Электротехнологии, аккумуляторы и батареи [Электронный ресурс] / Электротехнологии, аккумуляторы и батареи. – Режим доступа: https://konstantin-morenko-2.gitbook.io/electrical-technologies-and-batteries/applications/elektroprivod-osnovy/teplovye-dvigateli/gas-turbines /. – Дата доступа: 08.10.2024.

2. Газотурбинные установки: учеб. для вузов / Б.П. Поршаков. – М.: Недра, 1992. – 238 с.: ил.

УДК 681.121.4

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ И ВИХРЕВЫХ РАСХОДОМЕРОВ-СЧЕТЧИКОВ, ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

ENERGY COMPARISON OF ULTRASONIC AND VORTEX FLOW METERS, THEIR APPLICATION IN HEAT POWER ENGINEERING

В.А. Фомина, В.В. Куделко
Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
V. Fomina, V. Kudelko
Supervisor – V. Kravchenko, Candidate of Economic Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: *В статье рассматривались преимущества и недостатки ультразвукового (Proline Prosonic Flow I 400) и вихревого (SITRANS FX 300) расходомеров-счетчиков, их устройство и способы применения в теплоэнергетике.*

Abstract: *The article discusses the advantages and disadvantages of ultrasonic (Proline Prosonic Flow I 400) and vortex (SITRANS FX 300) flow meters, their design and methods of application in the heat power industry.*

Ключевые слова: *расход, вихрь, звуковая волна, вязкость, трубопровод, вибрации, поток.*

Keywords: *flow, vortex, sound wave, viscosity, pipeline, vibrations, flow.*

Введение

Энергетика – это неотъемлемая часть жизни каждого на Земле. Человек, который не работает с энергией и ее преобразованием, все равно тесно связан с этой сферой. Время идет, предприятия создаются, растут и расширяются. С каждым днем возникает острая необходимость в новом оборудовании, в инновациях и модернизации «старого» оснащения. Это касается не только главных составляющих, но и вспомогательного оборудования, которое упрощает работу любой станции, будь то электрическая или тепловая. Одним из видов вспомогательной техники являются расходомеры. Изучение расходомеров поможет специалистам выбрать оптимальное оборудование для их предприятия.

Основная часть

Расходомеры-счетчики постепенно обретают популярность и распространяются во все отрасли. Они относятся к системам измерения и контроля потоков газов и жидкостей и чаще всего применяются в местах, где располагаются трубопроводы. Существует несколько типов расходомеров: электромагнитные, ультразвуковые, вихревые, кориолисовы, перепада давления, тахометрические, ядерно-магнитные и другие. В данной статье будет приведено сравнение нескольких моделей счетчиков. Первый расходомер ультразвукового типа (Proline Prosonic Flow I 400), а второй – вихревой (SITRANS FX 300). Выбранные приборы внешне отличаются между собой, хоть и имеют схожие

функции. На рисунке 1 представлен внешний вид приборов. Слева расположен расходомер-счетчик ультразвуковой, справа – вихревой.



Рисунок 1 – Ультразвуковой и вихревой расходомеры-счетчики [1]

Принцип работы ультразвукового расходомера-счетчика Proline Prosonic Flow I 400.

Данный прибор был введен в эксплуатацию недавно (май 2024) и за такой короткий срок успел себя зарекомендовать как высокоточное, надежное и простое в использовании устройство. Расходомер работает на основе метода времени пролета (Time-of-Light). Эта технология помогает измерять скорость потока газа или жидкости с наиболее высокой точностью. Сам прибор представляет собой два датчика (ультразвуковых). Один из них дает звуковую волну, а второй ее принимает. Данные датчики находятся на противоположных сторонах трубопровода.

Волна, проходя от одного датчика к другому, продвигается и против направления потока, и по направлению. Счетчик-расходомер производит замеры времени, за которое волна пройдет весь путь.

Формула для вычисления средней скорости v [2]:

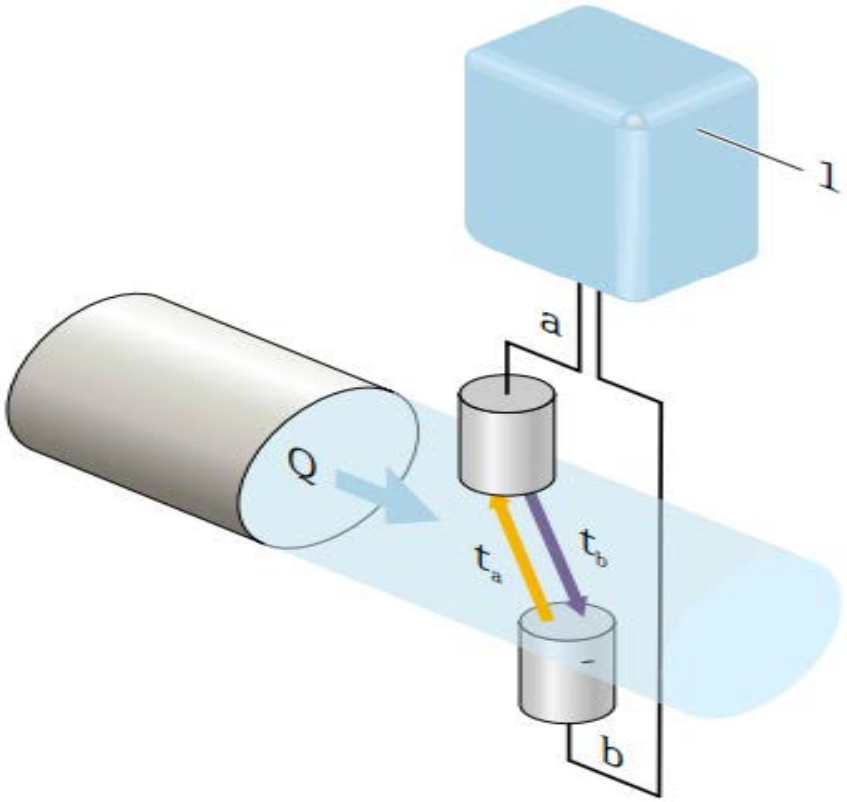
$$\mathrm{v} = (\frac{L}{\Delta t_1} - \frac{L}{\Delta t_2})/2, \quad (1)$$

где L – расстояние между датчиками, м;

Δt_1 – время прохождение звуковой волны по направлению потока, °С;

Δt_2 – время прохождения волны против потока.

Прибор считывает изменения температуры и давления. С помощью этого можно вносить правки в значения, чтобы получить максимально точные результаты. Наглядно принцип работы большинства ультразвуковых расходомеров-счетчиков показан на рисунке (рис. 2).



1 – преобразователь; a – датчик; b – датчик; Q – объемный расход; Δt – разница во времени прохождения сигнала

Рисунок 2 – Принцип работы ультразвукового расходомера-счетчика [1]

Принцип работы вихревого расходомера-счетчика SITRANS FX300.

Расходомеры данного типа основаны на принципе измерения вихрей. Образование вихрей происходит при прохождении газа/жидкости через препятствие любого вида (чаще всего цилиндрическое тело, так как, в основном, они расположены на трубопроводах). Поток проходит через препятствие, за ним начинается образование множества вихрей. Работает принцип чередования: один вихрь образуется с одной стороны препятствия, а затем – с обратной. Частота в данном случае играет важную роль: количество вихрей будет увеличиваться, когда газ или жидкость повышает свою скорость движения. Это явление – эффект Кардена. Расходомер SITRANS FX300 оборудован датчиками, которые фиксируют частоту вихрей. Датчики ставят пьезоэлектрические, либо те, что преобразовывают механические колебания в сигнал (электрический). Полученный сигнал анализирует микропроцессор, который встроен в счетчик, и преобразовывает в значение расхода.

Формула для вычисления средней скорости потока в вихревом расходомере [2]:

$$V = \frac{Q}{A}, \tag{2}$$

где V – средняя скорость потока, м/с;

Q – объемный расход, $м^3/с$;

A – площадь поперечного сечения трубопровода, $м^2$.

Наглядно принцип работы вихревого расходомера-счетчика можно увидеть на рисунке 3.

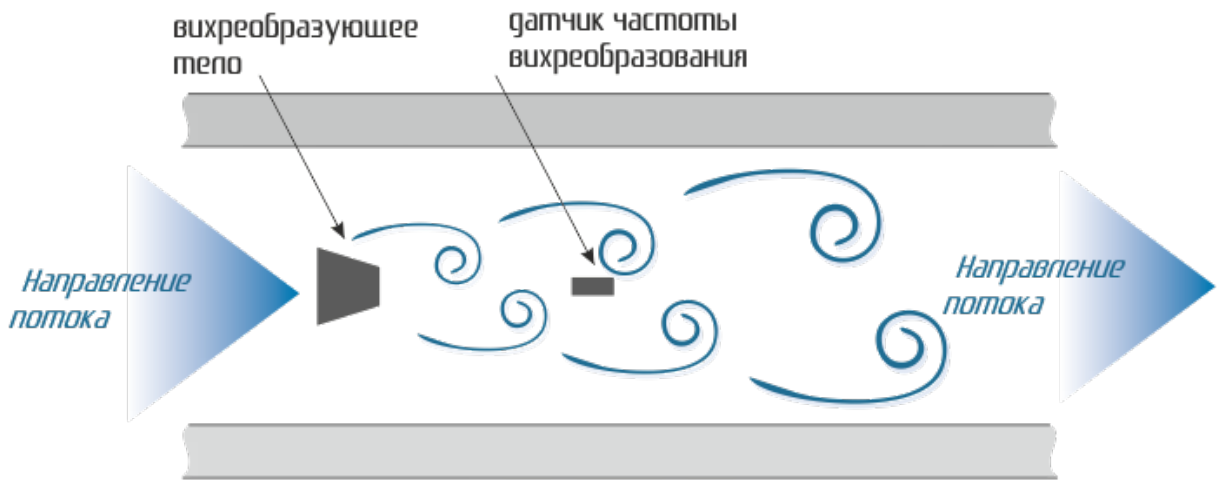


Рисунок 3 – Принцип работы вихревого расходомера-счетчика [3]

Преимущества и недостатки работы ультразвукового и вихревого расходомеров.

У каждого типа и вида расходомера, марки, модели, есть и сильные, и слабые стороны. На примере двух расходомеров рассмотрим и проанализируем преимущества и недостатки [4].

Преимущества:

- Простота конструкции. Механические детали в ультразвуковых счетчиках отсутствуют. Это означает, что количество поломок стремительно падает, как и отпадает необходимость в регулярном обслуживании. В вихревых расходомерах наличие механических компонентов хоть и минимально, но все же может привести к износу и дополнительным расходам;
- Высокая точность измерений. В любых условиях потока, даже при колебаниях, смене температур, точность измерений не снизится ни в одном из представленных типов счетчиков. Это позволяет использовать ультразвуковой и вихревой счетчики-расходомеры даже в критически важных ситуациях;
- Proline Prosonic Flow I 400 универсален для всех типов жидкостей. Он работает без изменений даже с агрессивными, вязкими, коррозионными жидкостями или газами, так как он сделан из специальных материалов, которые не чувствительны к сложным условиям. Именно поэтому он часто используется в энергетике. Вихревые расходомеры сильнее устойчивы при работе в агрессивных средах, включая жидкости и с низкой, и с высокой вязкостью. Именно поэтому они считаются более подходящими для работы с грязными средами.

Недостатки:

- Чувствительность к загрязнениям. При некоторых ситуациях точность

измерений может снизиться. Например, ультразвуковые приборы чувствительны к загрязнениям. Наличие пузырьков или твердые осадки в жидкости могут влиять на точность замера. Вихревые счетчики, в свою очередь, хуже производят измерения при низких скоростях потока или турбулентности. Возникает проблема – учесть это при выборе места установки.

- Диапазон давления и температуры. Имеется ограничения по температуре и давлению у обоих типов расходомера. При выборе прибора необходимо учитывать характеристики, которые должны соответствовать тем, что обеспечат успешную работу оборудования, а в конечном итоге и предприятия.
- Стоимость. Ультразвуковые расходомеры дороже вихревых в большинстве случаев. Это может вызвать проблемы при ограниченном бюджете.

Применение расходомеров-счетчиков в тепловой энергетике

В промышленной, тепловой энергетике ультразвуковые и вихревые расходомеры необходимы для контроля процессов, их оптимизации, повышения коэффициента полезного действия (КПД) (рис. 4). Чаще всего их применяют:

- измерение расхода пара (в паровых турбинах, котлах);
- контроль теплоносителей (в системах отопления/охлаждения для контроля расхода воды или масла);
- измерения расхода топлива (помощь в управлении процесса сжигания);
- мониторинг отходящих газов (для соблюдения норм экологии измеряется расход выходящих дымовых газов).

В последнее время наблюдается тенденция внедрения цифровых технологий в счетчики. Это улучшает их производительность, уменьшает затраченное время на контроль, монтаж и наладку.

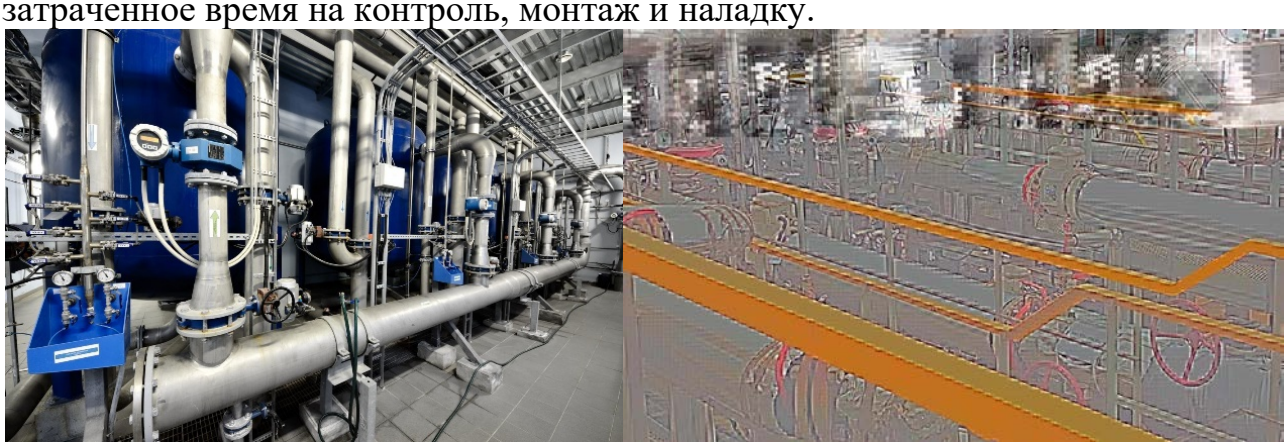


Рисунок 4 – Применение расходомеров-счетчиков на предприятиях [5]

Заключение

Проанализировав представленную информацию, можно сделать вывод о важности наличия расходомеров. Это вспомогательные приборы, которые значительно упростят работу всех предприятий. Счетчики-расходомеры используются не только в сфере энергетики, но и в химической, нефтяной, пищевой отраслях. Они играют важную роль в обеспечении эффективного учета ресурсов. Специалисты, проанализировав принцип работы, слабые и сильные

стороны, смогут сделать оптимальный и обоснованный выбор при проектировании систем расхода и учета на рабочем объекте. Правильный выбор счетчика-расходомера позволит увеличить шансы на успех и в экономическом плане.

Литература

1. Техническое описание Proline Prosonic Flow I 400 Расходомер-счетчик ультразвуковой [Электронный ресурс] / Техническое описание Proline Prosonic Flow I 400. – Режим доступа: https://bdih-download.endress.com/files/DLA/005056A500261EEF8EA288B3E4C586BC/TI01567DRU_0224-00.pdf /. – Дата доступа: 14.10.2024.

2. К79 Расходомеры и счетчики количества веществ / П.П. Кремлевский. – Издательство СПб.: Политехника, 2002. – 409 с.: ил.

3. Расходомеры вихревые SITRANS FX 300 [Электронный ресурс] / Расходомеры вихревые SITRANS FX 300. Описание типа средств измерений. – Режим доступа: https://kiptm.ru/images/Production/siemens/sitrans_f_x/sitrans-FX-300-opisanie-tipa.pdf /. – Дата доступа: 10.10.2024.

4. Расходомеры малых расходов для схем промышленной автоматики / В.М. Левин. – Издательство: Рипол Классик, 2010. – 81 с.

5. Расходомеры воды (водомеры) в промышленности [Электронный ресурс] / Расходомеры воды (водомеры). – Режим доступа: https://izmerkon.ru/podderzhka/publikaczii/rasxodomeryi-vodyi.html /. – Дата доступа: 10.10.2024.