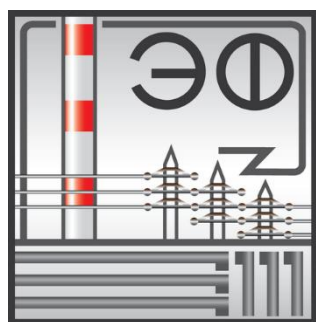


Министерство образования Республики Беларусь

Белорусский национальный технический  
университет

Энергетический факультет

# АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ – 2023



Материалы студенческой  
научно - технической  
конференции

*Электронное научное  
издание*

Минск 2023

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 д к о л л е г и я:

Пономаренко Е.Г. (пред.), Карницкий Н.Б., Седнин В.А.,  
Дерюгина Е.А., Манцера Т.Ф., Новиков С.О., Потачиц Я.В.

Р е ц е н з е н т

Директор филиала «Учебный центр подготовки, повышения  
квалификации и переподготовки кадров энергетики»  
РУП «Минскэнерго»  
к.т.н., доцент Саранцев В.В.

В сборник включены материалы студенческой научно-технической конференции по секциям: «Электрические системы»; «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, 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

1. СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ	4
2. СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ	50
3. СЕКЦИЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА	125
4. СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОНИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА	268
5. СЕКЦИЯ ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ	431

**СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ****ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ****УМНЫЕ СЕТИ В БЕЛАРУСИ: УСТОЙЧИВОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ БУДУЩЕЕ**

В.В. Гончарук, А.А. Петрович

Научный руководитель – Ю.В. Суходолов, к.т.н., доцент

**РОТОРНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ**

А.Д. Касач

Научный руководитель – Ю.В. Суходолов, к.т.н., доцент

**СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ПО ЧАСТОТЕ**

П.Г. Балаш, А.М. Наумец, Е.В. Оболевич

Научный руководитель – А.А. Волков, старший преподаватель

**ТЕСТОВАЯ СХЕМА SIMPLIFIED 14-GENERATOR AUSTRALIAN POWER SYSTEM. ПАРАМЕТРЫ, РАСЧЕТ РЕЖИМА И ОСОБЕННОСТИ**

Е.В. Драневский, И.Д. Винников

Научный руководитель – А.А. Волков, старший преподаватель

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТУРБИНЫ И РЕГУЛЯТОРА ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ**

Т.Д. Ковалева

Научный руководитель – А.А. Волков, старший преподаватель

**ПРИМЕНЕНИЕ ФОРСИРОВКИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ**

Н. Лукас, Г.С. Скурат

Научный руководитель – А.А. Волков, старший преподаватель

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ НА ДИНАМИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ**

В.В. Гончарук, А.А. Петрович

Научный руководитель – А. А. Волков, старший преподаватель

**ТЕСТОВАЯ СХЕМА IEEE RTS-96. ПАРАМЕТРЫ, РАСЧЕТ РЕЖИМА И ОСОБЕННОСТИ**

Е.В. Радюк, М.А. Шешко

Научный руководитель – А.А. Волков, старший преподаватель

**МЕТОДИКА ОБНАРУЖЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЯ КАБЕЛЯ – ПРОЖИГ**

В.Н. Коршун, В.С. Вадейко

Научный руководитель – Д.Г. Ковцова, ассистент



УДК 621.311

**УМНЫЕ СЕТИ В БЕЛАРУСИ: УСТОЙЧИВОЕ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ БУДУЩЕЕ  
SMART GRIDS IN BELARUS: A SUSTAINABLE ENERGY FUTURE**

В.В. Гончарук, А.А. Петрович

Научный руководитель – Ю.В. Суходолов, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Goncharuk, A. Petrovich

Supervisor – Yu. Sukhodolov, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** рассмотрено развитие умных сетей в Республике Беларусь и их роль в обеспечении устойчивого энергетического будущего.*

***Abstract:** considered the development of smart grids in the Republic of Belarus and their role in ensuring a sustainable energy future.*

***Ключевые слова:** умные сети, энергетика, модернизация, энергоэффективность.*

***Keywords:** smart grids, energy, modernization, energy efficiency.*

### **Введение**

Сегодняшний мир стал все более зависимым от энергии, и с ростом населения и экономического развития спрос на энергию продолжает возрастать. Однако традиционные энергетические системы сталкиваются с рядом проблем, таких как ограниченные ресурсы, растущие затраты на производство и распределение энергии, а также негативное воздействие на окружающую среду. Становится все труднее управлять большим количеством участников сети и поддерживать баланс в энергосистеме. Это требует оценки и анализа потока данных. В связи с этим, на передний план выходят новые технологии, такие как умные сети.

Умные сети представляют собой сетевую инфраструктуру, оснащенную передовыми технологиями связи, контроля и регулирования, которые позволяют эффективно управлять производством, передачей и потреблением электроэнергии. Данная технология базируется на формировании единой автоматизированной системы, которая в реальном времени позволяет контролировать и управлять режимами работы ЛЭП, включая выработку, передачу и потребление электроэнергии. «Умные» электрические сети в автоматическом режиме оперативно реагируют на изменения различных параметров и позволяют осуществлять бесперебойное электроснабжение с высокой экономической эффективностью.

### **Основная часть**

Расширение энергетической инфраструктуры и энергетическая эффективность стали приоритетными задачами во многих странах, и Республика Беларусь не является исключением. В настоящее время Беларусь активно работает над развитием умных сетей и внедрением передовых технологий в энергетическую систему. Государственная политика в области энергетики

сосредоточена на повышении энергоэффективности, снижении нагрузки на энергосети и увеличении доли возобновляемых источников энергии. В этом контексте умные сети играют ключевую роль.

В соответствии со стратегией развития энергетики Беларуси до 2035 года, умные сети являются одним из самых приоритетных направлений развития энергетической системы [3]. Стратегия выделяет необходимость модернизации энергетической инфраструктуры и внедрения передовых технологий для повышения энергоэффективности и надежности энергоснабжения. Особый акцент будет сделан на внедрении активно-адаптивных интеллектуальных умных сетей, в том числе высокоинтегрированных интеллектуальных системообразующих и распределительных электрических сетей, цифровых подстанций, автоматизированных систем управления технологическими процессами тепловых сетей, цифровых подстанций и автоматизированных систем контроля и учета тепловой и электрической энергии.

24 февраля 2021 г. Правительством Республики Беларусь утверждена (постановление Совета Министров Республики Беларусь от 24.02.2021 № 103) Государственная программа «Энергосбережение» на 2021 – 2025 годы. В рамках данной программы осуществляются мероприятия по внедрению умных сетей. Программа направлена на сокращение потребления энергии, оптимизацию энергетических систем и внедрение передовых технологий [4].

Национальная энергетическая компания «Белэнерго» играет ключевую роль в осуществлении этой стратегии. Они сотрудничают с ведущими мировыми поставщиками технологий и внедряют передовые системы управления и мониторинга электросетей. 28 сентября на базе ГПО «Белэнерго» состоялась онлайн-пресс-конференция по теме «Перспективы развития электрических сетей в связи с возрастающим спросом по использованию электрической энергии. Цифровизация электроэнергетики». На ней рассказывалось о наиболее значимых проектах в части цифровизации в энергетике [1]. Одним из таких проектов является система автоматического регулирования частоты и перетоков мощности (САРЧМ). Цель проекта обеспечить автоматическое поддержание в заданных пределах перетоков активной мощности по межгосударственным линиям электропередачи и по наиболее ответственным внутренним сечениям, а также для автоматического регулирования частоты при работе энергосистемы в изолированном режиме. Центральная координирующая система, расположенная в ГПО «Белэнерго», в режиме реального времени будет рассчитывать необходимую мощность генерирующего оборудования и выдавать на станции, подключенные к системе, требуемые задания по выдаче мощности.

Еще одним масштабным проектом является создание цифровой платформы технологического управления объектами энергосистемы (АСТУ). Начата работа по разработке требований к единой информационной модели (Common Information Model, CIM) электрической сети на основе открытых стандартов Международной электротехнической комиссии. В результате появятся четкие требования к внедряемому программному обеспечению по его взаимодействию и интеграции в единое информационное пространство для обеспечения прозрачного обмена информацией.

Также в Белорусской энергосистеме продолжают работы по внедрению единой автоматизированной географической информационной системы (ЕАГИС). ЕАГИС создается с целью повышения эффективности управления энергосистемой путем интеграции актуальной картографической, схематической, паспортной и иной информации об электрических сетях РУП-облэнерго в рамках центральной аппаратно-программной платформы, организации визуализации собранных пространственных данных с привязкой к ним дополнительных сведений из внешних семантических баз данных. В энергоснабжающих организациях ГПО «Белэнерго» проводится замена мозаичных диспетчерских щитов на системы коллективного отображения типа «видеостена», позволяющие отображать большой объем и обеспечивать выделение необходимой информации, функциональную увязку, структурирование, эффективный поиск и навигацию, а также интеграцию данных различных информационных уровней.

В рамках развития умных сетей в Беларуси было проведено обновление счетчиков электроэнергии на счетчики умных сетей. Эти счетчики позволяют потребителям отслеживать свое энергопотребление в режиме реального времени и принимать осознанные решения по оптимизации потребления [2].

Внедрение умных сетей в Беларуси предоставляет ряд значительных преимуществ:

- умные сети позволяют оптимизировать использование электроэнергии, идентифицировать потенциальные потери энергии и предпринимать меры по их снижению. Это помогает сократить энергозатраты и повысить энергоэффективность в стране;
- системы мониторинга и управления умных сетей позволяют оперативно обнаруживать и устранять сбои в энергоснабжении;
- умные сети позволяют эффективно интегрировать возобновляемую энергию в энергетическую систему. Это помогает сократить выбросы парниковых газов и уменьшить зависимость от источников энергии, основанных на ископаемых топливах;
- умные сети предоставляют более точные данные о потреблении энергии, что позволяет потребителям принимать осознанные решения относительно своего потребления и вносить корректировки для более эффективного использования энергии.

Несмотря на значительные шаги в развитии умных сетей, Беларусь сталкивается с некоторыми вызовами:

- развитие умных сетей требует совершенствования энергетической инфраструктуры, включая модернизацию существующих сетей и установку новых устройств и оборудования, что требует значительных инвестиций;
- с увеличением числа подключенных устройств и обмена данных в умных сетях возрастает угроза кибератак. Беларуси необходимо уделить особое внимание защите умных сетей от потенциальных киберугроз;
- для успешной реализации умных сетей в Беларуси необходимо

разработать и внедрить соответствующую нормативно-правовую базу. Это включает в себя разработку стандартов и правил, регулирующих взаимодействие устройств, защиту данных и конфиденциальность потребителей.

### **Заключение**

Внедрение умных сетей в Республике Беларусь представляет собой один из самых перспективных проектов, направленный на совершенствование энергетической инфраструктуры, улучшение энергоэффективности и повышение надежности энергоснабжения. Можно сказать, что развитие умных сетей в Беларуси находится на начальной стадии, но уже приняты шаги для их развития и внедрения. Беларусь активно работает над модернизацией существующих сетей, установкой умных счетчиков и систем мониторинга, а также интеграцией возобновляемых источников энергии.

### **Литература**

1. В ГПО «Белэнерго» состоялась пресс-конференция по вопросам развития электрических сетей и цифровизации [Электронный ресурс]. / БЕЛЭНЕРГО. – Режим доступа: [https://www.energo.by/content/infocenter/news/v-gpo-belenergo-sostoyalas-press-konferentsiya-po-voprosam-razvitiya-elektricheskikh-setey-i-tsifrov\\_\\_11910/](https://www.energo.by/content/infocenter/news/v-gpo-belenergo-sostoyalas-press-konferentsiya-po-voprosam-razvitiya-elektricheskikh-setey-i-tsifrov__11910/). – Дата доступа: 11.05.2023.

2. Минскэнерго за последние четыре года установило более 500 тыс. умных счетчиков [Электронный ресурс]. / БЕЛТА. – Минск, 2020. – Режим доступа: <https://www.belta.by/regions/view/minskenergo-za-poslednie-chetyre-goda-ustanovilo-bolee-500-tys-umnyh-schetchikov-392168-2020/>. – Дата доступа: 11.05.2023.

3. Национальная стратегия устойчивого развития республики беларусь до 2035 года [Электронный ресурс]: Протокол заседания Президиума Совета Министров Республики Беларусь от 4 февраля 2020 г. № 3 // Научно-исследовательский экономический институт Министерства экономики Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://economy.gov.by/uploads/files/NSUR/NSUR-2035.pdf>. – Дата доступа: 11.05.2023.

4. О Государственной программе «Энергосбережение» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]. / Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100103>. – Дата доступа: 11.05.2023.

УДК 621.437

**РОТОРНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ  
ROTARY ENGINE**

А.Д. Касач

Научный руководитель – Ю.В. Суходолов, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Kasach

Supervisor – Yu. Sukhodolov, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** статья описывает роторные двигатели, как один из видов двигателей внутреннего сгорания. Их преимущества и недостатки. Перспективы.

**Abstract:** the article describes rotary engines as a type of internal combustion engine. Their advantages and disadvantages. The prospects.

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания, роторный двигатель.

**Keywords:** internal combustion engine, rotary engine.

**Введение**

ДВС (двигатель внутреннего сгорания) имеет огромную пользу для человека в настоящее время, так как используется в широком спектре приложений, которые улучшают и облегчают жизнь людей во всем мире. В 1823 году Сэмюэл Браун запатентовал первый двигатель внутреннего сгорания, получивший промышленное применение в Соединенных Штатах.

Существует несколько разновидностей двигателей внутреннего сгорания, которые различаются по конструкции, принципу работы, типу топлива и другим параметрам. Одним из них является роторный двигатель.

**Основная часть**

ДВС (двигатель внутреннего сгорания) – это устройство, которое преобразует химическую энергию топлива в механическую кинетическую энергию, необходимую для привода механизмов, таких как колеса, лопасти, винты и т.д. ДВС используется во многих транспортных средствах, включая автомобили, грузовики, мотоциклы, самолеты и суда.

ДВС работает за счет сжигания топлива в закрытом пространстве, которое называется камера сгорания. Смесь топлива и воздуха валится в камеру сгорания, где она сжигается, выделяя большое количество энергии в виде тепла и газов. Эти газы расширяются и выходят через выхлопную трубу, приводя в движение коленчатый вал, который транслирует энергию к оборудованию, которое приводит в действие.

ДВС может быть оборудован поршневым механизмом или ротором, которые служат для преобразования горячих газов в механическую энергию. ДВС также могут работать на различных видах топлива, таких как бензин, дизельное топливо, газ, керосин и т.д. В зависимости от типа и размеров двигателя, он может иметь различную мощность и уровень экономии.

Роторный двигатель был создан немецким изобретателем Феликсом Ваннером в 1889 году. Феликс Ваннер был автомобильным инженером и механиком,



работавшим в автомобильной компании NSU Motorenwerke, которая в период с 1957 по 1971 год выпускала автомобили с роторными двигателями. Ваннер разработал принцип работы двигателя, который заключался в том, что цилиндрический ротор двигался относительно стационарного корпуса, в котором находились расточенные канавки, образующие цилиндрическую камеру. В процессе работы двигателя топливная смесь поступала внутрь камеры, где в результате сжатия и взаимодействия с активными поверхностями ротора происходило сгорание. Первоначально, роторные двигатели вскоре после изобретения Феликсом Ваннером были применены в авиации. Некоторые из первых летательных аппаратов типа «Виноградов» и «Хопфер» были оснащены роторными двигателями. К концу 1920-х годов роторные двигатели стали применяться и в автомобильной промышленности. Роторный двигатель работает по следующей схеме. Вначале воздух втягивается в двигатель через впускной клапан, затем смесь воздуха и топлива поступает в камеру сгорания. Затем ротор начинает вращаться, сжимая смесь воздуха и топлива, которая затем поджигается свечой зажигания. Это приводит к расширению смеси и движению ротора. Отработанные газы выбрасываются через выпускной клапан.

Роторные двигатели имеют ряд преимуществ над другими типами двигателей, такими как высокая мощность и удобство монтажа в компактном корпусе. Недостатком роторных двигателей является меньший ресурс в сравнении с поршневыми двигателями и более высокие эмиссии. Однако, факторы, указанные ниже, могут изменить перспективы роторных двигателей:

- внедрение новых материалов и технологий производства может повысить эффективность роторных двигателей, обеспечивая меньший износ деталей и повышенную экономичность;
- научные исследования нацелены на использование альтернативных видов топлива, таких как водородное топливо, что также может способствовать снижению выбросов и увеличению ресурса роторных двигателей;
- благодаря корпусу меньшего размера и веса, роторные двигатели могут найти применение в сфере авиации и автомобилестроения, где легкие и компактные двигатели представляют большой интерес;
- разработки в области управления системами питания и вариативных автоматических трансмиссий придадут роторным двигателям большую гибкость и универсальность для различных условий и режимов работы;
- большие инвестиции в исследования и разработки способны улучшить потенциал роторных двигателей в перспективе.

Улучшение ресурса и конструкции роторного двигателя:

- регулярное техническое обслуживание, включающее проверку и замену изношенных деталей;
- использование качественных запчастей и материалов при ремонте или замене деталей;
- соблюдение правильного режима работы двигателя, включая рекомендации по частоте и режимам использования;
- использование специальных присадок к маслу, которые снижают износ и

- увеличивают срок службы двигателя;
- замена масла и фильтров вовремя, согласно инструкции производителя;
- использование охлаждающей жидкости и других жидкостей, соответствующих требованиям производителя;
- избегание перегрузок и экстремальных условий эксплуатации, которые могут ускорить износ и снизить ресурс двигателя;
- своевременное обращение к квалифицированным специалистам для диагностики и ремонта двигателя в случае неисправностей или отклонений в его работе;
- использование более износостойких материалов для изготовления деталей двигателя, таких как керамика, стекловолокно и титан;
- оптимизация формы и размеров ротора, что может улучшить характеристики и эффективность двигателя;
- использование более эффективных систем охлаждения и смазки, чтобы снизить нагрев и износ деталей;
- применение новых технологий производства, например, методов лазерной резки и 3D-печати, для повышения точности и качества изготовления деталей;
- улучшение системы управления и контроля за работой двигателя, с помощью современных электронных устройств, чтобы достичь максимальной эффективности и надежности;
- разработка более компактной конструкции двигателя, чтобы уменьшить его вес и объем, и обеспечить большую мобильность и применимость в различных условиях;
- установка системы отработки газов, которая снижает выброс вредных веществ в атмосферу и уменьшает нагрузку на окружающую среду;
- применение современных систем ускорения процесса зарядки и увеличения емкости аккумуляторов, что приводит к дальнейшему повышению его эффективности и производительности.

### **Заключение**

Роторные двигатели с большой вероятностью будут продолжать использоваться и развиваться в ближайшем будущем в различных промышленных секторах. Использование роторных двигателей в автомобилях продолжалось в течение 20-го века, и хотя ими несколько пренебрегали из-за высокого расхода топлива и невысокой экономичности, они продолжали применяться в спортивных машинах и легковых автомобилях. В последние годы появились некоторые роторные двигатели, которые работают на более экономичных видах топлива, таких как водород.

### **Литература**

1. Пономарев, А. А. Двигатель внутреннего сгорания / А. А. Пономарев. – СПб. : УИТМО. – 2022. – 101 стр.
2. Панова, Т. М. Технология ДВС / Т. М. Панова. – Екб. : Урал. ун-та, 2016. – 136 с.

УДК 621.311

СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ПО ЧАСТОТЕ  
FREQUENCY STATIC CHARACTERISTICS OF THE POWER SYSTEM

П.Г. Балаш, А.М. Наумец, Е.В. Оболевич

Научный руководитель – А.А. Волков, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

P. Balash, A. Naumets, E. Obolevich

Supervisor – A. Volkau, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** рассмотрены причины и последствия отклонения частоты энергосистемы от номинальной, различные типы потребителей по зависимости их мощности от частоты, необходимость учёта статических характеристик, лавина частоты.

**Abstract:** the causes and consequences of the deviation of the frequency of the power system from the nominal, various types of consumers according to the dependence of their power on frequency, the need to take into account static characteristics, and the frequency avalanche are considered.

**Ключевые слова:** статическая устойчивость, анализ системы, статические характеристики, не баланс мощностей.

**Keywords:** static stability, system analysis, static characteristics, power unbalance.

### Введение

Номинальная частота сети, наряду с номинальным напряжением, является одним из основных показателей качества электроэнергии, поэтому допустимые отклонения частоты регламентируются. Допускается кратковременная работа энергосистем с эксплуатационным отклонением частоты в нормативных пределах качества электроэнергии 0,2 Гц. Предельно допустимые отклонения частоты от номинального значения составляют 0,4 Гц.

Статические характеристики нагрузки энергосистемы по частоте являются важным параметром для эффективной работы энергосистемы. Эти характеристики позволяют определить поведение нагрузки при изменении частоты в системе.

### Основная часть

Характеристикой каждого электроприемника и потребителей в целом является потребляемая ими активная и реактивная мощность. Величина мощности потребителей зависит как от режима их работы во времени, так и от параметров режима – напряжения на зажимах электропотребителя и частоты в электрической сети.

Зависимости, показывающие изменение активной и реактивной мощности от частоты  $f$  и подведенного напряжения  $U$  при медленных изменениях (менее 1%/сек) этих параметров, называют статическими характеристиками нагрузки (СХН). Последние наиболее полно учитывают действительные изменения электрических нагрузок от частоты и напряжения и в этом отношении являются



наиболее точным способом представления электрических нагрузок в задачах расчета и анализа установившихся режимов электрических сетей и систем снабжения.

Основной для определения и изучения статических характеристик являются эксперименты, в которых изменяются условия электропитания нагрузок (варьируются частота и напряжение) и отмечаются соответствующие изменения мощности. Измерение мощностей  $P$  и  $Q$  выполняют сразу же после изменения условий электропитания и окончания переходного процесса. Полученные при этом СХН называются естественными, так как они отражают свойственную нагрузкам реакцию на отключения напряжения и частоты. Для отдельных электропотребителей естественные совместные зависимости нагрузок от частоты и напряжения рассматриваются отдельно в виде зависимости активной и реактивной мощностей от частоты и напряжения. Учет последних СХН выполняется при постоянстве частоты.

При расчете и анализе режимов работы электрических сетей и систем электроснабжения учет их нагрузок выполняют не отдельными электропотребителями, а обобщенными потребителями узлов схемы сети, учитывающих отдельных электропотребителей в их совокупности для отдельного цеха, предприятия, городского или сельского района и т.п. Вид этих зависимостей определяется составом электропотребителей. При этом существенно, что областью определения СХН являются режимы не с любыми значениями напряжений, а только с такими  $U$  больше критического  $U_{кр}$ , при которых не нарушается устойчивость двигателей и других электроустановок.

В состав узлов нагрузки входят разные потребители (таблица 1). Для разных категорий потребителей характер зависимости мощности от частоты различается.

У потребителей нулевого типа мощность не зависит от частоты. К таким потребителям относятся электроосветительные лампы накаливания, электронагревательные приборы, печи сопротивления, бытовая техника, электронные устройства.

У электродвигателей, приводящих в движение поршневые насосы, компрессоры, шаровые мельницы, дробилки, металлорежущие станки, подъемные и транспортные механизмы, потребляемые мощность примерно пропорциональна частоте. Указанных потребителей принято относить к потребителям первого типа.

К потребителям второго типа относятся потребители, мощность которых примерно пропорциональна частоте во второй степени. В частности, такую зависимость имеют потери активной мощности (при постоянном напряжении) в электрических сетях.

Потребителями третьего типа, мощность которых примерно пропорциональна частоте в третьей степени, могут считаться центробежные электронасосы и вентиляторы, работающие с малым статическим напором. Эти же установки, работающие с большим статическим напором, относятся к потребителям четвертого типа.

В общем случае пользуются так называемыми типовыми обобщенными СХН (рисунок 1) для характерного и отечественных электроэнергетических системах нагрузок.

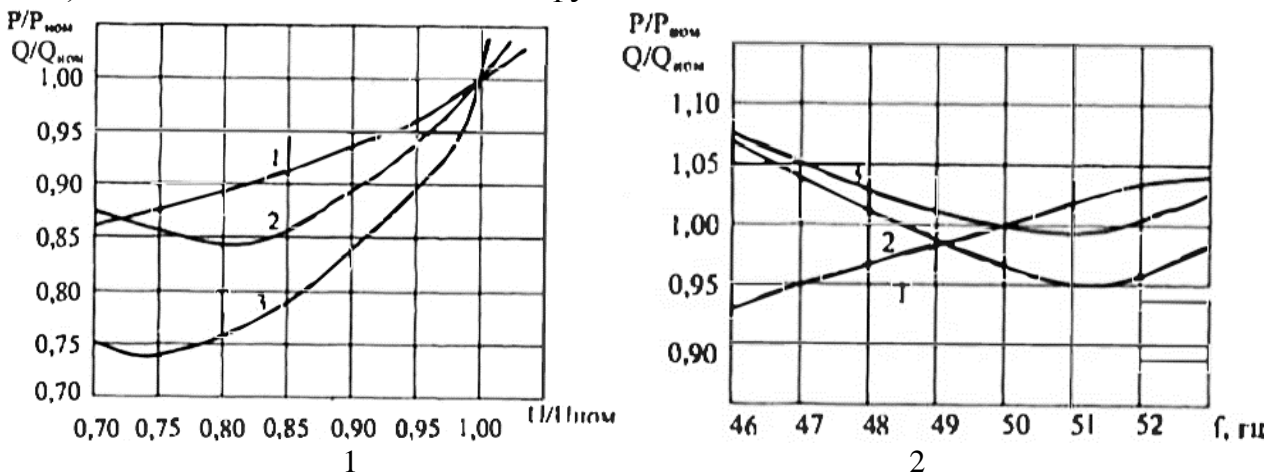
$$P_H = P_{H.НОМ} \left( a_0 + a_1 \frac{f}{f_{НОМ}} + a_2 \frac{f^2}{f_{НОМ}^2} + \dots + a_m \frac{f^m}{f_{НОМ}^m} \right), \quad (1)$$

где  $P_{H.НОМ}$  – суммарная мощность нагрузки при номинальной частоте;  
 $a$  – коэффициенты долевого участия потребителя разных типов.

Таблица 1 – Примерный состав нагрузки в процентах

Примерный состав нагрузки, соответствующий типовым СХН	%
Асинхронные двигатели	50
Освещение и бытовые потребители	22
Электрические печи	11
Синхронные двигатели	9
Потери в сетях	8

Как видно из рисунка 1, потребляемая из сети активная мощность (при указанной структуре нагрузки) с увеличением частоты и напряжения возрастает почти прямолинейно. Измерение же потребления реактивной мощности (кривые 2 и 3) описывается более сложной функцией.



1 – P/P<sub>ном</sub> при 6-110 кВ, 2 – Q/Q<sub>ном</sub> при 110 кВ, 3 – Q/Q<sub>ном</sub> при 6 кВ

Рисунок 1 – Статические характеристики нагрузок по напряжению и частоте

Статические характеристики нагрузок позволяют определить регулирующий эффект электрической нагрузки, под которым понимается степень изменения нагрузки при единичном изменении напряжения и частоты. Величину изменения нагрузок можно определить, разложив функции зависимости изменения мощностей от напряжения или частоты в ряд Тейлора, относительно начальных значений напряжения  $U_0$  и частоты  $f_0$ . В качестве последних можно принять их номинальные значения. Если частота в ЭЭС и напряжение в узле нагрузки изменяется в сравнительно небольших пределах:  $\Delta U = U - U_0$ ,  $\Delta f = f - f_0$ , например, допустимых стандартов на качество электроэнергии, то, ограничиваясь линейным отрезком ряда Тейлора в малых окрестностях переменных  $\Delta U$ ,  $\Delta f$ , получаем:

$$P(U, f) = P(U_0, f_0) + \frac{\partial P}{\partial f} \Delta f + \frac{\partial P}{\partial U} \Delta U, \quad (2)$$

$$Q(U, f) = Q(U_0, f_0) + \frac{\partial Q}{\partial f} \Delta f + \frac{\partial Q}{\partial U} \Delta U. \quad (3)$$

Тогда искомые изменения нагрузок можно оценить в виде:

$$\delta P = P - P_0 = \alpha_f \Delta f + \alpha_U \Delta U, \quad (4)$$

$$\delta Q = Q - Q_0 = \beta_f \Delta f + \beta_U \Delta U, \quad (5)$$

где  $\alpha_f$ ,  $\alpha_U$ ,  $\beta_f$ ,  $\beta_U$  – значения производных, характеризующих регулирующий эффект нагрузки по частоте и напряжению, количественно определяющий изменение нагрузки при единичном изменении частоты и напряжения.

Статические характеристики по частоте должны учитываться при расчетах послеаварийных установившихся режимов, в которых имеет место дефицит активной мощности (например, при отключении отдельных крупных агрегатов на электростанциях) и частота сильно отличается от номинальной. Такие расчеты установившихся режимов учитывают изменения частоты и применяются для управления устройствами регулирования частоты и противоаварийной автоматики.

Коэффициент регулирующего эффекта активной нагрузки по частоте, равной относительному изменению потребляемой мощности при изменении частоты на одну относительную единицу может быть определен через производную мощности нагрузки по частоте:

$$k_H = \frac{\frac{\Delta P_H}{P_{H,НОМ}}}{\frac{\Delta f}{f_{НОМ}}} = \frac{f_{НОМ}}{P_{H,НОМ}} \frac{dP}{df} = a_1 + 2a_2 \frac{f}{f_{НОМ}} + \dots + ma_m \frac{f^{m-1}}{f_{НОМ}^{m-1}}. \quad (6)$$

При малых отклонениях частоты можно считать  $f$  приблизительно равно  $f_{НОМ}$ , тогда:

$$k_H = a_1 + 2a_2 + \dots + ma_m. \quad (7)$$

В течении суток состав потребителей энергосистемы меняется: днем осветительная нагрузка в основном отсутствует, а преобладает нагрузка промышленных предприятий, в вечерние часы промышленная нагрузка несколько снижается, а осветительная увеличивается. С изменением состава потребителей изменяется и регулирующий эффект нагрузки. Обычно эти изменения не очень велики. Установлено, что изменение регулирующего эффекта нагрузки в течение суток не выходит за пределы (10-15)%.

Для разных энергосистем с характерным для них составом потребителей регулирующий эффект нагрузки различен. Для энергосистем России этот коэффициент равен 1-3. Это значит, что при снижении частоты в энергосистемах на 1,0% (0,5 Гц), потребление уменьшается на 1-3%.

Нормальный установившийся режим характеризуется соблюдением баланса активной мощности, когда мощность, генерируемая электростанции, равна потребляемой мощности:

$$P_{Г} = P_{П}, \tag{8}$$

где  $P_{Г}$  – мощность генерирующих источников;

$P_{П}$  – мощность электроприемников, включая потери в элементах энергосистемы.

На рисунке 2 приведены статические характеристики генерации (кривая  $P_{Г0}$ ) и нагрузки (кривая  $P_{П}$ ). Частота электрической сети определяется точкой  $O$  пересечения статических характеристик, её установившееся значения характеризуется значением  $f_0$ .

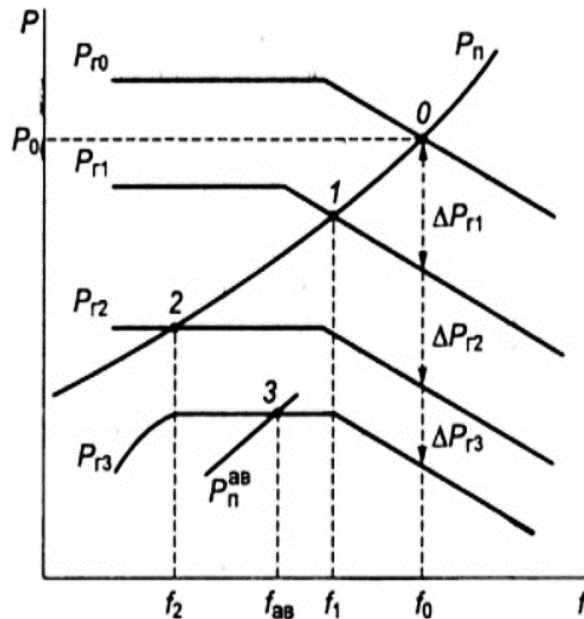


Рисунок 2 – Зависимость мощности генерации и нагрузки от частоты

Процесс изменения частоты в ЭЭС, вызванный нарушением баланса между генерируемой и потребляемой мощностью, определяется частотными свойствами как генерирующей, так и потребляющей части. Поэтому для учета свойств обеих частей используют результирующую статическую характеристику. Под этой характеристикой понимают зависимость отклонение частоты (в установившемся режиме) от внезапно возникшего по какой-либо причине первичного и баланса мощности  $\Delta P$ , обусловившего это отклонение. Коэффициент статизма (крутизны) этой характеристики определяется в соответствии с выражением:

$$k_{с.р} = \frac{\frac{\Delta f}{f_{НОМ}}}{\frac{\Delta P}{P_{Н.НОМ}}} = \frac{1}{\frac{\rho}{k_{с.г}} + k_H}, \tag{9}$$

или

$$S_p = \frac{\frac{\Delta P}{P_{H,НОМ}}}{\frac{\Delta f}{f_{НОМ}}} = \frac{\rho}{k_{c,г}} + k_H = \rho S_\Gamma + k_H, \quad (10)$$

где  $\rho = \frac{P_{г,НОМ}}{P_{НО}}$  – коэффициент резерва;

$k_{c,г}$  – эквивалентный коэффициент статизма генерирующей части;

$S_\Gamma = \frac{1}{k_{c,г}}$  – коэффициент крутизны;

$P_{г,НОМ}$  – суммарная номинальная мощность всех работающих агрегатов;

$P_{НО}$  – мощность нагрузки.

На уменьшение  $k_{c,п}$ , определяющего стабильность частоты в ЭЭС, в первую очередь влияют следующие факторы:

- увеличение резерва мощности;
- уменьшение коэффициента статизма частотной характеристики генерирующей части  $k_{c,г}$ ;
- увеличение значения коэффициента регулирующего эффекта нагрузки  $k_H$ .

Значительное снижение частоты может вызвать крупную аварию – лавину частоты – вплоть до полного погашения электростанций и электроприемников. Восстановление работы электростанции требует подачи на каждую из них электроэнергии от непогашенной части энергосистемы, что является при большом числе полностью остановившихся электростанция весьма трудоёмкой задачей и занимает, как правило, несколько часов.

Лавина частоты возникает при условиях, когда полностью исчерпаны мощности электростанций. Поэтому единственная возможность удержать частоту на допустимом уровне – это снижение мощности потребителей электроэнергии.

При возникновении аварийного избытка генерирующей мощности частота в энергосистеме повышается. При этом повышение частоты в системе приносит не меньше неприятностей, чем её понижение. Наибольшую опасность аварийное увеличение частоты представляет для лопаточных аппаратов паровых турбин ТЭС. Скорость и степень повышения частоты определяются действиями регуляторов турбин. В отделившейся энергосистеме или энергорайоне с избытком активной мощности может происходить весьма быстрое и значительное повышение частоты. Это вызвано медленным действием автоматической разгрузки станции.

### **Заключение**

Статические характеристики нагрузки энергосистемы по частоте являются важным параметром для оценки режимов работы энергосистемы. Они позволяют определить изменение нагрузки в режимах при изменении частоты, а так же определить управляющие воздействия для ввода режима в допустимую область и предотвращения развития лавины частоты.

### Литература

1. Герасименко А.А., Федин В.Т. Передача и распределение электрической энергии – Ростов-на-Дону: Феникс, 2008. – 715 с.
2. Данильчук, В. Н. Автоматика ограничения изменений частоты энергосистем. Практическое пособие для инженеров по обслуживанию частотных автоматов, блокировок и защит. / В. Н. Данильчук. — Киев: Объединенная энергосистема Украины (ОЭС Украины), 2014. — 440 с.
3. Калентионок Е. В., Прокопенко В. Г., Федин В. Т. Оперативное управление в энергосистеме – Минск, 2007. – 351с.
4. Рабинович Р. С. Автоматическая частотная разгрузка энергосистем / Рабинович Р. С. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.



УДК 621.311

**ТЕСТОВАЯ СХЕМА SIMPLIFIED 14-GENERATOR AUSTRALIAN POWER SYSTEM. ПАРАМЕТРЫ, РАСЧЕТ РЕЖИМА И ОСОБЕННОСТИ SIMPLIFIED 14-GENERATOR AUSTRALIAN POWER SYSTEM TEST CIRCUIT. PARAMETERS, MODE CALCULATION AND FEATURES**

Е.В. Драневский, И.Д. Винников

Научный руководитель – А.А. Волков, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

E. Dranevskiy, I. Vinnikov

Supervisor – A. Volkau, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** данная научная работа посвящена моделированию, расчету и анализу установившегося режима тестовой схемы Simplified 14-Generator Australian Power System в программном комплексе RastrWin. Проведен анализ электрических параметров системы, включая напряжение, ток и мощность. Работа содержит подробное описание методов моделирования и расчетов в программном комплексе RastrWin, а также результаты проведенных исследований. Результаты работы могут быть использованы в дальнейших исследованиях в области электроэнергетики и при проектировании и эксплуатации электроэнергетических систем.

**Abstract:** this work is devoted to modeling, calculation and analysis of the steady state of the Simplified 14-Generator Australian Power System test circuit in the RastrWin software package. The electrical parameters of the system were analyzed, including voltage, current and power. The work contains a detailed description of modeling and calculation methods in the RastrWin software package, as well as the results of the research. The results of the work can be used in further research in the field of electric power industry and in the design and operation of electric power systems.: Анализ, тестовая схема, моделирование, производительность, надежность.

**Ключевые слова:** анализ, тестовая схема, моделирование, производительность, надежность.

**Keywords:** analysis, test pattern, simulation, performance, reliability.

**Введение**

Современная электроэнергетика становится все более сложной и глобальной в своих масштабах, в связи с чем представляет значительный интерес для исследователей и специалистов в области управления и устойчивости электрических систем. Одним из наиболее распространенных подходов в данной области является использование тестовых схем - моделей электрических систем, которые могут быть использованы для исследования работы системы в различных условиях и разработке новых методов управления и устойчивости. Одной из таких тестовых схем является Simplified 14-Generator Australian Power System - симулятор электрической сети, разработанный для тестирования и исследования различных алгоритмов управления и устойчивости системы. Эта тестовая схема является актуальной и важной для научных исследований в

области электроэнергетики, а также может быть использована практически специалистами для разработки новых технологий в области управления системой электроснабжения.

### Основная часть

Тестовая схема Simplified 14-Generator Australian Power System представляет собой математическую модель электроэнергетической системы. Она состоит из 14 генерирующих источников, линий электропередач, трансформаторов и нагрузок (рисунок 1).

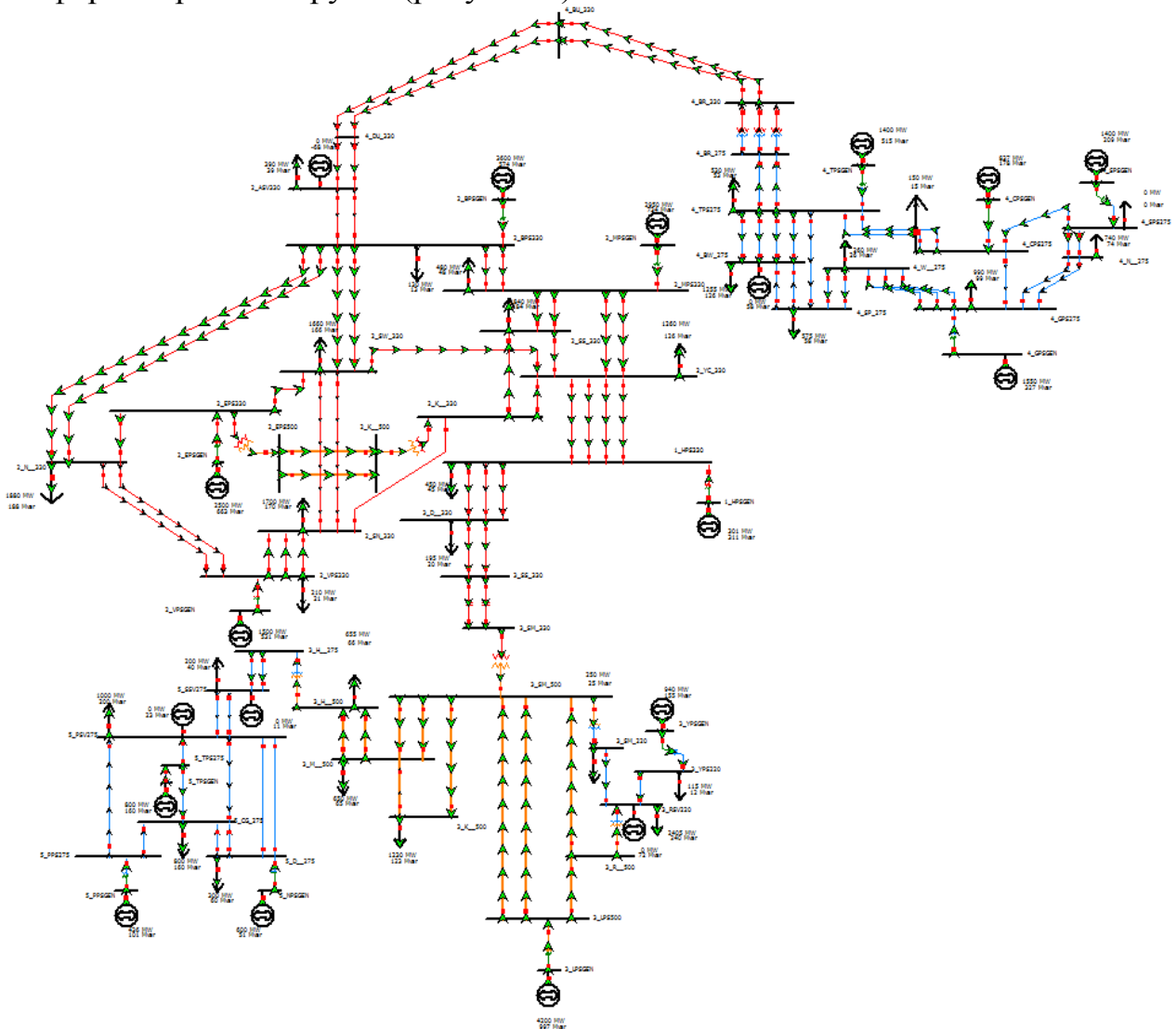


Рисунок 1 – Simplified 14-Generator Australian Power System тестовая схема

Тестовая схема позволяет проводить различные эксперименты, анализировать проблемы и возможности системы, оптимизировать ее работу в различных условиях.

Тестовая схема Simplified 14-Generator Australian Power System в основном используется в научных исследованиях и обучении специалистов в области электроэнергетики. Она является одной из наиболее популярных математических моделей системы электроснабжения и остается актуальной и полезной в своей области использования. Результаты тестов могут быть



использованы для оптимизации работы электроэнергетической системы, предотвращения аварий и повышения устойчивости системы под нагрузкой.

Фрагменты исходных данных по узлам и ветвям схемы представлены на рисунках 2 и 3.

	Number	Name	Area Name	Nom kV	PU Volt	Volt (kV)	Angle (Deg)	Load MW	Load Mvar	Gen MW	Gen Mvar	Switched Shunts Mvar	Act G Shunt MW	Act B Shunt Mvar	Area Num	Zone Num
1	101	1_HPSGEN	1	15,00	1,00000	15,000	0,00			300,86	311,48		0,00	0,00	1	1
2	102	1_HPS330	1	330,00	1,03895	342,854	-1,40	450,00	45,00				0,00	0,00	1	1
3	201	2_BPSGEN	2	20,00	1,00000	20,000	48,90			3600,00	573,62		0,00	0,00	2	1
4	202	2_EPSGEN	2	20,00	1,00000	20,000	37,90			2500,00	663,36		0,00	0,00	2	1
5	203	2_VPSGEN	2	20,00	1,00000	20,000	32,24			1500,00	531,18		0,00	0,00	2	1
6	204	2_MPSGEN	2	20,00	1,00000	20,000	39,21			2950,20	734,14		0,00	0,00	2	1
7	205	2_ASV330	2	330,00	1,05500	348,150	44,02	390,00	39,00	0,00	-68,27		0,00	0,00	2	1
8	206	2_BPS330	2	330,00	1,04720	345,574	41,45	130,00	13,00				0,00	0,00	2	1
9	207	2_W_330	2	330,00	1,02210	337,292	27,69	1880,00	188,00				0,00	0,00	2	1
10	208	2_VPS330	2	330,00	1,03244	340,706	26,25	210,00	21,00				0,00	0,00	2	1
11	209	2_EPS330	2	330,00	1,03793	342,516	30,41						0,00	0,00	2	1
12	210	2_EPS500	2	500,00	1,05939	529,693	26,68						0,00	0,00	2	1
13	211	2_SN_330	2	330,00	1,00806	332,660	18,87	1700,00	170,00				0,00	0,00	2	1
14	212	2_SW_330	2	330,00	1,00839	332,769	19,12	1660,00	166,00				0,00	406,74	2	1
15	213	2_K_500	2	500,00	1,04263	521,313	22,67						0,00	0,00	2	1
16	214	2_K_330	2	330,00	1,02565	338,465	18,75						0,00	0,00	2	1
17	215	2_MPS330	2	330,00	1,04329	344,285	33,11	480,00	48,00				0,00	0,00	2	1
18	216	2_SS_330	2	330,00	1,01299	334,285	16,10	1840,00	184,00				0,00	307,84	2	1
19	217	2_YC_330	2	330,00	1,00207	330,684	9,39	1260,00	126,00				0,00	0,00	2	1
20	301	3_LPSGEN	3	20,00	1,00000	20,000	-3,39			4200,00	996,58		0,00	0,00	3	1
21	302	3_VPSGEN	3	20,00	1,00000	20,000	-18,02			939,90	154,58		0,00	0,00	3	1

Рисунок 2 – Исходные данные по узлам

	From Number	From Name	To Number	To Name	Circuit	Status	Branch Device Type	Xfrmr	MW From	Mvar From	MVA From	Lim MVA	% of MVA Limit (Max)	MW Loss	Mvar Loss
1	101	1_HPSGEN	102	1_HPS330	1	Closed	Transforme	YES	300,9	311,5	433,1	0,0	0,0	0,00	14,88
2	102	1_HPS330	217	2_YC_330	1	Closed	Line	NO	-277,2	75,9	287,4	0,0	0,0	7,10	-28,75
3	102	1_HPS330	217	2_YC_330	2	Closed	Line	NO	-277,2	75,9	287,4	0,0	0,0	7,10	-28,75
4	102	1_HPS330	217	2_YC_330	3	Closed	Line	NO	-298,2	88,0	310,9	0,0	0,0	7,63	-18,54
5	102	1_HPS330	217	2_YC_330	4	Closed	Line	NO	-298,2	88,0	310,9	0,0	0,0	7,63	-18,54
6	102	1_HPS330	309	3_D_330	1	Closed	Line	NO	415,6	-18,6	416,0	0,0	0,0	7,20	10,24
7	102	1_HPS330	309	3_D_330	2	Closed	Line	NO	415,6	-18,6	416,0	0,0	0,0	7,20	10,24
8	102	1_HPS330	309	3_D_330	3	Closed	Line	NO	170,5	-38,8	174,8	0,0	0,0	2,93	-57,90
9	201	2_BPSGEN	206	2_BPS330	1	Closed	Transforme	YES	3600,0	573,6	3645,4	0,0	0,0	0,01	473,09
10	202	2_EPSGEN	209	2_EPS330	1	Closed	Transforme	YES	2500,0	663,4	2586,5	0,0	0,0	0,01	339,77
11	203	2_VPSGEN	208	2_VPS330	1	Closed	Transforme	YES	1500,0	531,2	1591,3	0,0	0,0	0,00	170,80
12	204	2_MPSGEN	215	2_MPS330	1	Closed	Transforme	YES	2950,2	734,1	3040,2	0,0	0,0	0,01	325,98
13	205	2_ASV330	206	2_BPS330	1	Closed	Line	NO	65,7	-47,8	81,3	0,0	0,0	0,37	-99,90
14	205	2_ASV330	206	2_BPS330	2	Closed	Line	NO	65,7	-47,8	81,3	0,0	0,0	0,37	-99,90
15	205	2_ASV330	416	4_DJ_330	1	Closed	Line	NO	-260,7	-5,8	260,8	0,0	0,0	2,30	-52,68

Рисунок 3 – Исходные данные по ветвям

## Заключение

Тестовая схема Simplified 14-Generator Australian Power System - это мощный инструмент для исследования работы системы электроснабжения и разработки новых методов управления и устойчивости. Благодаря своей популярности и широкому использованию в научных исследованиях, она позволяет проводить различные эксперименты с системой и оптимизировать ее работу в различных условиях.

## Литература

1. Electric Grid Test Case Repository [Электронный ресурс]/ IEEE 96-RTS Test System.– Режим доступа: [http://www1.sel.eesc.usp.br/ieee/australian\\_test\\_system/base.htm](http://www1.sel.eesc.usp.br/ieee/australian_test_system/base.htm). – Дата доступа: 05.05.2023.
2. Illinois [Электронный ресурс]/ Illinois Center for a Smarter Electric Grid (ICSEG). – Режим доступа: <https://icseg.iti.illinois.edu/simplified-14-generator-australian-power-system/>. – Дата доступа: 05.05.2023.

УДК 621.314

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТУРБИНЫ И РЕГУЛЯТОРА ЧАСТОТЫ  
ВРАЩЕНИЯ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ  
MATHEMATICAL MODELS OF TURBINE AND SPEED REGULATOR OF  
A SYNCHRONOUS MACHINE**

Т.Д. Ковалева

Научный руководитель – А.А. Волков, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

T. Kovaleva

Supervisor – A. Volkau, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

*Аннотация:* рассмотрены математические модели паровой турбины и регулятора частоты.

*Abstract:* mathematical models of a steam turbine and a frequency controller are considered.

*Ключевые слова:* математическая модель, синхронные машины, паровая турбина.

*Keywords:* mathematical model, synchronous machines, steam turbine.

**Введение**

Математическое моделирование – это средство изучения реального объекта, процесса или системы путем их замены математической моделью, более удобной для экспериментального исследования с помощью ЭВМ.

Математическая модель является приближенным представлением реальных объектов, процессов или систем, выраженным в математических терминах и сохраняющим существенные черты оригинала.

**Основная часть**

В качестве основы для расчетной математической модели используется упрощенная схема регулятора с местной жесткой обратной связью. Такой регулятор обеспечивает регулирование по статической характеристике, наклон которой определяется либо коэффициентом статизма  $\sigma$ , либо коэффициентом крутизны частотной характеристики, который равен:

$$k_f = \frac{1}{\sigma}. \quad (1)$$

Исходный режим всех агрегатов в программах, где не учитывается изменение частоты в расчетах установившегося режима, определяется состоянием энергосистемы после отработки вторичных регуляторов частоты на регулирующих агрегатах. Частота при этом практически равна номинальной, а активная мощность соответствует заданной в генераторных узлах. Таким образом, в исходном режиме статическая характеристика каждого агрегата проходит через точку  $P_{Г0}$  и  $f_0(\omega_0)$  (рисунок 1).

Регулятор приходит в действие и изменяет мощность турбины, если отклонение частоты от исходного значения  $f_0(\omega_0)$  превысит зону нечувствительности измерительного органа регулятора.

Мощность паровой турбины определяется соотношением [2]:

$$P_T = A_{II} D H_0 \eta, \quad (2)$$

где  $D$  – расход пара в единицу времени (т/час),  
 $A_{II}$  – коэффициент пропорциональности,  
 $H_0$  – располагаемый тепловой перепад,  
 $\eta$  – коэффициент полезного действия.

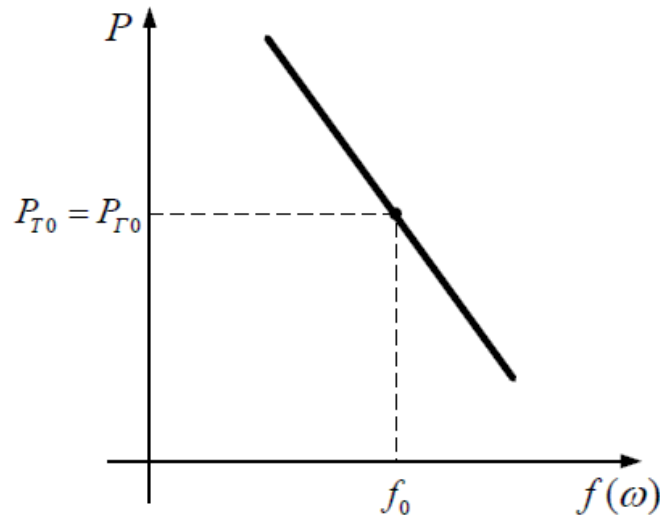


Рисунок 1 – Статическая характеристика агрегата

Паровые турбины имеют два или три цилиндра (части) с промежуточной осушкой (промежуточным перегревом) пара между ними. На рисунке 2,а представлена принципиальная схема паровой турбины, состоящей из цилиндров высокого (ЦВД) и низкого (ЦНД) давления с трактом промежуточного перегрева пара в пароперегревателе (ПП) парогенератора.

Динамика процесса изменения мощности и момента на валу паровой турбины при изменении расхода пара определяется главным образом объемами пара между регулирующими клапанами и соответствующими ступенями турбины, а также в тракте промежуточного перегрева пара. При изменении расхода пара через турбину ЦВД быстро изменяет свою мощность, а ЦНД медленно, запаздывание создает большой буферный объем пара в тракте промежуточного перегрева, значительно ухудшающий динамические характеристики турбины.

Такое поведение паровой турбины можно воспроизвести при помощи простой цепочечной структурной схемы на рисунке 2,б. Входным сигналом является относительное открытие регулирующих клапанов турбины  $M_c$  выхода регулятора скорости турбины, выходным сигналом является момент на валу турбины  $M_T$ , создаваемый обоими цилиндрами.

Мощность ЦВД по отношению к полной номинальной мощности турбины равна  $K_{ЦВД}$ .

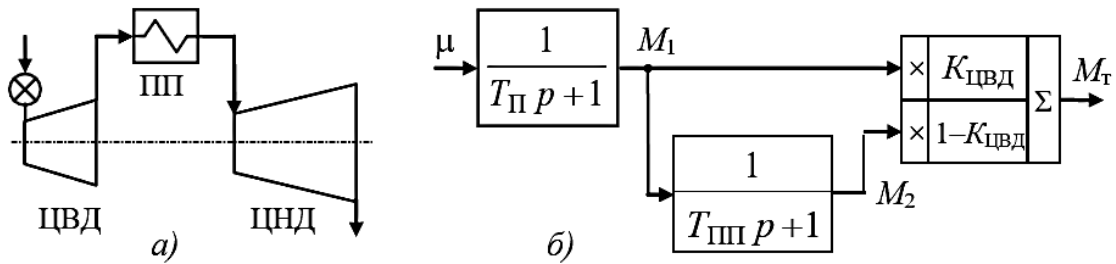


Рисунок 2 – Принципиальная (а) и структурная (б) схемы паровой турбины

Запаздывание изменения момента цилиндров турбины моделируется двумя апериодическими звеньями. Эквивалентная постоянная времени паровых объемов ЦВД  $T_{\Pi}=0,1-0,3$  с. Эквивалентная постоянная времени парового объема тракта промежуточного перегрева пара и паровых объемов ЦНД  $T_{\text{ИП}}=3-7$  с. Масштабирующий сумматор формирует суммарный момент на валу турбины. Это относительно простая модель паровой турбины, но при надлежащем выборе постоянных времени она обеспечивает удовлетворительное воспроизведение динамических характеристик не только двух, но и трехцилиндровых паровых турбины.

Модель пригодна также для турбоустановок насыщенного пара АЭС с низкими начальными параметрами пара, у которых между ЦВД и ЦНД устанавливается сепаратор и промежуточный пароперегреватель острым паром.

Структурной схеме на рисунке 2,б соответствует следующая система уравнений [1]:

$$\frac{dM_1}{dt} = \frac{1}{T_{\Pi}} (\mu - M_1), \tag{3}$$

$$\frac{dM_2}{dt} = \frac{1}{T_{\text{ИП}}} (M_1 - M_2), \tag{4}$$

$$M_T = K_{\text{ЦВД}} M_1 + (1 - K_{\text{ЦВД}}) M_2. \tag{5}$$

Начальные условия определяются по балансу моментов турбины и генератора на валу агрегата в исходном установившемся режиме:

$$M_1 = M_2 = M_T = \frac{M_e}{K_{\text{пр}}}. \tag{6}$$

Использование более полной модели паровой турбины с разбивкой цилиндров на отсеки по числу отборов пара на регенеративный подогрев питательной воды, с детальным учетом паровых объемов на основе цепочечной структурной схемы с произвольным числом звеньев в программе расчета динамики энергосистем затруднено из-за отсутствия исходной информации для настройки цепочечной схемы. В программе расчета динамики энергосистем двухзвенная цепочечная модель является основной, а полная модель турбины дополнительной, используемой при необходимости более точного индивидуального моделирования отдельных агрегатов.

**Заключение**

С помощью математических моделей паровой турбины и регулятора частоты вращения можно значительно упростить расчеты, а также при применении полной модели турбины возможно добиться максимальной

точности расчетов. Также использование математических моделей для расчета на ЭВМ позволяет избежать ошибок в расчетах.

#### Литература

1. Калашников А.А. Динамика регулирования турбин. Москва, Энергоатомиздат, 1999. – 328 с.
2. Вайнштейн Р.А. Программные комплексы в учебном проектировании электрической части электростанций: учебное пособие / Р.А. Вайнштейн, В.В. Шестакова, Н.В. Коломиец. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 123 с.

УДК 621.311

ПРИМЕНЕНИЕ ФОРСИРОВКИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ  
ПОВЫШЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ  
APPLICATION OF FORCED EXCITATION OF GENERATORS TO  
INCREASE DYNAMIC STABILITY

Н. Лукас, Г.С. Скурат

Научный руководитель – А.А. Волков, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

N. Lukas, G. Skurat

Supervisor – A. Volkau, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** проведены расчеты и анализ динамической устойчивости генераторов при применении систем форсировки возбуждения с использованием программного комплекса Mustang.

**Abstract:** calculations and analysis of the dynamic stability of generators when applying excitation boost systems using the Mustang software package.

**Ключевые слова:** динамическая устойчивость, системы форсировки возбуждения, короткое замыкание.

**Keywords:** dynamic stability, excitation boost systems, electrical short.

### Введение

Динамическую устойчивость генераторов при кратких замыканиях (КЗ) можно достигнуть благодаря быстродействующих автоматических регуляторов напряжения. Для повышения динамической устойчивости особое значение из всех способов является форсировка системы возбуждения синхронного генератора. Сама система состоит из реле *KM* (рисунок 1) и реле напряжения *KV*. Реле *KV*, реагирующий на снижение напряжения при КЗ, закорачивает резистор в цепи возбуждения машины.

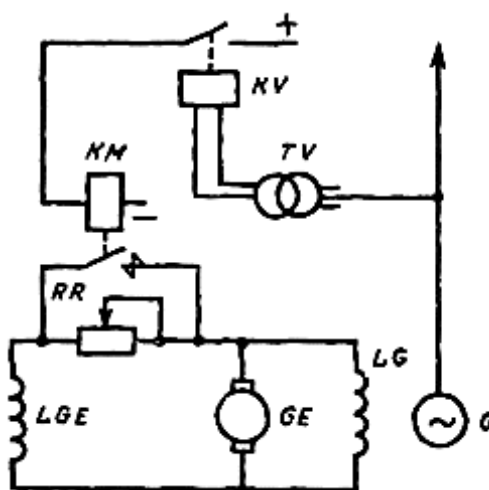


Рисунок 1 – Система возбуждения синхронного генератора

Напряжение на шинах генератора начинает увеличиваться до максимально возможного уровня, что приводит к росту тока, а также росту амплитуды характеристики мощности в аварийном режиме. Это приводит к сдвигу росту

площадки торможения, по отношению к ускорению, что приводит к увеличению динамической устойчивости [1].

**Основная часть**

Смоделируем небольшую энергосистему в программном комплексе *Mustang* с параметрами в ветвях, узлах, данными по генераторам и регулятору возбуждения представленными на рисунках 2-5.

	N	Трв	Uрв+	Uрв-	Ku	K'u	K'if	Kf	K'f	Tf	Альфа
	6	2,000	6,000	-6,000	50,000	5,000	5,000	2,000	5,000	0,900	

Рисунок 2 – Параметры регулятора возбуждения

Название	N	Блок	Uгном	Ргном	COS(φ)	D	Mj/Tj	X'd	Xd	Xq	X''d	X''q	T'd0	T''d0	T''q0
	1		110,00					0,419							
ген	6	1	18,00	480	0,850	10,00	3840,00	0,118	0,803	0,457	0,115		5,000	0,100	
	8	1	20,00	300	0,850	10,00	1312,50	0,544							

Рисунок 3 – Данные по генераторам

Название	N	Код	Устарт	Урасч	dU	Рн0	Qн0	Unorm	Uсхн	Unom	Pr	Qr	Уша	Ушр	Qmin	Qmax
	1	1100	121,00	121,00				110,00		110,00	-506,8	264,6			-1000	1000
	2	11	347,00	354,43	3,8	80,00	60,00	347,00		347,00						
	3	11	330,00	349,62	6,9			330,00		330,00						
	4	11	10,50	10,60	3,9	100,00	80,00	10,50		10,50						
	5	11	347,00	350,26	9,6			347,00		347,00						
	6	1010	18,00	18,00	11,9			18,00		18,00	480,0	-105,9			-1000	1000
	7	11	347,00	348,64	9,8	80,00	60,00	347,00		347,00						
	8	1010	20,00	20,00	14,5			20,00		20,00	300,0	-10,3			-1000	1000

Рисунок 4 – Параметры узлов в энергосистеме

Название Ni	Название Nj	Ni	Nj	Nп	Название	R	X	G	B	Kт	dKт	Gpi
		2	1		T2	0,43	16,56	0,5	1,9	3,017		
		3	7		Л3	4,08	27,88	2,3	-289,5			
		3	4		T3	2,42	63,38	0,4	1,4	31,429		
		5	7		Л2	3,99	33,92	2,1	-363,3			
		5	6		T1	0,20	10,51	1,7	9,2	19,278		
		5	2		Л4	3,15	33,60	1,6	-367,5			
		7	8		T4	0,61	33,11	3,0	1,3	17,350		
		2	3		Л5	5,10	28,14	2,9	-287,3			
		3	5		Л1	8,10	44,69	4,7	-456,3			

Рисунок 5 – Параметры ветвей в энергосистеме

После моделирования КЗ в узле 2 без использования форсировки, мы определили что  $\delta_{кр}$  равно 143 мс. На рисунках 6-7 представлены зависимости изменения угла  $\delta$  и напряжения генератора без форсировки возбуждения от времени при сохранении динамической устойчивости, на рисунках 8-9 – при нарушении динамической устойчивости.



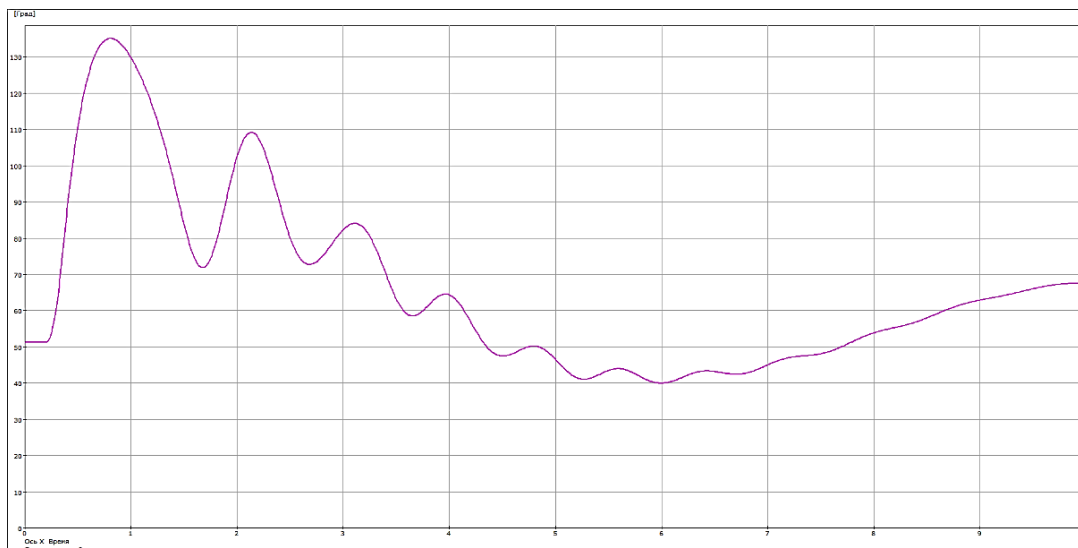


Рисунок 6 – Изменение угла  $\delta$  генератора при сохранении устойчивости без форсировки возбуждения генератора

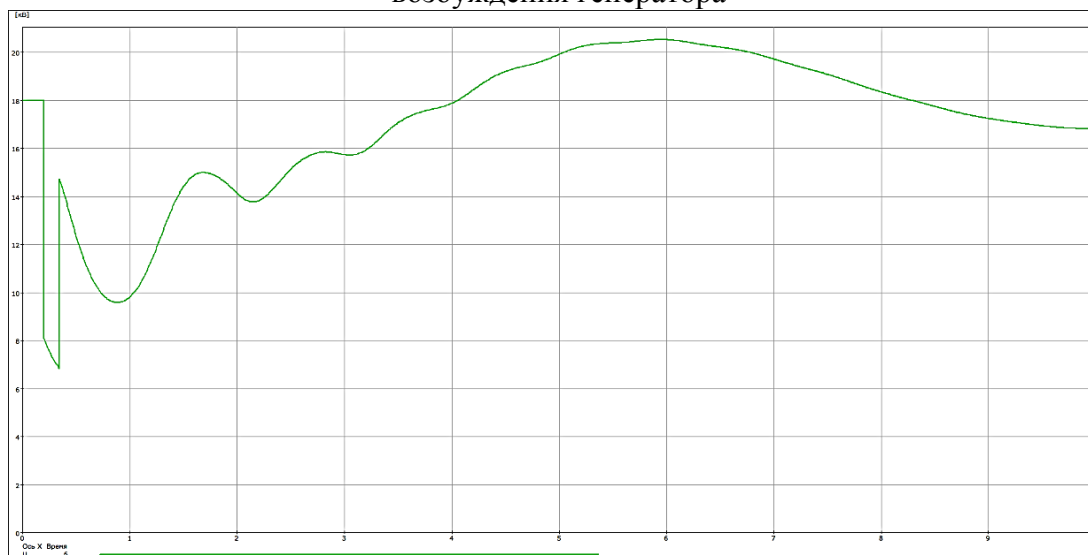


Рисунок 7 – Изменение напряжения генератора при сохранении устойчивости без форсировки возбуждения генератора



Рисунок 8 – Изменение угла  $\delta$  генератора при нарушении устойчивости без форсировки возбуждения генератора



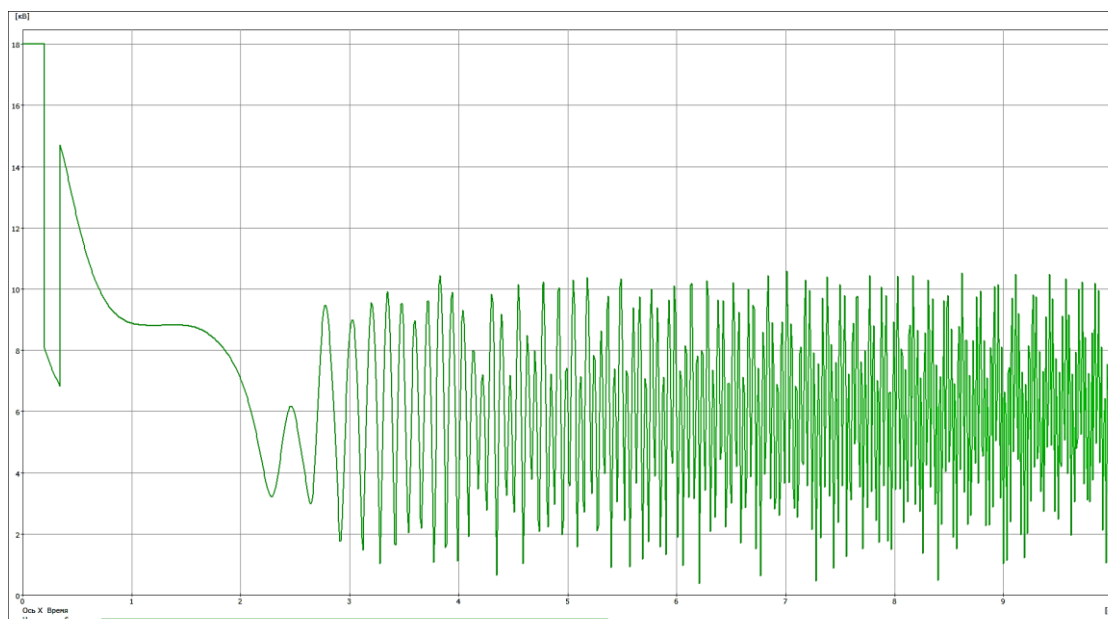


Рисунок 9 – Изменение напряжения генератора при нарушении устойчивости без форсировки возбуждения генератора

На рисунках 10-11 представлены зависимости изменения угла  $\delta$  и напряжения генератора с применением системы форсировки возбуждения от времени при сохранении динамической устойчивости, а на рисунках 12-13 – при нарушении динамической устойчивости.

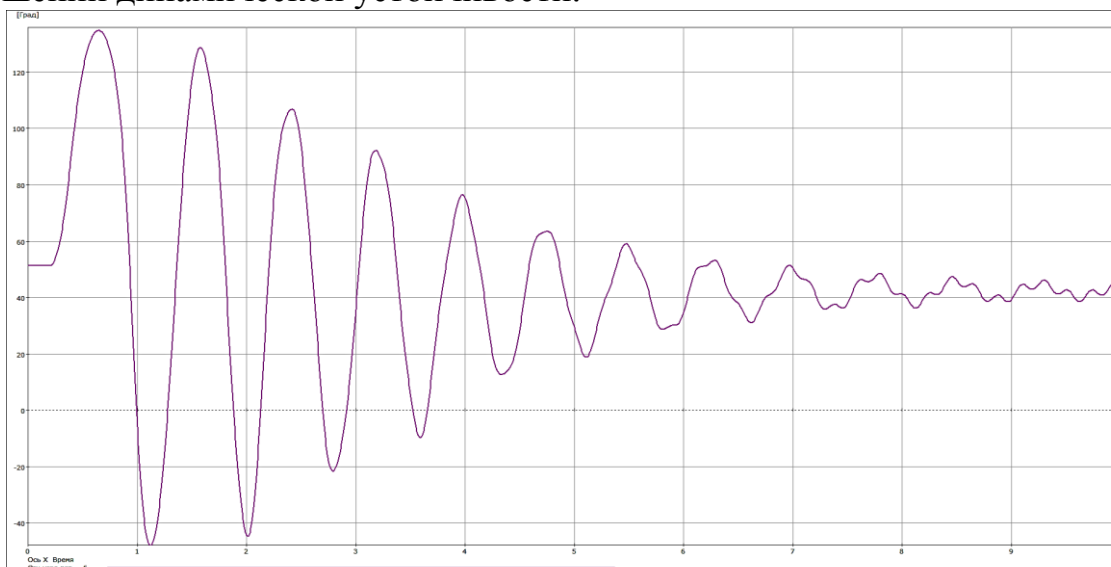


Рисунок 10 – Изменение угла  $\delta$  генератора при сохранении устойчивости с форсировкой генератора

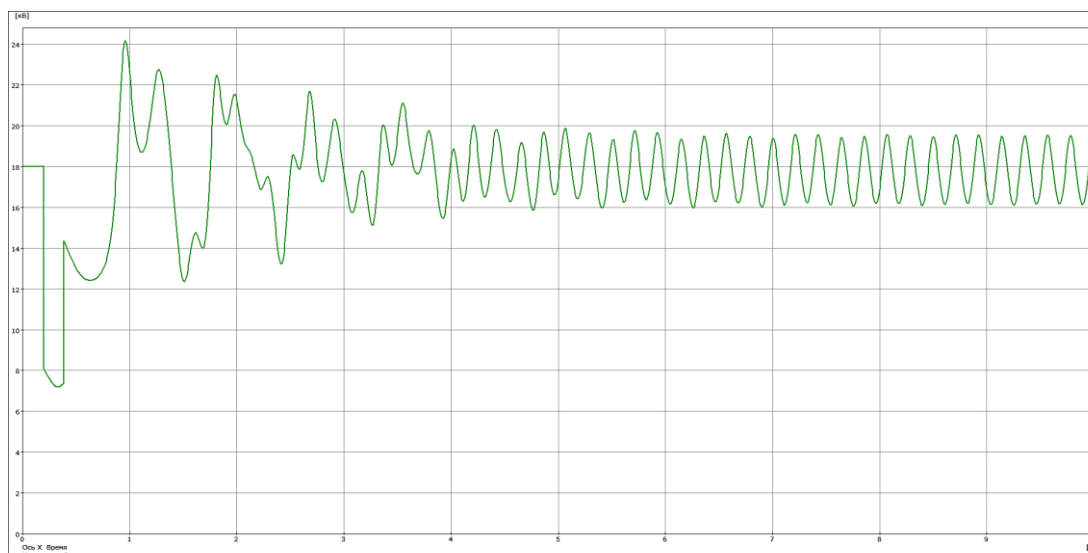


Рисунок 11 – Изменение напряжения генератора при сохранении устойчивости с форсировкой генератора

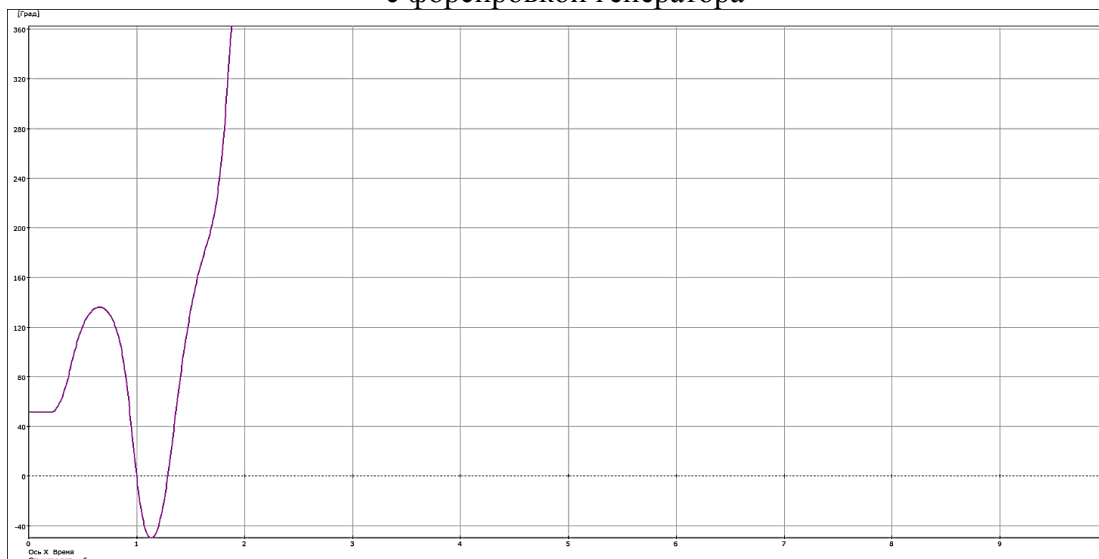


Рисунок 12 – Изменение угла  $\delta$  генератора при нарушении устойчивости с форсировкой генератора

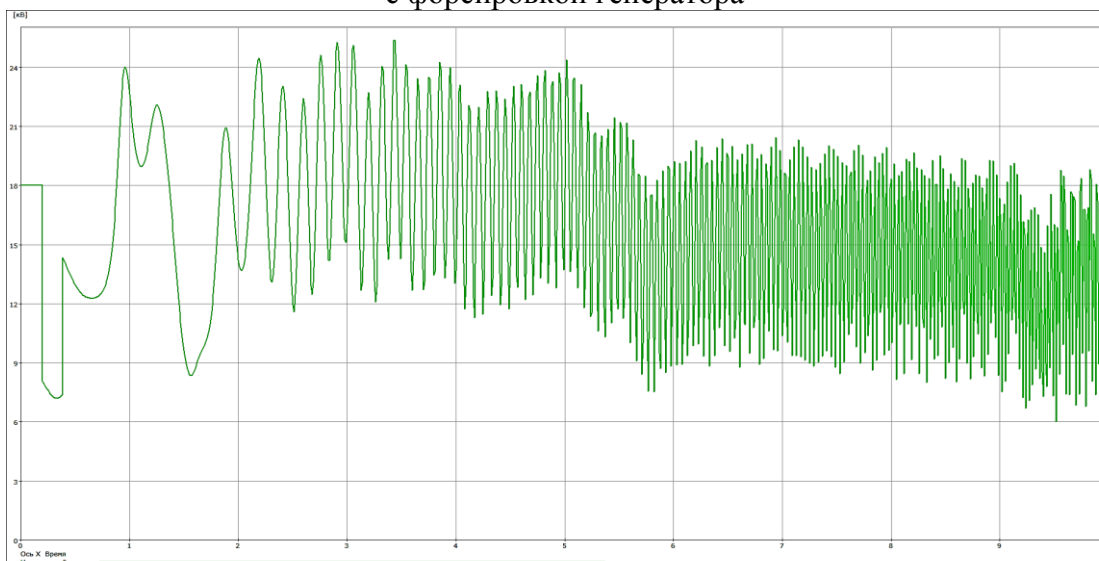


Рисунок 13 – Изменение напряжения генератора при нарушении устойчивости с форсировкой генератора

### **Заключение**

Из всего проделанного, можно сделать вывод, что форсировка действительно повышает устойчивость системы. Однако следует отметить, что для обеспечения быстродействия, системы возбуждения должны иметь высокий потолок возбуждения, так как для быстрой форсировки тока в роторе нужна не только высокая скорость изменения напряжения, но и его значение.

### **Литература**

1. Калентионок Е.В. Устойчивость электроэнергетических систем: учебное пособие / Е.В. Калентионок. Минск: Техноперспектива, 2008. – 375 с.
2. Вайнштейн, В.В. Программные комплексы в учебном проектировании электрической части станций: учебное пособие / В.В. Вайнштейн. Томск: Томский политехнический университет, 2010. – 123 с.

УДК 621.311

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ  
НА ДИНАМИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ  
INFLUENCE OF GENERATOR EXCITATION SYSTEM PARAMETERS  
ON THE DYNAMIC STABILITY OF THE POWER SYSTEM**

В.В. Гончарук, А.А. Петрович

Научный руководитель – А.А. Волков, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Petrovich, V. Goncharuk

Supervisor – A. Volkau, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

*Аннотация:* проведены расчеты и выполнена оценка влияния параметров системы возбуждения генератора на динамическую устойчивость электроэнергетической системы.

*Abstract:* calculations and evaluated the influence of the parameters of excitation systems on the dynamic stability of the electric power system.

*Ключевые слова:* регулирование возбуждения, динамическая устойчивость, электроэнергетическая система.

*Keywords:* excitation control, dynamic stability, electric power system.

**Введение**

Динамическая устойчивость является критическим аспектом надежной работы электроэнергетических систем, так как она влияет на стабильность напряжения, частоты и других электрических параметров. Недостаточная динамическая устойчивость может привести к колебаниям напряжения, падению частоты, а в крайних случаях даже к авариям и отключению энергосистемы.

Современные энергосистемы представляют собой сложные технические системы, состоящие из множества взаимосвязанных компонентов, включая генерацию, передачу электроэнергии, распределение и потребление. Одним из ключевых элементов в работе генераторов, являющихся основными источниками производства электроэнергии, является система возбуждения, отвечающая за поддержание определенного уровня напряжения на выходе генератора.

Параметры системы возбуждения, такие как коэффициенты регулирования, постоянная времени регулятора возбуждения и другие, имеют прямое влияние на динамическую устойчивость генераторов и энергосистемы в целом. Оптимальные значения этих параметров обеспечивают стабильную и надежную работу генераторов, а неправильная настройка может вызвать различные проблемы, такие как колебания напряжения, потери стабильности, перегрузки и даже аварийные ситуации.

**Основная часть**

Уравнения синхронных машин (СМ) соответствуют двум модификациям модели:

- без учета электромагнитных переходных процессов, т. е. с допущением

- о постоянстве ЭДС за некоторым реактивным сопротивлением;
- с учетом электромагнитных переходных процессов в контурах ротора.

Модель генератора без учета систем возбуждения описывается уравнениями движения ротора:

$$\frac{ds}{dt} = \frac{1}{M_j} \cdot [P_T - P_\Gamma - D \cdot P_{\text{НОМ}} \cdot (s - s_U)], \quad (1)$$

$$\frac{d\delta}{dt} = s \cdot \omega_{\text{НОМ}}, \quad (2)$$

где  $s$  – скольжение ротора СМ относительно синхронно вращающихся осей [о. е.],

$\delta$  – угол ротора СМ, т. е. угол между направлением вектора  $E_\Gamma$  и синхронно вращаючися осями [рад.],

$\omega_{\text{НОМ}}$  – синхронная скорость вращения,

$P_T$  – мощность турбины [МВт],

$P_\Gamma$  – электромагнитная мощность СМ [МВт],

$P_{\text{НОМ}}$  – номинальная активная мощность СМ [МВт],

$M_j$  – момент инерции СМ вместе с турбиной [МВт · с],

$D$  – коэффициент демпфирования [о. е.],

$s_U$  – скольжение вектора напряжения относительно синхронно вращающихся осей [о. е.].

Генератор с учетом электромагнитных переходных процессов в роторе моделируется при следующих основных допущениях:

- не учитываются апериодические составляющие переходных процессов в обмотках статора,
- несимметричные режимы воспроизводятся только токами и напряжениями прямой последовательности,
- не учитываются изменения в насыщении главной магнитной цепи и зубцового слоя,
- в продольной и поперечной осях СМ имеется по одному демпферному контуру,
- сверхпереходные сопротивления по продольной и поперечной осям равны, при этом значение сверхпереходного сопротивления  $X''$  вычисляется как

$$X'' = \frac{X''_d + X''_q}{2}, \quad (3)$$

- здесь допустимо полагать, что  $X''_q = X''_d$ , зависимость  $X''$  от  $\omega_U$  не учитывается.

В данной работе рассматривается влияние параметров независимого тиристорного возбуждения генератора на динамическую устойчивость. Независимое тиристорное возбуждение – это метод возбуждения генератора, при котором возбуждающий тиристорный выпрямитель подключен к независимому

источнику постоянного тока. Он обеспечивает автономное управление величиной тока возбуждения, что обеспечивает стабильность генерации электроэнергии даже в случае изменений в сети или возникновения возмущений.

Исследование будет проводиться на примере схемы, представленной на рисунке 1, в случае возникновения трехфазного короткого замыкания в точке K<sub>1</sub> (узел 6). На станции установлен генератор 2 ТГВ-200. Время действия трехфазного короткого замыкания  $t_{кз} = 0,15$  с.

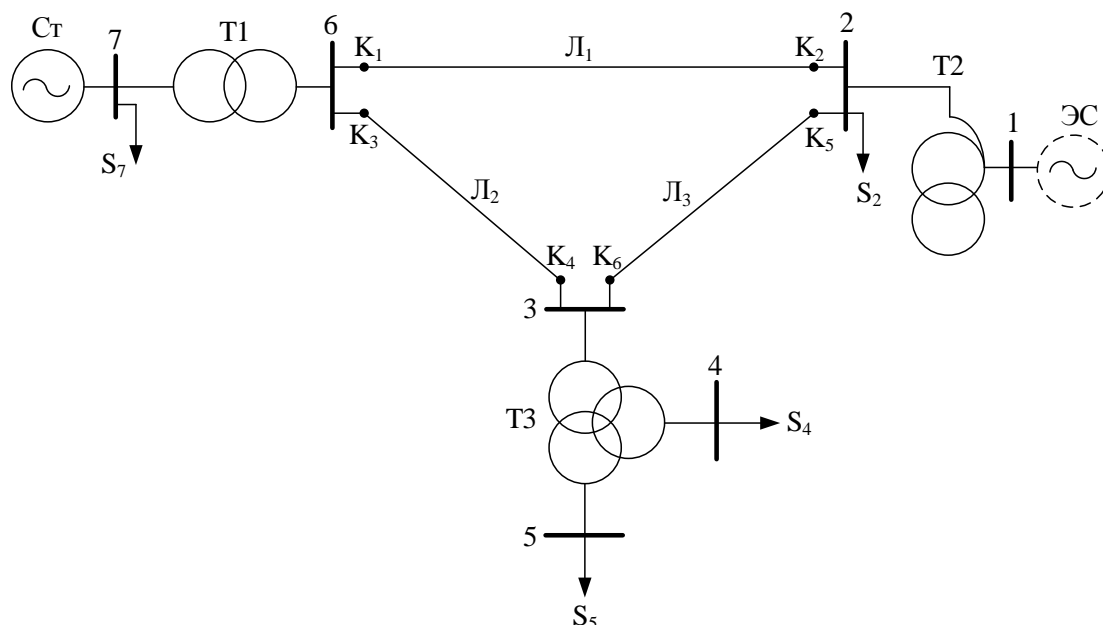


Рисунок 1 – Принципиальная схема энергосистемы

Оценка динамической устойчивости выполняется в программе MUS-TANG. На рисунках 2–3 представлены параметры генератора для упрощенной и полной моделей.

Генераторы	РС	РВ	Возбудители	СД	Форсировка					
N	U <sub>гном</sub>	P <sub>гном</sub>	COS(φ)	D	M <sub>j</sub> /T <sub>j</sub>	X'd	X <sub>d</sub>	X <sub>q</sub>	X''d	T'd0
1	110,00					0,419				
7	15,75	400	0,900		7,40	0,295	1,840	0,600	0,190	6,850

Рисунок 2 – Параметры полной модели генераторов

Генераторы	РС	РВ	Возбудители	СД	Форсировка					
N	U <sub>гном</sub>	P <sub>гном</sub>	COS(φ)	D	M <sub>j</sub> /T <sub>j</sub>	X'd	X <sub>d</sub>	X <sub>q</sub>	X''d	T'd0
1	110,00					0,419				
7	15,75	400	0,900	10,00	7,40	0,295				

Рисунок 3 – Параметры упрощенной модели генераторов

Информация о регуляторах возбуждения и возбудителях для полной модели генератора представлена на рисунках 4–5.

Генераторы	РС	РВ	Возбудители	СД	Форсировка				
N	Т <sub>рв</sub>	U <sub>рв+</sub>	U <sub>рв-</sub>	K <sub>u</sub>	K'u	K'if	K <sub>f</sub>	K'f	T <sub>f</sub>
7	0,040	6,000	-6,000	50,000	5,000	5,000	2,000	5,000	0,900

Рисунок 4 – Параметры регуляторов возбуждения для полной модели генераторов

Генераторы	РС	РВ	Возбудители	СД	Форсировка		
N	Nф	Nсист	Tв	Eqe+	Eqe-	Eq+	Eq-
7		1	0,040	2,000	-1,600	2,000	0,600

Рисунок 5 – Параметры возбудителей для полной модели генераторов

На рисунках 6–9 показаны зависимости контролируемых параметров от времени переходного процесса в зависимости от модели генератора и наличия регуляторов возбуждения.

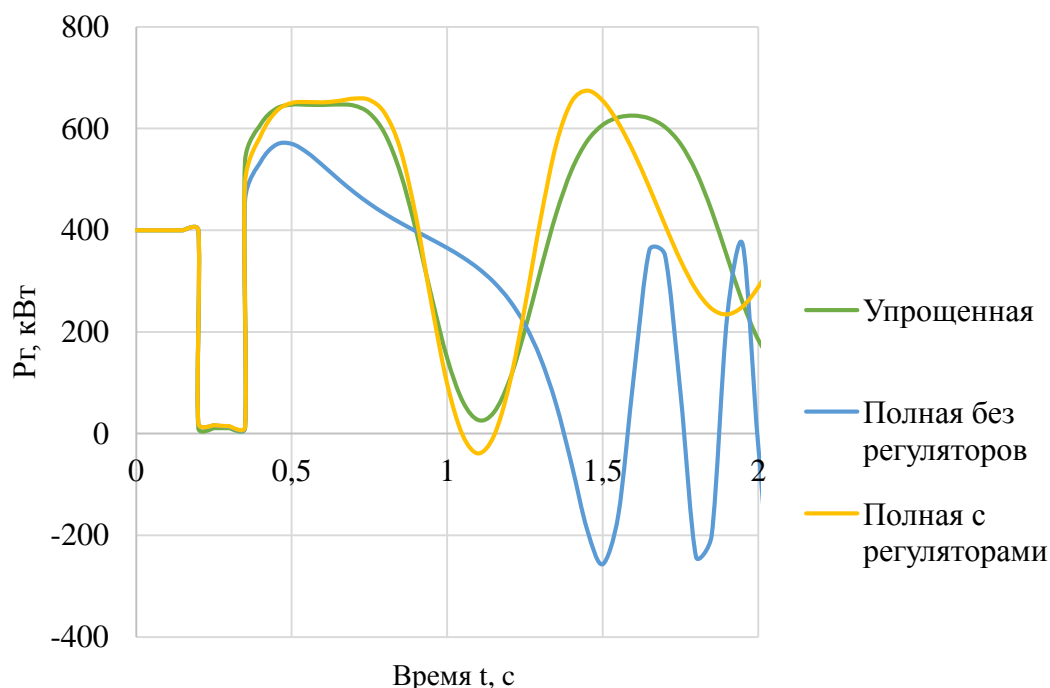


Рисунок 6 – Зависимость  $P_g$  в 7-ом узле от времени переходного процесса

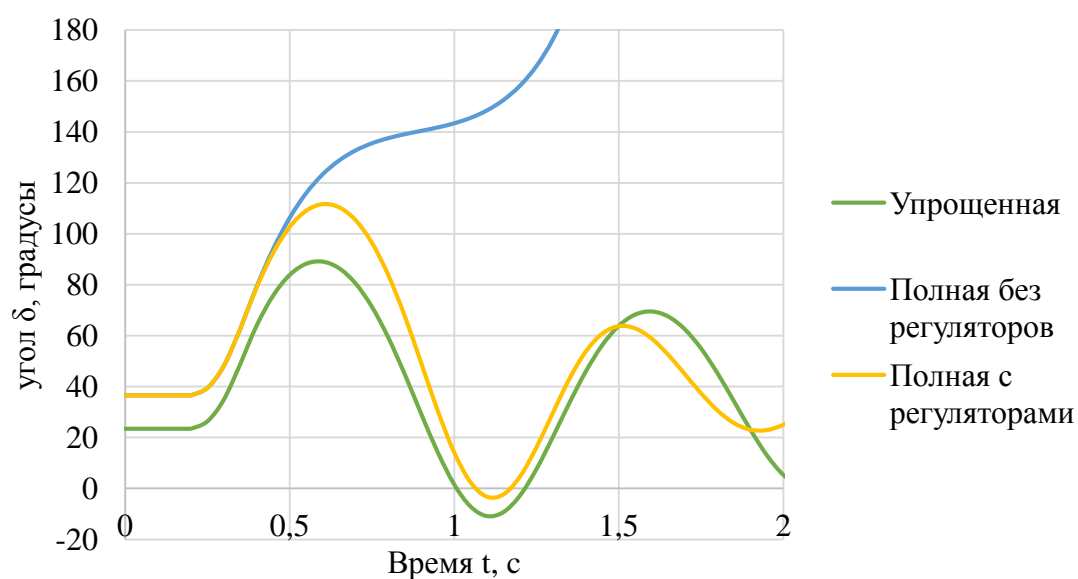


Рисунок 7 – Зависимость относительного угла роторов генераторов от времени переходного процесса

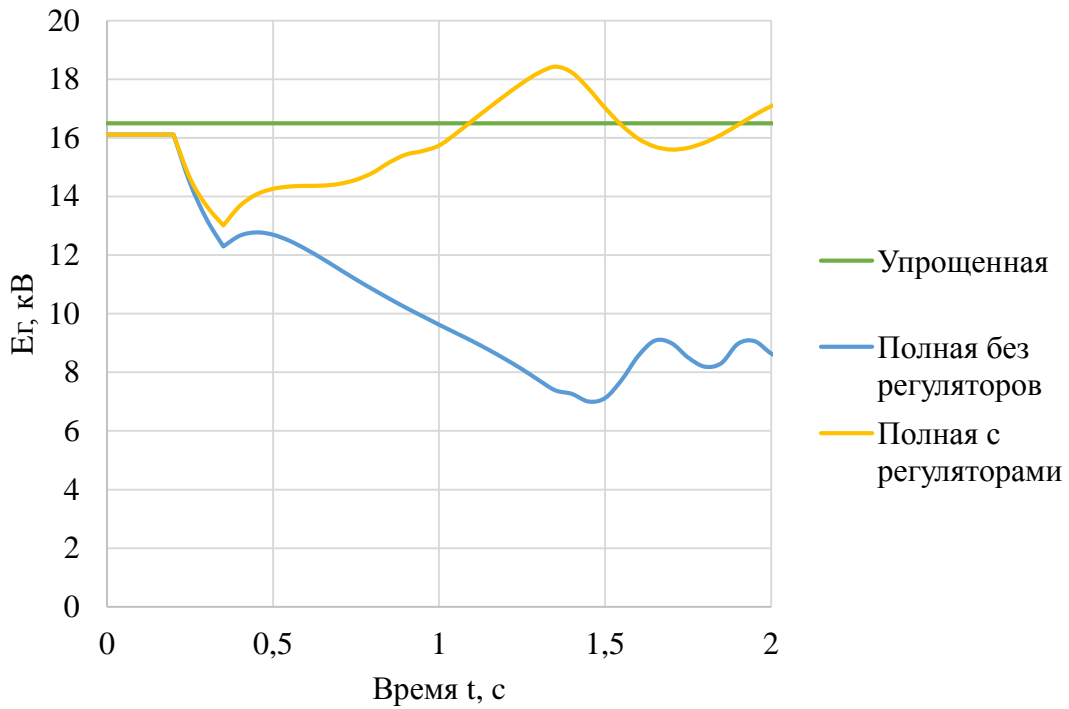


Рисунок 8 – Зависимость ЭДС в 7-ом узле от времени переходного процесса

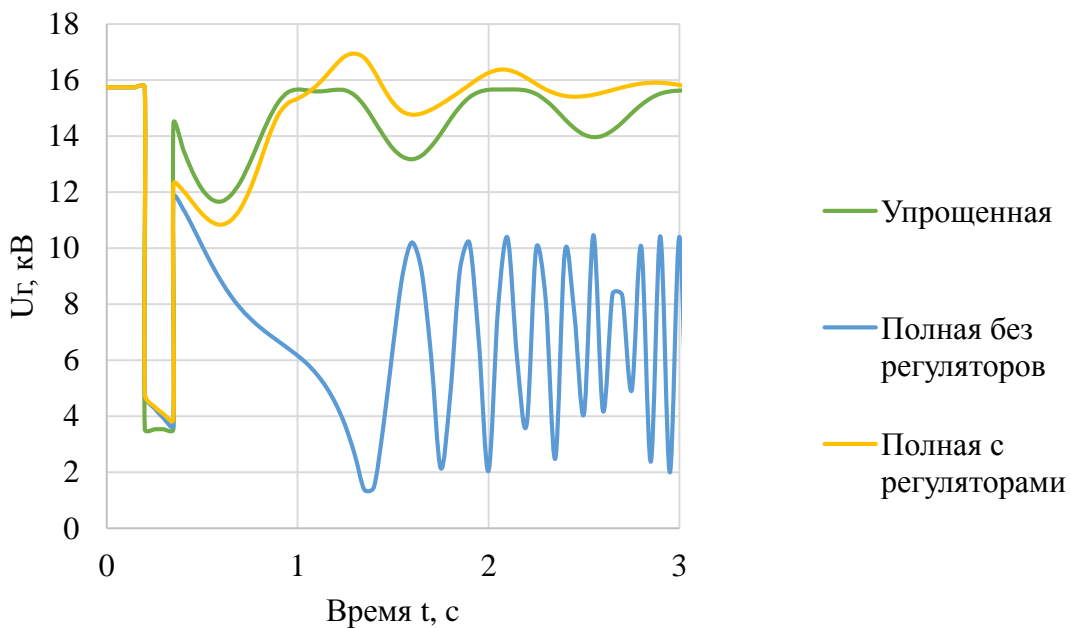


Рисунок 9 – Зависимость напряжения в 7-ом узле от времени переходного процесса

**Заключение**

Таким образом при времени действия трехфазного короткого замыкания  $t_{кз} = 0,15$  с для полной модели генераторов без регуляторов возбуждения динамическая устойчивость нарушается. В упрощенной модели генератора ЭДС представлена в виде постоянного значения, в полной модели генератора с регуляторами возбуждения учету ЭДС уделяется особое внимание. Регуляторы возбуждения регулируют ток возбуждения, чтобы обеспечить постоянство ЭДС на генераторе при различных условиях работы. Что касается изменения напряжения, то из рисунка 10 видно, что сброс напряжения при полной модели



генераторов с регуляторами возбуждения меньше, чем при упрощенной модели генератора.

Однако, стоит отметить, что выбор и оптимальное настройка системы возбуждения должны быть тщательно произведены с учетом конкретных условий работы энергосистемы, таких как ее конфигурация, нагрузки, тип генераторов и других факторов. Неправильный выбор или настройка системы возбуждения может, напротив, ухудшить динамическую устойчивость энергосистемы и привести к нежелательным последствиям.

### **Литература**

1. Вайнштейн Р.А. Программные комплексы в учебном проектировании электрической части электростанций: учебное пособие / Р.А. Вайнштейн, В.В. Шестакова, Н.В. Коломиец. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 123 с.
2. Калентионюк Е.В. Устойчивость электроэнергетических систем. Минск: Техноперспектива, 2008. – 375 с.

УДК 621.311

**ТЕСТОВАЯ СХЕМА IEEE RTS-96. ПАРАМЕТРЫ, РАСЧЕТ РЕЖИМА  
И ОСОБЕННОСТИ  
IEEE RTS-96 TEST CIRCUIT. PARAMETERS, MODE CALCULATION  
AND FEATURES**

Е.В. Радюк, М.А. Шешко

Научный руководитель – А.А. Волков, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

E. Radziuk, M. Sheshko

Supervisor – A. Volkau, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** в статье будет рассмотрена тема моделирования, расчёта и анализа установившегося режима тестовой схемы IEEE RTS-96 в ПК RastrWin. Начальная часть статьи будет посвящена введению в тему, описанию тестовой схемы, её элементов и особенностей. Далее будет рассмотрен процесс моделирования и расчёта тестовой схемы в ПК RastrWin. В заключительной части статьи будут представлены общие выводы по моделированию, расчёту и анализу установившегося режима. Статья будет полезна как для специалистов в области электроэнергетики и автоматики, так и для студентов, занимающихся проектированием и расчётом электроэнергетических систем.

**Abstract:** this article will address the topic of modeling, calculation and analysis of steady-state IEEE RTS-96 test circuit in the PC RastrWin. The initial part of the article will be devoted to an introduction to the topic, a description of the test circuit, its elements and features. Then will be considered the process of modeling and calculation of the test circuit in PC RastrWin. The final part of the article will present general conclusions on modeling, calculation and steady-state analysis. The article will be useful both for specialists in the field of power engineering and automation, as well as for students involved in the design and calculation of electric power systems.

**Ключевые слова:** Анализ, тестовая схема, моделирование, надёжность.

**Keywords:** Analysis, test pattern, simulation, reliability.

### **Введение**

IEEE RTS-96 - это тестовая схема, разработанная Институтом электротехники и электроники (IEEE) с целью тестирования и сравнения различных методов управления электроэнергетическими системами. Эта схема имитирует работу реальной электроэнергетической сети и состоит из различных элементов, таких как генераторы, трансформаторы, линии передачи и потребители. IEEE RTS-96 является одной из самых популярных тестовых схем в мире и широко используется исследователями и инженерами в области электроэнергетики. В этой статье мы рассмотрим основные характеристики IEEE RTS-96 и его возможности для проведения различных исследований в области управления и оптимизации электроэнергетических систем.

Тестовые схемы типа IEEE RTS используются для тестирования различных алгоритмов и методов управления электроэнергетическими системами. Они представляют собой комплексные модели, которые симулируют работу реальной энергосистемы и могут служить для проведения различных экспериментов и обучения специалистов. Благодаря использованию таких схем можно проверять работу различных технологий и методов управления, а также разрабатывать новые алгоритмы и технологии. Кроме того, тестовые схемы позволяют проводить исследования в области энергетики, анализировать эффективность работы различных электрических систем и оценивать их потенциал для дальнейшего развития.

### **Основная часть**

IEEE RTS-96 (Reliability Test System 1996) — это стандартный набор моделей элементов электроэнергетической системы, используемый для оценки надежности и устойчивости работы энергосистем.

Тестовая схема представляет собой модель энергосистемы, состоящей из 24 узлов и 38 линий передачи электроэнергии. Она включает три генератора (GT1, GT2 и GT3) и три потребителя (LD1, LD2 и LD3) различной мощности. Также в схему входят трансформаторы и автоматические выключатели для обеспечения безопасной работы системы. Все исходные данные, а также параметры режима по данной тестовой схеме представлены на рисунках 1-4 [1].

Тестовая схема IEEE RTS-96 широко используется в исследованиях и разработке новых технологий в области энергетики. Основные отличия тестовой схемы IEEE RTS-96 от других тестовых схем включают:

- разнообразие нагрузок: освещение, обогрев, кондиционирование воздуха;
- использование возобновляемых источников энергии: данная схема включает возможность использования возобновляемых источников энергии, таких как солнечные панели и ветрогенераторы;
- системы хранения энергии;
- тестовая схема позволяет моделировать различные аварийные ситуации в электроэнергетической системе (короткие замыкания и отказы оборудования);
- данная схема разработана для симуляции реального времени и позволяет тестировать системы управления и защиты в режиме реального времени;
- кроме вышеуказанных отличий, тестовая схема IEEE RTS-96 предоставляет широкий набор данных для анализа и оценки производительности систем управления электроэнергией, что делает ее одной из наиболее популярных систем для тестирования и разработки новых подходов к управлению энергосистемами.

В ходе расчета режима данной схемы при помощи программы RastrWin, мы получили результаты, представленные на рисунках 5 и 6.

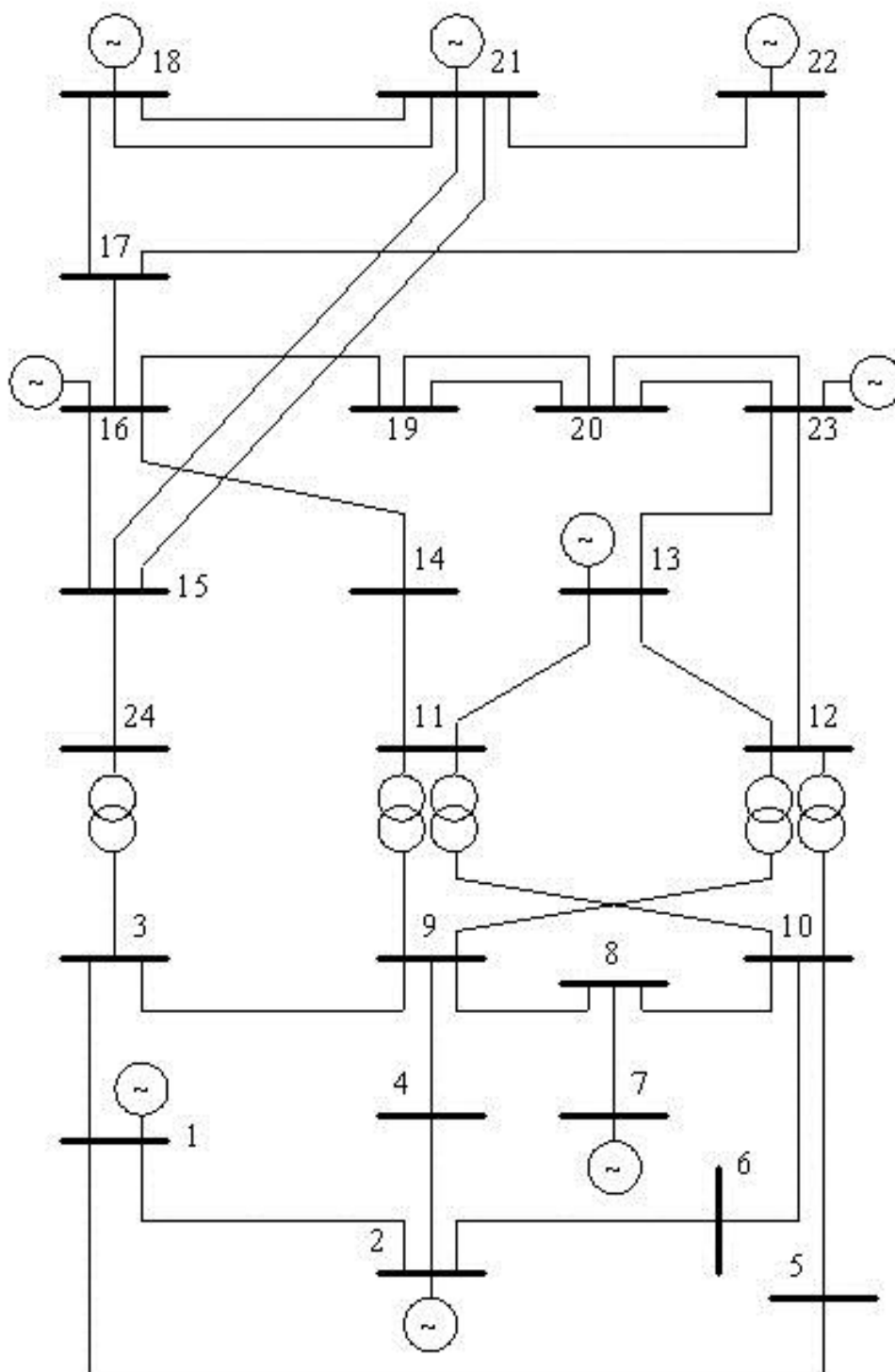


Рисунок 1 – IEEE RTS-96 тестовая схема, состоящая из 24 узлов

Данные по узлам

№уз	тип	Уном кВ	Вш (емк+ мСм инд-)	Напряжение фаза, град	Напряжение модуль, кВ	Мощность P, МВт	нагрузки Q, МВар	Мощность P, МВт	генерации Q, МВар	Пределы Qmax, МВар	генерации Qmin, МВар
1	2	138	-	-7.455	142.830	108.00	22.00	172.00	37.39	80.00	-50.00
2	2	138	-	-7.550	142.830	97.00	20.00	172.00	29.04	80.00	-50.00
3	1	138	-	-5.458	134.040	180.00	37.00	-	-	-	-
4	1	138	-	-9.782	136.266	74.00	15.00	-	-	-	-
5	1	138	-	-10.052	139.763	71.00	14.00	-	-	-	-
6	1	138	-100.00	-12.491	138.435	136.00	28.00	-	-	-	-
7	2	138	-	-7.577	141.450	125.00	25.00	240.00	62.83	180.00	0.00
8	1	138	-	-11.234	136.066	171.00	35.00	-	-	-	-
9	1	138	-	-7.364	135.610	175.00	36.00	-	-	-	-
10	1	138	-	-9.471	140.318	195.00	40.00	-	-	-	-
11	1	230	-	-2.174	228.442	-	-	-	-	-	-
12	1	230	-	-1.541	231.539	-	-	-	-	-	-
13	3	230	-	-0.000	234.600	265.00	54.00	187.70	117.87	240.00	0.00
14	2	230	-	2.245	225.400	194.00	39.00	-	-35.51	200.00	-50.00
15	2	230	-	11.548	233.220	317.00	64.00	215.00	-12.16	110.00	-50.00
16	2	230	-	10.432	233.910	100.00	20.00	155.00	44.38	80.00	-50.00
17	1	230	-	14.914	238.867	-	-	-	-	-	-
18	2	230	-	16.274	241.500	333.00	68.00	400.00	138.73	200.00	-50.00
19	1	230	-	8.900	235.347	181.00	37.00	-	-	-	-
20	1	230	-	9.511	238.853	128.00	26.00	-	-	-	-
21	2	230	-	17.100	241.500	-	-	400.00	106.91	200.00	-50.00
22	2	230	-	22.749	241.500	-	-	300.00	-29.55	96.00	-60.00
23	2	230	-	10.554	241.500	-	-	660.00	131.11	310.00	-125.00
24	1	230	-	5.274	225.883	-	-	-	-	-	-

Рисунок 2 – Исходные данные по узлам

Данные по ветвям

нач	кон	R, Ом	X, Ом	B, мСм (емк+ инд-)	Ктр
1	2	0.4951	2.6471	2.4212	-
1	3	10.3980	40.2209	0.3004	-
1	5	4.1516	16.0922	0.1202	-
2	4	6.2464	24.1287	0.1801	-
2	6	9.4649	36.5645	0.2731	-
3	9	5.8656	22.6624	0.1691	-
3	24	0.4380	15.9779	0.0000	1.666667
4	9	5.1038	19.7486	0.1476	-
5	10	4.3420	16.8159	0.1255	-
6	10	2.6471	11.5216	12.9122	-
7	8	3.0280	11.6930	0.0872	-
8	9	8.1318	31.4416	0.2347	-
8	10	8.1318	31.4416	0.2347	-
9	11	0.4380	15.9779	0.0000	1.666667
9	12	0.4380	15.9779	0.0000	1.666667
10	11	0.4380	15.9779	0.0000	1.666667
10	12	0.4380	15.9779	0.0000	1.666667
11	13	3.2269	25.1804	0.1888	-
11	14	2.8566	22.1122	0.1662	-
12	13	3.2269	25.1804	0.1888	-
12	23	6.5596	51.1014	0.3837	-
13	23	5.8719	45.7585	0.3437	-
14	16	2.6450	20.5781	0.1546	-
15	16	1.1638	9.1517	0.0688	-
15	21	3.3327	25.9210	0.1947	-
15	21	3.3327	25.9210	0.1947	-
15	24	3.5443	27.4551	0.2062	-
16	17	1.7457	13.7011	0.1030	-
16	19	1.5870	12.2199	0.0917	-
17	18	0.9522	7.6176	0.0573	-
17	22	7.1415	55.7037	0.4181	-
18	21	1.7457	13.7011	0.1030	-
18	21	1.7457	13.7011	0.1030	-
19	20	2.6979	20.9484	0.1575	-
19	20	2.6979	20.9484	0.1575	-
20	23	1.4812	11.4264	0.0860	-
20	23	1.4812	11.4264	0.0860	-
21	22	4.6023	35.8662	0.2692	-

Рисунок 3 – Исходные данные по ветвям

Параметры режима сети

нач	кон	Рнач,МВт	Qнач,МВар	Iнач,А	Ркон,МВт	Qкон,МВар	Iкон,А
1	2	12.33	-26.99	119.95	-12.33	-22.38	103.28
1	3	-7.91	30.49	127.31	8.52	-33.90	150.58
1	5	59.58	11.90	245.60	-58.83	-11.37	247.50
2	4	39.02	27.53	193.02	-38.29	-28.22	201.52
2	6	48.31	3.89	195.90	-47.20	-5.03	197.98
3	9	22.85	-16.28	120.84	-22.61	14.14	113.52
3	24	-211.37	13.18	912.19	212.46	26.70	547.31
4	9	-35.71	13.22	161.34	36.12	-14.36	165.49
5	10	-12.17	-2.63	51.46	12.21	0.30	50.25
6	10	-88.80	-123.60	634.73	89.89	-122.50	625.16
7	8	115.00	37.83	494.14	-112.77	-30.91	496.16
8	9	-36.33	10.53	160.49	36.98	-12.35	165.98
8	10	-21.90	-14.62	111.74	22.18	11.22	102.26
9	11	-105.35	-4.69	448.97	105.62	14.35	269.38
9	12	-120.14	-18.74	517.68	120.49	31.59	310.61
10	11	-151.72	42.47	648.27	152.27	-22.33	388.96
10	12	-167.55	28.51	699.31	168.19	-5.07	419.59
11	13	-86.29	-48.21	249.81	86.87	42.58	238.08
11	14	-171.60	56.18	456.34	173.41	-50.71	462.78
12	13	-60.51	-24.68	162.95	60.75	16.32	154.81
12	23	-228.18	-1.84	568.99	234.56	30.06	565.34
13	23	-224.92	4.97	553.67	230.34	17.78	552.31
14	16	-367.41	-23.80	943.08	374.46	70.48	940.49
15	16	112.23	-32.60	289.31	-111.94	31.12	286.77
15	21	-214.93	-41.97	542.12	217.84	53.65	536.35
15	21	-214.93	-41.97	542.12	217.84	53.65	536.35
15	24	215.63	40.37	543.07	-212.46	-26.70	547.31
16	17	-322.66	-33.86	800.78	326.01	54.42	798.88
16	19	115.14	-43.36	303.68	-114.71	41.65	299.37
17	18	-186.93	-58.70	473.56	187.56	60.49	471.15
17	22	-139.09	4.28	336.33	141.54	-9.26	339.10
18	21	-60.28	5.12	144.63	60.39	-10.26	146.45
18	21	-60.28	5.12	144.63	60.39	-10.26	146.45
19	20	-33.15	-39.32	126.17	33.26	31.35	110.48
19	20	-33.15	-39.32	126.17	33.26	31.35	110.48
20	23	-97.26	-44.35	258.38	97.55	41.63	253.56
20	23	-97.26	-44.35	258.38	97.55	41.63	253.56
21	22	-156.47	20.12	377.14	158.46	-20.29	381.92

Рисунок 4 – Параметры режима сети

	O	S	Тип	Номер	Наз...	U_ном	...	Pa...	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_зд	Q_min	Q_max	B_ш	Q_ш	V	Delta
1	<input type="checkbox"/>		Ген	1	2	138			108,0	22,0	172,0	32,3	142,8	-50,0	80,0			142,83	-2,58
2	<input type="checkbox"/>		Ген	2	2	138			97,0	20,0	172,0	23,8	142,8	-50,0	80,0			142,83	-2,72
3	<input type="checkbox"/>		Нагр	3	1	138			180,0	37,0								136,33	-0,28
4	<input type="checkbox"/>		Нагр	4	1	138			74,0	15,0								137,36	-5,42
5	<input type="checkbox"/>		Нагр	5	1	138			71,0	14,0								139,52	-5,15
6	<input type="checkbox"/>		Нагр	6	1	138			136,0	28,0						5 300,0	101	138,04	-7,60
7	<input type="checkbox"/>		Ген	7	2	138			125,0	25,0	240,0	58,9	141,5		180,0			141,45	-3,06
8	<input type="checkbox"/>		Нагр	8	1	138			171,0	35,0								136,39	-6,74
9	<input type="checkbox"/>		Нагр	9	1	138			175,0	36,0								137,59	-3,48
10	<input type="checkbox"/>		Нагр	10	1	138			195,0	40,0								139,88	-4,54
11	<input type="checkbox"/>		Нагр	11	1	230												230,18	-1,98
12	<input type="checkbox"/>		Нагр	12	1	230												232,03	-1,58
13	<input type="checkbox"/>		База	13	3	230			265,0	54,0	185,0	96,9	234,6		240,0			234,60	
14	<input type="checkbox"/>		Ген	14	2	230			194,0	39,0		-50,0	225,4	-50,0	200,0			225,80	2,09
15	<input type="checkbox"/>		Ген	15	2	230			317,0	64,0	215,0	-24,6	233,2	-50,0	110,0			233,22	10,87
16	<input type="checkbox"/>		Ген	16	2	230			100,0	20,0	155,0	32,1	233,9	-50,0	80,0			233,91	9,94
17	<input type="checkbox"/>		Нагр	17	1	230												238,89	14,36
18	<input type="checkbox"/>		Ген	18	2	230			333,0	68,0	400,0	136,8	241,5	-50,0	200,0			241,50	15,69
19	<input type="checkbox"/>		Нагр	19	1	230			181,0	37,0								235,46	8,52
20	<input type="checkbox"/>		Нагр	20	1	230			128,0	26,0								238,94	9,22
21	<input type="checkbox"/>		Ген	21	2	230					400,0	106,3	241,5	-50,0	200,0			241,50	16,49
22	<input type="checkbox"/>		Ген	22	2	230					300,0	-30,0	241,5	-60,0	96,0			241,50	22,16
23	<input type="checkbox"/>		Ген	23	2	230					660,0	123,7	241,5	-125,0	310,0			241,50	10,32
24	<input type="checkbox"/>		Нагр	24	1	230												227,57	3,89

Рисунок 5 – Результаты расчета установившегося режима в программе RastrWin по узлам

	O	S	Тип	N_нач	N_кон	...	I...	Назва...	R	X	B	G	Кт/r	P_нач	Q_нач	I_нач	P_кон	Q_кон	I_кон	Na	I max
1	<input type="checkbox"/>		лэп	1	2			2 - 2	0,50	2,65	-2 400,0			-17	28	131	-17	-21	110	131	
2	<input type="checkbox"/>		лэп	1	3			2 - 1	10,40	40,22	-300,0			13	-24	108	13	-28	130	130	
3	<input type="checkbox"/>		лэп	1	5			2 - 1	4,15	16,09	-100,0			-59	-14	247	-59	-13	249	249	
4	<input type="checkbox"/>		лэп	2	4			2 - 1	6,25	24,13	-200,0			-44	-20	195	-43	-21	202	202	
5	<input type="checkbox"/>		лэп	2	6			2 - 1	9,46	36,56	-300,0			-48	-5	195	-47	-7	198	198	
6	<input type="checkbox"/>		лэп	3	9			1 - 1	5,87	22,66	-200,0			-42	19	195	-41	18	188	195	
7	<input type="checkbox"/>		Тр-р	24	3			1 - 1	0,44	15,98			0,600	-235	-7	597	-235	10	995	597	
8	<input type="checkbox"/>		лэп	4	9			1 - 1	5,10	19,75	-100,0			31	-6	131	31	-7	133	133	
9	<input type="checkbox"/>		лэп	5	10			1 - 1	4,34	16,82	-100,0			12	1	51	12	-1	51	51	
10	<input type="checkbox"/>		лэп	6	10			1 - 1	2,65	11,52	-12 90...			89	122	632	90	-122	627	632	
11	<input type="checkbox"/>		лэп	7	8			2 - 1	3,03	11,69	-100,0			-115	-34	489	-113	-27	491	491	
12	<input type="checkbox"/>		лэп	8	9			1 - 1	8,13	31,44	-200,0			33	-2	139	33	-4	141	141	
13	<input type="checkbox"/>		лэп	8	10			1 - 1	8,13	31,44	-200,0			25	10	115	26	7	110	115	
14	<input type="checkbox"/>		Тр-р	11	9			1 - 1	0,44	15,98			0,600	-87	-11	219	-87	-9	365	219	
15	<input type="checkbox"/>		Тр-р	12	9			1 - 1	0,44	15,98			0,600	-112	-38	293	-111	-34	489	293	
16	<input type="checkbox"/>		Тр-р	11	10			1 - 1	0,44	15,98			0,600	-149	43	389	-149	50	648	389	
17	<input type="checkbox"/>		Тр-р	12	10			1 - 1	0,44	15,98			0,600	-175	16	437	-174	25	728	437	
18	<input type="checkbox"/>		лэп	11	13			1 - 3	3,23	25,18	-200,0			78	34	214	78	27	204	214	
19	<input type="checkbox"/>		лэп	11	14			1 - 2	2,86	22,11	-200,0			158	-67	429	159	-64	439	439	
20	<input type="checkbox"/>		лэп	12	13			1 - 3	3,23	25,18	-200,0			61	20	161	62	11	154	161	
21	<input type="checkbox"/>		лэп	12	23			1 - 2	6,56	51,10	-400,0			225	1	559	231	27	556	559	
22	<input type="checkbox"/>		лэп	13	23			3 - 2	5,87	45,76	-300,0			220	-5	542	225	19	540	542	
23	<input type="checkbox"/>		лэп	14	16			2 - 2	2,65	20,58	-200,0			353	25	905	360	65	902	905	
24	<input type="checkbox"/>		лэп	15	16			2 - 2	1,16	9,15	-100,0			-93	31	244	-93	28	240	244	
25	<input type="checkbox"/>		лэп	15	21			2 - 2	3,33	25,92	-200,0			217	42	547	220	53	542	547	
26	<input type="checkbox"/>		лэп	15	21			2 - 2	3,33	25,92	-200,0			217	42	547	220	53	542	547	
27	<input type="checkbox"/>		лэп	15	24			2 - 1	3,54	27,46	-200,0			-239	-26	595	-235	-7	597	597	
28	<input type="checkbox"/>		лэп	16	17			2 - 1	1,75	13,70	-100,0			318	35	790	321	55	788	790	
29	<input type="checkbox"/>		лэп	16	19			2 - 1	1,59	12,22	-100,0			-107	45	285	-106	42	280	285	
30	<input type="checkbox"/>		лэп	17	18			1 - 2	0,95	7,62	-100,0			183	60	465	184	59	461	465	
31	<input type="checkbox"/>		лэп	17	22			1 - 2	7,14	55,70	-400,0			138	-5	335	141	-9	338	338	
32	<input type="checkbox"/>		лэп	18	21			2 - 2	1,75	13,70	-100,0			58	-5	140	58	-10	142	142	
33	<input type="checkbox"/>		лэп	18	21			2 - 2	1,75	13,70	-100,0			58	-5	140	58	-10	142	142	
34	<input type="checkbox"/>		лэп	19	20			1 - 1	2,70	20,95	-200,0			37	40	134	38	29	115	134	
35	<input type="checkbox"/>		лэп	19	20			1 - 1	2,70	20,95	-200,0			37	40	134	38	29	115	134	
36	<input type="checkbox"/>		лэп	20	23			1 - 2	1,48	11,43	-100,0			102	42	266	102	39	261	266	
37	<input type="checkbox"/>		лэп	20	23			1 - 2	1,48	11,43	-100,0			102	42	266	102	39	261	266	
38	<input type="checkbox"/>		лэп	21	22			2 - 2	4,60	35,87	-300,0			157	-19	378	159	-21	384	384	

Рисунок 6 – Результаты расчета установившегося режима в программе RastrWin по ветвям

### Заключение

Использование тестовой схемы IEEE RTS-96 является важным шагом в развитии различных технологий и систем и позволяет повысить уровень их работоспособности, безопасности и надежности. Благодаря использованию данной схемы, компании могут оптимизировать и улучшить свои технологические процессы, а также повысить эффективность и надежность своей работы.

Установившийся режим тестовой схемы IEEE RTS-96 рассчитывается для оценки долгосрочного поведения электрической системы под воздействием различных нагрузок и изменений в сети. Эта информация может быть полезна для проектирования новых электрических систем или для оптимизации работы существующих систем, позволяя определить и устранить возможные проблемы, такие как перегрузки, нестабильность синхронизма и другие отклонения от нормальной работы системы.

Важно отметить, что результаты, полученные с помощью программы RastrWin, могут отличаться от тех, что были взяты из исходных источников, в связи с использованием разных программных средств. Данные отличия могут быть обусловлены как погрешностями программного обеспечения, так и округлением во время расчетов на ЭВМ.



### Литература

1. Отдел энергетики Института социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми научного центра УрО Российской АН [Электронный ресурс]/ Тестовые схемы. – Режим доступа: [http://energy.komisc.ru/dev/test\\_cases](http://energy.komisc.ru/dev/test_cases). – Дата доступа: 03.05.2023.
2. ELECTRIC GRID TEST CASE REPOSITORY [Электронный ресурс]/ IEEE 96-RTS Test System.–Режим доступа: <https://electricgrids.engr.tamu.edu/electric-grid-test-cases/ieee-96-rts-test-system/>. – Дата доступа: 03.05.2023.
3. Illinois [Электронный ресурс]/ Illinois Center for a Smarter Electric Grid (ICSEG). – Режим доступа: <https://icseg.iti.illinois.edu/power-cases/ieee-96-rts-test-system/>. – Дата доступа: 04.05.2023.

УДК 621.311

**МЕТОДИКА ОБНАРУЖЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЯ КАБЕЛЯ – ПРОЖИГ  
CABLE DAMAGE DETECTION METHOD – BURNING**

В.Н. Коршун, В.С. Вадейко

Научный руководитель – Д.Г. Ковзова, ассистент

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Korshun, V. Vadeiko

Supervisor – D. Kovzova, assistant

Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** В данной работе будет рассмотрена одна из методик обнаружения повреждения кабеля. Данный метод применяется в различных сферах деятельности: в телекоммуникации (поиск повреждения кабеля в линиях связи), электроэнергетике (для ремонта сетей низкого и среднего напряжения), в промышленности (неисправности в линиях и сетях), в автомобильной промышленности и жилищно-коммунальном хозяйстве. В основе метода лежит использование больших токов, создающий нагрев, что и позволяет найти место повреждения кабеля.

**Abstract:** This work will consider one of the methods for detecting cable damage. This method is used in various fields of activity: in telecommunications (searching for cable damage in communication lines, electric power industry (for repairing low and medium voltage networks), in industry (faults in lines and networks), in the automotive industry and housing and communal services. It is based the method involves the use of high currents, which creates heating, which makes it possible to find the location of cable damage.

**Ключевые слова:** прожиг кабеля, повреждение, методы, кабельные линии.

**Key words:** cable burning, damage, methods, cable lines.

**Введение**

Повреждения кабеля являются основополагающей причиной снижения надёжности, а также появления сопутствующих вторичных поломок, деформации, обжига дугой, поглощение влаги в месте повреждения. Помимо заводского брака, выделяется еще два вида повреждений – обрыв кабеля или одной из его жил и замыкание. Причинами таких повреждений могут являться многие факторы, такие как, механические поломки, вспучивание, разрушение оболочки и внешнего защитного слоя кабеля, химическая коррозия из-за содержания реагентов в почве.

**Основная часть**

Для определения метода обнаружения места повреждения необходимо выяснить характер повреждения кабеля, проходное сопротивление, а также место прокладки кабеля. Для более точного определения места повреждения, если есть возможность, пользуются несколькими методами. При отсутствии подходящих условий, инструментов или возможностей, то можно воспользоваться одним методом, применив его сразу для двух концов кабеля.

Кабельные линии подвергаются разного рода повреждениям, а именно, замыкание одной, двух или трех жил на землю или замыкание жил между собой, обрыв жил без заземления или с заземлением оборванных и необорванных жил. Когда кабели расположены в земле, то для обнаружения места повреждения используются комбинированные методы поиска. Найдя участок, производят раскопку и уже устраняют повреждение. Одним из видов повреждения является заплывающий пробой, который возникает при высоких напряжениях в виде короткого замыкания и исчезает при номинальном напряжении. Для обнаружения такого рода повреждений были разработаны некоторые методы, активно применяющиеся на практике. Перечислим существующие методы поиска зоны повреждения:

- метод колебательного разряда;
- импульсный метод;
- метод петли;
- метод прожигания изоляции;
- емкостной метод [1].

Более подробно рассмотрим один из перечисленных методов, а именно, метод прожигания изоляции или разрушающий метод. При выполнении данного метода применяют полупроводниковые выпрямительные установки с селеновыми или германиевыми выпрямителями. Но возможен и вариант с применением переменного тока от трансформатора. Принцип работы данного метода основывается на том, что при повреждении изоляции кабеля применяемыми установками, сопротивление изменяется. Если применять переменный ток, происходит нагрев области повреждения.

Этот метод прост в применении и позволяет достаточно точно определить место повреждения провода. Одним из главных преимуществ данного метода, является скорость нахождения повреждения, из чего следует быстрая ликвидация проблемы и возврат кабеля в эксплуатацию.

Начальный этап прожига изоляции кабеля происходит под высоким напряжением, но с низким током. При подаче такого напряжения по кабелю начинает протекать ток, происходит пробой изоляции, сопротивление кабеля изменяется. После данного этапа напряжение начинают понижаться, ток, в свою очередь, повышается, а сопротивление кабеля уменьшается с десятков кОм до единиц-десятков Ом. Такой процесс нахождения места повреждения можно осуществлять как с постоянным, так и с переменным током, зависит от рассматриваемой модели.

К типовым ситуациям относятся пробой в соединительной муфте. В процессе проведения прожига снижают напряжение, а затем его обратное повышение. Если повреждение происходит под толщей воды, то по кабелю протекает почти постоянное значение тока, такое же, как и сопротивление, которое находит в диапазоне 2-3кОм. В данном случае для нахождения места повреждения используется метод прожига, но с сопутствующим применением акустического и индукционных методов.

При прожиге кабеля при высоких значениях напряжения происходит пробой. После непродолжительного промежутка времени, примерно 5-10 минут, прожиг повторяют, напряжение пробоя будет уменьшаться, тогда используемую установку переводят на другую ступень прожига (таблица 1). Если при дальнейшем выполнении прожига напряжение пробоя снова начинает расти, то установку должны перевести на большее напряжение. Эти процессы будут выполняться до тех пор, пока не добьются низкоомных значений и металлического мостика, который образуется между жилами. Завершающим процессом является дожиг кабеля, который осуществляется на низких напряжениях и высоких токах. Автоматически подключается низковольтный источник после определенного значения падения напряжения. В таблице 1 отображена одна из схем прожига кабеля, где нижняя жила повреждена [1].

Таблица 1 – Характеристика ступеней прожигания

Ступень прожигания	Напряжение установки, кВ	Внутреннее сопротивление установки, кОм	Максимальный ток, А	Вид установки
I	30-50	500-100	0,1-0,5	Трансформатор с германием или масляно-селеновым выпрямителем
II	5-8	5-1	5-10	Трансформатор с германием или масляно-селеновым выпрямителем
III	0,05-0,5	0,05-0,0005	1000	Генератор высокой частоты, трансформатор с отпайками, сетевой трансформатор

Прожиг кабеля, как отдельный способ обнаружения мест повреждения, имеет свои методы проведения. Рассмотрим некоторые из существующих.

«Ступенчатый способ» является наиболее целесообразным и суть данного метода заключается в смене источников питания по мере снижения напряжения пробоя и переходного сопротивления в месте повреждения.

Резонансный метод так же широко применяется. Суть данного метода заключается в том, что параллельно прожигаемому кабелю подключается катушка высокого напряжения. В результате образуется резонансный контур, колебания в котором возбуждаются благодаря связи с катушкой. В контуре могут развиваться очень высокие значения реактивной мощности, а из сети низкого напряжения потребляется мощность примерно нескольких киловатт, которая идет на покрытие потерь. Преимуществом данного метода является портативная, легкая установка.

Если прожигание кабеля необходимо произвести в коллекторах или в кабельных сооружениях, то применяются полупроводниковые выпрямительные установки, но ток не более 3А.

На практике используются термический, химический и механический прожиги. Термический прожиг основан на использовании открытого пламени.

При выполнении данного прожига надо соблюдать осторожность и все прописанные привила. Химический прожиг применяется с использованием химических реагентов, необходимые для разрушения пластмассовых покрытий. Механически прожиг применяется с использованием механических средств для удаления электроизоляции. Преимущества и недостатки данных методов занесены в таблицу 2 [3].

Таблица 2 – Методы и их преимущества и недостатки

Метод	Преимущества	Недостатки
Механический метод	Безопасный; требует меньше специального оборудования	Требует больших усилий и времени
Термический метод	Более эффективный; быстрый процесс	Требует осторожности; повышенный риск пожара
Химический метод	Эффективный; нет необходимости в механической силе	Требует специальных предосторожностей; нуждается в хорошей вентиляции

Преимущества метода прожигания кабеля:

- позволяют предотвратить возможные аварии, поломки;
- снижает риск возникновения пожара, коротких замыканий и других опасных ситуаций;
- позволяет создать герметичные соединения между проводами, т.е. предотвратить расслоение и попадание влаги внутрь;
- увеличивает прочность и долговечность системы, т.к. в процессе слияния образуется сверх прочная оболочка;
- улучшает электрические характеристики;
- эффективность метода;
- применим для труднодоступных мест;
- прожженный кабель упрощает процесс монтажа, так как проводник легче протягивать через отверстия и каналы.

К недостаткам можно отнести:

- опасность пожара и выбросов;
- потеря некоторого количества металлической оболочки;
- экологическая проблема загрязнения окружающей среды [2].

В Республике Беларусь активно применяют прожиг кабеля для обнаружения мест повреждений кабеля. В зависимости от вида повреждения, от глубины залегания кабеля и других фактором, пользуются различными методами. Наиболее прогрессивный среди них – метод импульсной рефлектометрии, его также называют методом вторичного импульса. Рекомендуются так же использовать метод импульсного тока, в рамках которого получается использовать собственную емкость кабеля. В процессе работы применяется импульсный генератор, который имеет в конструкции импульсный переключатель замкнутого типа. Потенциальная емкость импульса значительно повышается при использовании собственной емкости кабеля [5].

Установки для прожига и диагностики кабеля весят достаточно много, а поврежденный кабель приходится искать где угодно: и в тоннеле, и под землей, и в кабельной сборке. Поэтому электролаборатории обычно оборудуют передвижные установки на базе автомобилей или автобусов. Кроме установки автомобиль оборудуется бензиновым или дизельным генератором.

Установки для прожига места повреждения силовых кабелей обычно не универсальны, рассчитаны под конкретный ряд напряжений, регулируемых ступенчато или не имеют ступеней регулировки. Приведем несколько примеров:

- установка АПУ 1-3М, выдаёт напряжение до 24 кВ, а ток до 30 А.
- установка ВУПК-03-25, напряжение 25 кВ, ток – 55А.
- установка ИПК-1, комбинированная, состоит из ВПУ-60 и МПУ-3 Феникс, прожигает напряжением до 60 кВ, выходные токи до 20А.
- низковольтная дожигающая установка: УД-300 и ВП-300, выдает 250 Вольт с током до 300А. Не имеют ступеней регулировки

### **Заключение**

Для того, чтобы определиться с методом поиска повреждения кабеля, необходимо установить характер повреждения: замыкание на землю одной фазы; замыкание двух или трех фаз на землю либо между собой; обрыв одной, двух или трех фаз, с заземлением или без заземления; заплывающий пробой изоляции; сложные повреждения.

Одним из широко применяемых методов является прожиг кабеля – процесс, требующий определенных знаний и навыков. Для проведения этого метода необходимо иметь специальное оборудование, например, источник тока, осциллограф или мультиметр сопротивления [5].

### **Литература**

1. Методы определения места повреждения кабеля. [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <https://extxe.com/22726/metody-opredelenija-mestapovrezhdenija-kabelja>. – Дата доступа: 23.10.2023.
2. Прожиг кабеля: назначение и важность. [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <https://lexcodex.ru/ask/prozig-kabelya-naznachenie-i-vaznost>. – Дата доступа: 23.10.2023.
3. Прожиг кабеля: способы и технологии. [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <https://sinospaces.ru/elektrika/prozig-kabelya-sposoby-i-texnologii>. – Дата доступа: 24.10.2023.
4. Поиск кабеля под землей и мест его повреждения. [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <https://tebolab.by/uslugi/kabelnye-linii/poisk-kabelya/>. – Дата доступа: 24.10.2023.
5. Прожиг кабеля при поиске повреждения: особенности и методы. [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <https://promenter.ru/elektrika/prozig-kabelya-pri-poiske-povrezdeniya-osobennosti-i-metody>. Дата доступа: 24.10.2023.



## СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

### ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

#### **ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА С АВТОМАТИЧЕСКИМ ОГРАНИЧЕНИЕМ ВРАЩАЮЩЕГО МОМЕНТА**

В.В. Гарновский, А.В. Василюк  
Научный руководитель – А.В. Горностай, к.т.н., доцент

#### **КОНТРОЛЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ**

Е.А. Шетик, И.В. Кулинич  
Научный руководитель – С.В. Константинова, к.т.н., доцент

#### **АВТОМАТИЗАЦИЯ ОСВЕЩЕНИЯ В ДОМЕ**

Д.В. Лагунов, Д.А. Козловская  
Научный руководитель – Ю.И. Богданов

#### **ВЛИЯНИЕ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА**

А.В. Кажуро, Д.П. Бортник  
Научный руководитель – Т.М. Ярошевич, старший преподаватель

#### **АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ**

И.Д. Васильцов  
Научный руководитель – С.В. Константинова, к.т.н, доцент

#### **ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

И.В. Кулинич  
Научный руководитель – К.В. Доброго, д.ф.-м.н.

#### **НОВЕЙШИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЕЧАХ СОПРОТИВЛЕНИЯ**

Д.В. Лагунов, Д.А. Козловская  
Научный руководитель – Ю.И.Богданов, ассистент

#### **СОЛНЕЧНЫЕ ПАНЕЛИ КАК САМЫЙ ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ**

Г.А. Судин, А.П. Нижникова  
Научный руководитель – Е.А. Дерюгина, к.т.н., доцент

#### **3D ПЕЧАТЬ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

Д.И. Траскевич  
Научный руководитель – Ю.И. Богданов, ассистент

#### **ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ДОМОХОЗЯЙСТВА**

И.В. Кулинич  
Научный руководитель – К.В. Доброго, д.ф.-м.н.



**ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП В УСЛОВИЯХ ГОЛОЛЕДА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

П.А. Крупень

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

**ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ**

В.И. Юрченко А.А. Зайцев

Научный руководитель – В.П. Счастный, к.т.н., доцент

**НЕТРАДИЦИОННАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

Н.А. Рассоха, А.А. Кандыбович

Научный руководитель – В.П. Счастный, к.т. н, доцент

**ЭФФЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ, ПРОЛОЖЕННЫХ В ТРУБАХ**

С.Г. Сидорович, Ю.П. Гловацкая

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

УДК 624.97

**ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА С АВТОМАТИЧЕСКИМ  
ОГРАНИЧЕНИЕМ ВРАЩАЮЩЕГО МОМЕНТА  
WIND POWER PLANT WITH AUTOMATIC TORQUE LIMITATION**

В.В. Гарновский, А.В. Василюк

Научный руководитель – А.В. Горностай, к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Harnovski, A. Vasiliuk

Supervisor – A. Gornostay, Candidate of Technical Sciences, Docent

Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** предложена схема ветроэнергетической установки, с автоматическим ограничением вращающего момента, который выполнен в виде цифрового решающего блока, снабженного цифровыми преобразователями частоты вращения генератора, напряжения и тока нагрузки, блоком программного управления, вычислительными блоками значений нагрузки и мощностной характеристики ветродвигателя, сравнивающим блоком, блоком допустимых отклонений, блоком вычисления отклонения от допустимого значения, блоком переключения, блоками формирования управляющих сигналов на подключение нагрузки.

**Abstract:** the scheme of a wind power plant with automatic torque limitation is proposed, which is made in the form of a digital decision block equipped with digital converters of the generator speed, load voltage and current, a software control unit, computational blocks of load values and power characteristics of the wind turbine, a comparing block, a block of permissible deviations, a block for calculating deviations from the permissible value, a switching block, blocks for generating control signals for connecting the load.

**Ключевые слова:** ветроэнергетическая установка, ветродвигатель, ветрогенератор, вращающий момент.

**Keywords:** wind power plant, wind turbine, wind generator, torque.

**Введение**

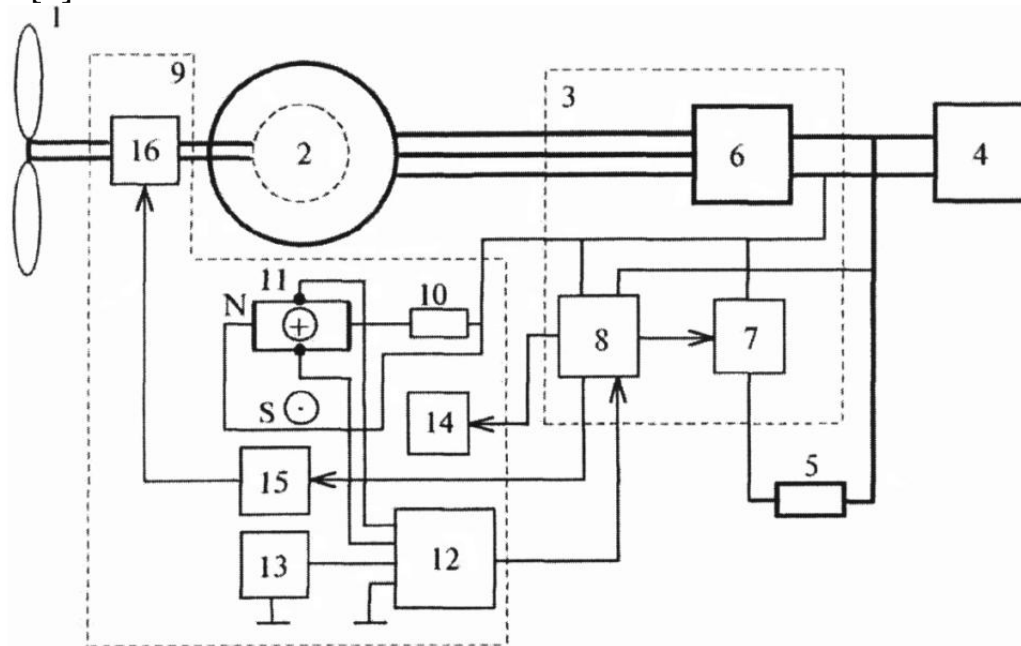
Известна ветроэнергетическая установка, содержащая ветродвигатель, генератор, датчики контролируемых параметров частоты вращения генератора, напряжения и тока нагрузки, подключенные к проверяемым выходам и регулятор, соединяющий генератор через соответствующие блоки коммутации с приоритетной и обычной нагрузками [1]. Недостатком такой ветроэнергетической установки является низкая эффективность управления генератором, поскольку в этом случае используется датчик ветра и импульсный генератор для подключения нагрузок. При этом хотя и обеспечивается электрическое торможение генератора в соответствии с законом работы ветродвигателя, тем не менее не происходит точной адаптации ветродвигателя к нагрузке, т. е. не обеспечивается его оптимальная по мощности загрузка. Все это значительно снижает коэффициент полезного действия ветроэнергетической установки.

### Основная часть

Предложено усовершенствование конструкции ветроэнергетической установки с целью увеличения её ресурсного срока путем оптимальной загрузки ветродвигателя при колебаниях скорости ветра.

Для этого в ветроэнергетической установке, содержащей ветродвигатель, генератор, датчики контролируемых параметров частоты вращения генератора, напряжения и тока нагрузки, подключенные к проверяемым выходам, добавлен автоматический ограничитель вращающего момента, выполненный в виде цифрового решающего блока, снабженного цифровыми преобразователями частоты вращения генератора, напряжения и тока нагрузки, блоком программного управления, вычислительными блоками значений нагрузки и мощностной характеристики ветродвигателя, сравнивающим блоком, блоком допустимых отклонений, блоком вычисления отклонения от допустимого значения, блоком переключения, блоками формирования управляющих сигналов на подключение нагрузки.

Структурная схема ветроэнергетической установки представлена на рисунке 1 [2].



- 1 – ветродвигатель; 2 – генератор; 3 – блок управления; 4 – аккумуляторная батарея;  
 5 – балластная нагрузка; 6 – выпрямитель; 7 – ключ; 8 – логическое устройство;  
 9 – устройство ограничения вращающего момента; 10 – датчик управляющего тока;  
 11 – датчик Холла; 12 – пороговый усилитель; 13 – блок питания; 14 – блок сигнализации;  
 15 – исполнительный орган; 16 – тормозная муфта.

Рисунок 1 – Функциональная схема ветроэнергетической установки

При резком увеличении скорости ветра возрастает текущее значение вращающего момента на его валу. В этом случае появляется сигнал рассогласования. Этот сигнал подается на вход логического устройства, которое выдает сигнал о перегрузке генератора и на включение тормозной муфты. Тормозная муфта ограничивает вращающий момент до тех пор, пока текущее значение вращающего момента не возвратится к допустимому.

В зависимости от скорости ветра процесс управления величиной вращающего момента повторяется. При этом тормозная муфта будет периодически включаться, обеспечивая тем самым эффективное регулирование величины вращающего момента.

### **Заключение**

Таким образом, за счет работы ветродвигателя в режиме ограничения вращающего момента на валу генератора, снижения осевого давления на вал и уменьшения вибраций конструкции обеспечивается увеличение ресурсного срока ветроэнергетической установки.

### **Литература**

1. Шефтер, Я.И. Использование энергии ветра. 2-е изд., перераб. и доп. / Я.И. Шефтер–М.: Энергоатомиздат, 1983. 200 с., ил.
2. Горноста́й А.В., Ролик Ю.А. Патент на полезную модель РБ 7688, опубл. 30.10.2011.

УДК 621.3

**КОНТРОЛЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН  
МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ  
CONTROL OF SURFACES OF PARTS OF ELECTRIC MACHINES  
BY LASERS SCANNING**

Е.А. Шетик, И.В. Кулинич

Научный руководитель – С.В. Константинова, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

E. Shetik, I. Kulinich

Supervisor - S. Konstantinova, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian National Technical University, Minsk

***Аннотация:** применение лазерного сканирования для контроля качества геометрических размеров деталей электрических машин.*

***Abstract:** the use of laser scanning for quality control of the geometric dimensions of electrical machine parts.*

***Ключевые слова:** сканер, луч, излучение, технологии, модель, электрическая машина.*

***Keywords:** laser, scanner, beam, x-ray, technology, model, electric machine.*

### **Введение**

Одними из важных требований к изготовлению частей электрических машин является точность. Технология контроля занимает особое место в машиностроении.

### **Основная часть**

По сравнению с привычными способами измерения, лазерные сканеры обладают важнейшим преимуществом — они способны оцифровывать различные объекты с поверхностями любой сложности и могут применяться в самых недоступных для человека местах. Главные области использования приборов — контроль качества на производстве, надзор за использованием работающих приборов в целях профилактики и ликвидации неисправностей. т.д.

При помощи такого метода появилась возможность сканирования значительной площади за небольшой промежуток времени, т.к. лазерная установка способна собирать одновременно до одного миллиона координат по всему диаметру. Данный фактор так же позволяет сократить количество ненужных «откатываний» техники для измерений.

Из-за высокой точности сканирования лазерного сканера в автоматическом режиме, вероятность возникновения ошибки практически отсутствует. Таким образом, применение лазерного сканирования даёт нам возможность сразу же получить точную информацию о цифровой модели объекта (рис. 1).

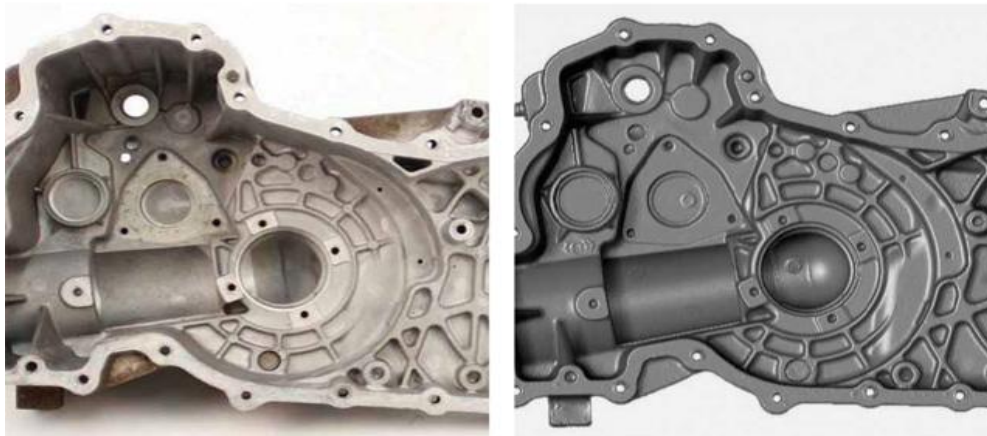


Рисунок 1 – Реальная деталь и её отсканированная модель

Лазерные сканеры – это такие устройства, которые выполняют трёхмерные измерения, а после используют с целью приобретения информации об исследуемых предметах, так же для их дальнейшей обработки и изучения при помощи компьютерных технологий. Лазерным сканерам не нужно взаимодействовать механически с исследуемым объектом, их можно применять для углубленного или выборочного 3D-измерения различных физических объектов. Большая часть таких сканеров создаёт точки предельной плотности по сравнению с привычными устройствами контактного измерения, что позволяет сделать исследование измеряемого объекта более информативным.

Одними из самых популярных моделей метрологических измерений являются HandyPROBE и MetraSCAN. HandyPROBE – это переносная координатно-измерительная машина, которая способна заменить обычные измерения габаритов объекта простейшими измерительными приборами (линейки, рулетки и т.п.), с её помощью можно измерить предметы простой формы (плоскости, конусы, цилиндры и т.д.) и сохранять результаты измерений в виде САПР-данных. MetraSCAN – лазерный 3D-сканер, который предназначен для высокоскоростного сканирования и выполнения высокоточных измерений крупногабаритных объектов самых сложных форм.

Принцип работы лазерного сканера.

Принцип работы лазерного сканера основан на триангуляционном методе измерения расстояния до объекта, т.е. практически как в геодезии, а именно в определении пространственного местоположения специально закрепленных на местности пунктах в вершинах целого ряда треугольников. Принцип лазерного сканирования состоит в выражении объекта из физической формы в цифровую, посредством сбора нужной информации о геометрических размерах и формах исследуемого элемента, с дальнейшим созданием копии в трёхмерном формате. При помощи полученных цифровых данных появляются огромные перспективы последующей работы с ними: полученную модель можно изменять в соответствии с определёнными требованиями, меняя её размеры и форму.



В сканере используются источник лазерного луча высокой плотности пучка, который отличается от привычного света, после попадания на поверхность. В результате отражения луча от предмета часть пучка попадает в приемник (рис. 2).

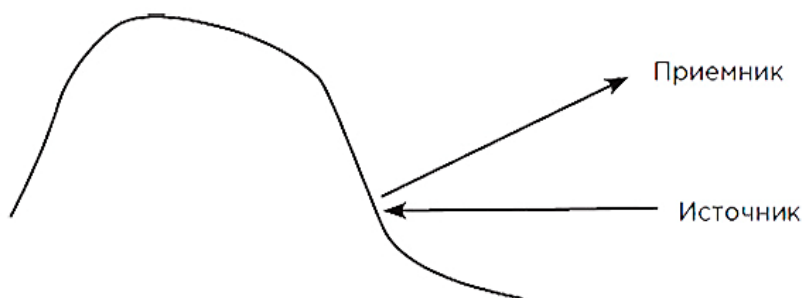


Рисунок 2 – Схема работы лазерного сканера

Из этого следует, что положение точки лазера на приёмнике изменяется в зависимости от расстояния до объекта и угла между ними. Принимая во внимание, что приёмник лазерного луча и источник статичны и находятся на установленном расстоянии, мы можем определить угол отражения простым геометрическим построением.

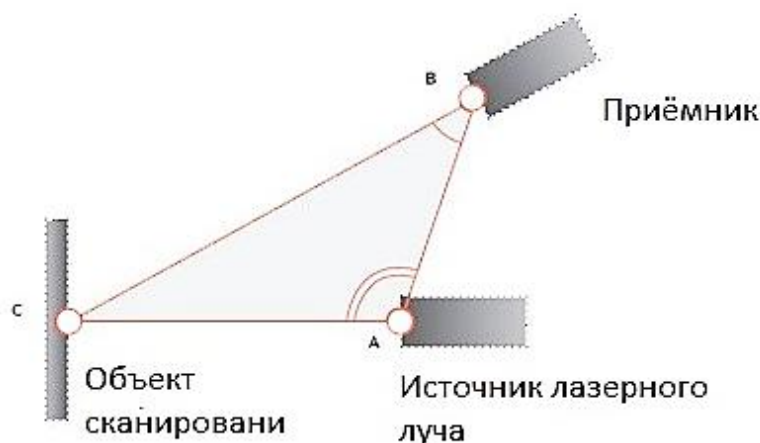


Рисунок 3 – Геометрическая схема

Применение технологии лазерного сканирования открывает и решает следующие виды задач, такие как:

- изготовление деталей, давно снятых с производства взамен вышедшей из строя или если нецелесообразно приобретение ремкомплекта для всей установки;
- способность сохранения уникальных деталей в цифровом формате с дальнейшей доработкой скана изделия и т.д.
- конкурентный анализ продукта;
- измерение среды эксплуатации или сопрягаемых деталей;
- изучение формы экспериментального объекта для подтверждения правильности концепции.



- Выделяют несколько направлений в использовании 3D-сканера:
- контроль геометрических параметров исследуемого объекта.
- воссоздание трёхмерной модели для реверс-инжиниринга и упрощения прототипирования.

Обратное проектирование (реверс-инжиниринг) – это исследование готового объекта с последующим созданием полигональной модели. Инженер, занимающийся обратным инжинирингом, работает в некоторой степени как археолог. Главная цель его работы - восстановить модель детали, для дальнейшего получения аналогичного продукта.

Одним из ярких примеров по выполнению считывания лазерным сканером размеров с объекта являются медные стержни генератора, где измерения производятся при помощи трёхмерной съёмки лазером сканера. Главная задача этой научной работы состоит в том, чтобы проверить насколько соответствуют параметры уже готовых деталей. В первую очередь, при изготовлении статора должны проектироваться стержни статора, для которых и задаются все характеристики. Стержни представляют собой многослойные медные детали, которые содержат участки, имеющие выгнутые участки, а также вращательный элемент. Чтобы придать заготовке нужную форму, используют формообразующий шаблон. После всех манипуляций, полученная деталь должна чётко встать в соответствующие пазы статора и их концы должны совпасть. В действительности, большое влияние в проектные данные формообразующего шаблона оказывают различные явления, в частности, остаточное напряжение (которое является неотъемлемым свойством металла). На производстве может произойти несостыковка деталей генератора из-за отсутствия достаточно точных измерительных приборов, поэтому бывает невозможно оценить геометрические параметры произведенных изделий.

Чтобы проверить геометрические параметры, как правило, изготавливается упрощенный макет статора, на который в последующем крепятся изготовленные стержни, также выгоднее с экономической точки зрения изготовить макет, чем реальный статор. Часто сложно дать конкретную оценку качеству изготовленных деталей, т.к. макет статора всё-таки отличается от реальной конструкции статора. Поэтому с целью более качественного геометрического контроля параметров деталей, оптимизации и сокращения стоимости производства появилась необходимость альтернативного метода. Для оценки точности изготовления возможно применять трехмерное сканирование, чтобы воссоздать их в трехмерной модели. С помощью компьютера можно имитировать нахождение стержней внутри электрической машины и заранее определить ошибку несостыковки деталей.

Такие работы можно выполнять лазерным сканером Mensi GS20 (табл. 1).  
Таблица 1 – Основные технические характеристики лазерного сканера Mensi GS20

Дальность действия	До 350 м
Точность измерения расстояний	2,5 мм
Минимальный угловой шаг сканирования	0,0018 градусов

Для исследования возможностей лазерного использован стержень длиной 2,67 м, а на рисунке 4 продемонстрирован внешний вид.



Рисунок 4 – Стержень обмотки статора

При визуальном контроле нескольких 3D моделей заметно минимальное отклонение размеров изделия из-за наличия погрешности в измерительной установке. Если сравнивать данный опыт с механическими измерениями (в нашем случае – штангенциркуль) точность точечной модели лежит в пределах 3 – 5 мм.

Точечные модели верхнего и нижнего стержней представлены в виде блоков (рис. 5).

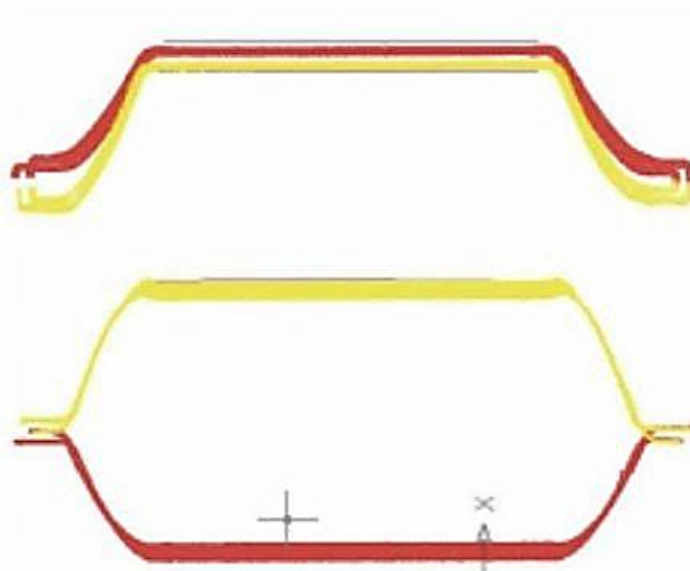


Рисунок 5 – Чертеж стержней в двух проекциях

Чтобы определить реальное положение объектов, в программе были созданы необходимы оси, аналогичные действительному положению деталей в статоре. Местная система координат была расположена вдоль основных осей деталей. В результате всех испытаний, в плоскостях этой системы координат

получилось построить чертежи деталей с последующим размещением промеров необходимых участков.

Применение технологии 3D сканирования позволяет получить модель исследуемого объекта с необходимыми размерами за малый промежуток времени, в отличие от механических, но класс точности используемого сканера не представляется для дальнейшего применения в производстве деталей

### **Заключение**

Однако сам опыт позволяет говорить о скорейшем глобальном распространении в мире измерений прогрессивного метода контроля с помощью лазерных 3Dсканеров. Можно утверждать, что данная статья в значительной степени отвечает на вопросы контроля геометрических характеристик элементов электрических машин методом лазерного сканирования.

### **Литература**

1. Лазерное 3D- сканирование и портативные КИМ для контроля геометрических параметров и обратного проектирования [Электронный ресурс]/ Лазерное 3D –сканирование. – Режим доступа: <https://ostec-group.ru/group-ostec/pressroom/articles/tekhpodderzhka/lazernoe-3d-skanirovanie-i-portativnyye-kim-dlya-kontrolya-geometricheskikh-parametrov-i-obratnogo-pr/> . – Дата доступа: 24.10.2022.

2. Контроль геометрических характеристик элементов электрических машин методом лазерного сканирования [Электронный ресурс]/ Лазерное сканирование. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontrol-geometricheskikh-harakteristik-elementov-elektricheskikh-mashin-metodom-lazernogo-skanirovaniya/viewer>. –Дата доступа: 24.10.2022.

УДК 628.92

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ОСВЕЩЕНИЯ В ДОМЕ  
AUTOMATION OF LIGHTING IN THE HOUSE**

Д.В. Лагунов, Д.А. Козловская  
Научный руководитель – Ю.И. Богданов  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
D. Lagunov, D. Kozlovskaya  
Supervisor – Y. Bogdanov  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** *разновидности осветительных приборов, подбор управляющих устройств для каждого вида, методы взаимодействия пользователя с системой автоматизации.*

**Abstract:** *the types of lighting devices, the selection of control devices for each type, the methods of user interaction with the automation system.*

**Ключевые слова:** *освещение, автоматизация, управление, приборы, источники.*

**Keywords:** *lighting, automation, control, devices, sources.*

**Введение**

В наше время частью современного комфортного жилья является система освещения. В наши дни большинство людей стремится добавить освещению дополнительные функции. Например, автоматическое включение и выключение света, поддержание необходимого уровня освещённости, управление цветом подсветки в зависимости от времени суток и многое другое. Это не только создает комфорт, но и экономит электрическую энергию. Воплотить это в реальность можно с помощью системы автоматизированного управления освещением. Эта система может быть частичкой «умного дома» или самостоятельным решением.

Выпускается большое количество различных устройств, которые позволяют построить «умные» системы различной сложности.

**Основная часть**

Автоматизация освещения – сфера, которая используется для дистанционного мониторинга и управления наружным и внутренним освещением.

Как же устроена автоматизация освещения?

Категории, на которые делится оборудование в системах автоматического управления освещением:

- осветительные приборы: лампы, светильники, светодиодные ленты и т.п.;
- устройства управления освещением: реле, диммеры;
- источники управления: клавишные выключатели, датчики, сенсорные панели и т.п.;
- контроллеры;
- вспомогательные устройства: блоки питания, модули передачи данных, усилители мощности и т.д.

Системы автоматизации освещения влияют на качество жизни и стоимость дома. «Автоматизация освещения» — широкое понятие, охватывающее все, от системы управления сценой в одной комнате до системы управления внутренним и внешним освещением всего дома.

Автоматизация домашнего освещения уже не является только предметом роскоши, а стала частью образа жизни из-за снижения затрат и сложности. Система управления освещением для всего дома, вариант самого высокого уровня, может включать в себя контроллеры сцены (обычно комнатные или зональные), центральный контроллер (с таймером и программированием), диммерную стойку и процессор (в зависимости от производителя), дистанционное управление (s), датчики присутствия/движения и связанные с ними устройства, такие как фотоэлементы, телефон, система безопасности, Интернет и низковольтные интерфейсы для интеграции освещения с другими системами.

Автоматизированные системы управления освещением могут быть проводными или беспроводными. Проводные системы включают в себя центральную панель управления с низковольтной проводкой для подключения компонентов по всему дому. Для беспроводных систем могут потребоваться компоненты центрального управления или они могут быть построены из комбинаций переключателей, диммеров и контроллеров сцен, которые сами по себе являются проводными, но взаимодействуют друг с другом по беспроводной связи. В беспроводных системах команды отправляются либо по радио, либо по линии электропередач. Проводные системы должны быть подключены к дополнительной низковольтной проводке для передачи команд, в то время как беспроводные системы обмениваются данными по беспроводной сети или через существующие линии электропередач.

Основными функциями системы являются программируемое затемнение по запросу и управление включением-выключением для определенных комнат или зон осветительных приборов. Что касается затемнения, основная идея заключается в программировании «сцен» или различных уровней освещенности для приборов в одной или нескольких цепях, которые запоминаются и вызываются нажатием кнопки. Сцены доступны через клавиатуру или контроллер сцен, которые объединяют функцию потенциально нескольких диммеров в одно устройство на стене и могут быть переопределены центральной клавиатурой или контроллером. Сцены могут быть утилитарными (для повседневной жизни) или настроением (для создания желаемой атмосферы).

Например, в радиочастотной системе, когда домовладелец нажимает кнопку на клавиатуре системы, команда на включение света отправляется с помощью радиочастотных сигналов на диммеры и переключатели, назначенные этой кнопке. Как только команда достигает диммера или переключателя и достигается назначенный уровень освещенности, устройство отправляет сигнал подтверждения обратно в систему управления о том, что команда была выполнена правильно.

Для проводной системы, когда домовладелец нажимает кнопку на системной клавиатуре, команда на включение света отправляется по

низковольтным проводам связи на диммеры и переключатели, назначенные этой кнопке, и, в свою очередь, ответ отправляется обратно на контроллер для подтверждения действия.

Лучшая система часто определяется потребностями владельца, бюджетом и возрастом дома. Беспроводные системы предлагают преимущества в ситуациях модернизации, устраняя затраты и неудобства, связанные с прокладкой проводов через стены.

Улучшение образа жизни.

Образ жизни является основным аргументом в пользу потребителей. Автоматизированное управление может повысить комфорт и безопасность.

Во время чрезвычайной ситуации освещение может автоматически активироваться, чтобы осветить выход из дома, его можно запрограммировать на комфорт ребенка в соответствии с детским расписанием». Автоматизированное управление освещением также может обеспечить ощущение театра в доме, создать различные настроения и сцены, активировать наружное освещение во время вторжения, чтобы отпугнуть грабителей, и позволить домовладельцу выключать освещение во всем доме с помощью одной кнопки.

Система домашней автоматизации может управлять такими системами окружающей среды, как освещение, отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха и жалюзи; системы связи, такие как электронная почта и Интернет; развлекательные системы, такие как стереосистема, телевизор, видеомагнитофон/DVD и стереосистема; и системы безопасности, такие как сигнализация, контроль доступа и видеонаблюдение. С помощью системы домашней автоматизации можно управлять освещением, термостатом, системами безопасности и аудио/видео системами с одной клавиатуры.

### **Заключение**

Системы автоматизации освещения часто интегрируются в системы домашней автоматизации. Освещение является неотъемлемой частью создания правильного настроения в пространстве и в сочетании с другими элементами дизайна интерьера дома, может создать привлекательную эстетику. Опыт проектирования дома является обязательным, когда речь идет о достижении правильного эффекта для автоматизированной схемы освещения.

### **Литература**

1. Автоматизация освещения [Электронный ресурс]/ автоматизация освещения. -Режим доступа:<https://wirenboard.com/ru/pages/lighting/>– Дата доступа: 5.11.2022.
2. Автоматизация освещения [Электронный ресурс]/ автоматизация освещения. -Режим доступа: <https://ap-n.com/avtomatizacija-osveshhenija/>– Дата доступа: 4.11.2022.



УДК 621.311

**ВЛИЯНИЕ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА  
НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА  
INFLUENCE OF LED LIGHT SOURCES ON THE HUMAN BODY**

А.В. Кажуро, Д.П. Бортник

Научный руководитель – Т.М. Ярошевич, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Kazhuro, D. Bortnik

Supervisor – T. Yaroshevich, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** рассматриваются вопросы отрицательного влияния светодиодных источников света на организм человека, а также его причины, обусловленные принципом действия и технологией устройства.

**Annotation:** the issues of the negative impact of LED light sources on the human body, as well as its causes, due to the principle of operation and technology of the device, are considered.

**Ключевые слова:** Светодиодные источники света, негативное влияние, монокристаллы, кристаллизация, пульсация, свет, светильники, поток, человек, аппарат, волна, влияние, зрение.

**Keywords:** LED light sources, negative impact, monocrystals, crystallization, pulsation, light, fixtures, flow, person, apparatus, wave, influence, vision.

### **Введение**

Еще совсем недавно светодиодные источники света были новинкой техники, а сейчас светодиодное освещение широко распространено и используется во всех сферах жизни: светодиодные фонари встречаются не только в крупных городах, большое количество офисных помещений, гостиниц и административных зданий освещаются светодиодными источниками света.

### **Основная часть**

Составными частями большинства светодиодных ламп являются: 1) кристаллы светодиодов, являющиеся источником света и располагающиеся на специальной текстолитовой плате; 2) рассеиватель (полусфера для рассеивания света); 3) драйвер, необходимый для выпрямления напряжения при его перепадах; 4) радиатор, который необходим для эффективного отвода тепла от компонентов лампы; 5) цоколь (обеспечение надежного контакта с патроном и предотвращение коррозии). Напряжение на выходе зависит от числа светодиодов и того, по какой схеме они включены. Для равномерного распределения света по всей площади используется рассеивающая колба, которая также выполняет функцию защиты от различных повреждений.

Кристалл полупроводника физически способен излучать свет лишь одной определенной длины волны (один цвет, но почти любой из видимого диапазона). Люминофор используется в качестве покрытия, которое наносится на кристаллы для получения белого цвета. Также для этих целей используются светодиоды нескольких цветов (комбинированные).



Монокристаллы выращивают из расплава. В тигель из тугоплавкого материала загружают шихту – поликристаллический кремний. Туда же добавляют легирующие присадки: бор, фосфор и другие элементы, которые определяют будущий тип проводимости кремния. Для расплавления шихты используют нагреватели сопротивления. Система экранов обеспечивает заданное распределение температуры в зоне кристаллизации. Над тиглем помещают затравку – небольшой монокристалл кремния с заданной ориентацией. В рабочей камере создают требуемый вакуум. Защитную среду образует инертный газ — аргон. Объем газа контролируют расходомером. Обязательна охлаждающая система. Температура плавления шихты равна 1420 градусов по Цельсию. Тиглю и затравке придают вращательное движение для того, чтобы направить имеющиеся в расплаве примеси от центра к периферии и получить слиток цилиндрической формы. Затравку медленно поднимают, вытягивая из расплава формирующийся монокристалл. Слиток приобретает такую же ориентацию, как и затравка.

Особо чистые монокристаллы кремния получают методом зонной плавки. Слиток нагревают высокочастотным индуктором. Плавку ведут в вакууме или в атмосфере инертного газа. Узкая зона расплава медленно перемещается вдоль оси слитка, оттесняя примеси к верхнему его концу. Загрязненные примесями участки слитка потом отрезают. Современная микроэлектроника допускает наличие примесей не более  $10^{-9}$  степени частиц на единицу объема. Погрешность и формы слитка исправляют калибровкой на круглошлифовальном станке. Слиток при выращивании получает ориентацию с некоторым отклонением от заданного кристаллографического направления. Его уточняют с помощью установки рентгеновского ориентирования. После этого на торце слитка проводят контрольную риску, определяющую положение базовой плоскости. Базовую плоскость слитка получают на плоскошлифовальном станке. Она служит основанием для точной установки слитка для последующей резки.

Светодиодные источники света имеют определенные преимущества по сравнению с другими видами ламп:

- Достаточно высокая отдача света (30%).
- Экономичность.
- Долгий срок службы.
- Возможность включения мгновенно.
- Возможность безопасной эксплуатации и утилизации.

Однако, имеются некоторые недостатки:

- Дороговизна.
- Мерцание, несущее пагубное влияние для здоровья человека.
- Наличие понижающего преобразователя. Это является причиной ещё большего возрастания стоимости изделия.
- Большое количество бракованной продукции.

Свет представляется в качестве волны, которая переносит электромагнитные колебания, либо в качестве фотонов. Скорость света выше в пространстве без препятствий для него (пустом). Если свет проходит сквозь

какое-то прозрачное вещество (например, воду), то электрическое поле потока не успевает раскачать ядра атомов и электроны их внутренних оболочек. Такое движение вызывает реакцию электронов, которые недостаточно сильно удерживаются ядрами (внешних). В то же время электроны повторяют движение волны света, при этом испуская свет. Длина волны и направленность света такие же, как и у падающего излучения. Затем эти волны суммируются. Однако результирующая волна оказывается медленнее первичной. Замедление волны является одной из причин колебаний светового потока.

При переменном напряжении будут присутствовать пульсации излучаемого света, связанные с постоянными перепадами напряжения.

Также пульсации возникают при неисправности лампы.

Пульсация светового потока характеризует искусственное освещение и его источники. Она показывает, насколько качественный источник (определение частоты пульсаций).

Пульсации в лампах – это изменения потока света с такой частотой, которая вдвое больше, чем частота электрической сети (пульсации возможны также с частотами 50, 200, 300 Гц).

Сами колебания по своей сути напоминают гармонические (физическая величина изменяется с течением времени синусоидально или косинусоидально).

Существует специальный показатель, определяющий пульсации – коэффициент пульсации (Кп).

По ГОСТ 33393-2015 коэффициент пульсации вычисляется:

$$K_{\Pi} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2 \cdot E_{\text{ср}}} \cdot 100, \quad (1)$$

где  $E_{\min}$ ,  $E_{\max}$ ,  $E_{\text{ср}}$  – минимальное, максимальное и среднее значение освещенности.[2]

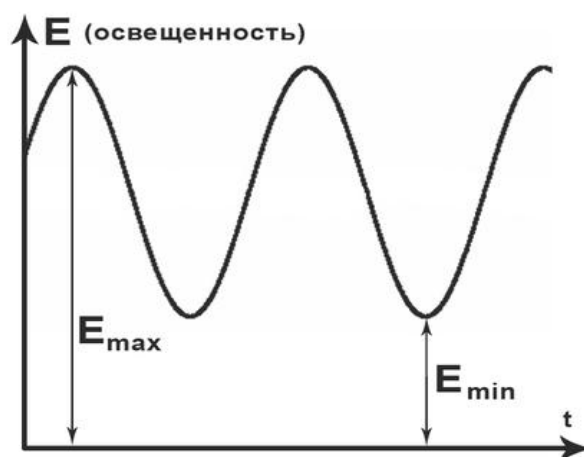


Рисунок 1 – Пульсация освещенности во времени

Пульсации света несут два вида опасностей для человека:

- стробоскопический эффект;
- влияние на аппарат зрения.

При стробоскопическом эффекте представляется, что предметы, которые вращаются, кажутся неподвижными. Данный эффект опасен и приводит к травматизму на производстве с тяжелыми последствиями. Для его устранения на производствах близкие друг к другу светильники подключают к различным фазам сети. Фазы сдвигаются на 120 градусов. Минимумы и максимумы потока не совпадают во времени. За счет этого пульсации значительно уменьшаются. Стробоскопический эффект перегружает аппарат зрения. При величине пульсаций 40% и выше достаточно около 1-2 минут, чтобы человек почувствовал его влияние на организм. Мозг уже перестает справляться с поступающей информацией. Зрительный аппарат переутомляется, так как мозг расходует много ресурсов, чтобы исправить информацию, которая поступает в зрительный аппарат. [3]

Если в этой информации присутствует пульсация, то происходит воздействие на глазную сетчатку. Информация поступает в зрительный тракт, затем в первичной зрительной коре происходит анализ. В итоге легко описать характер информации и то, как она была получена: контраст изображения, цвета, яркость, наличие или отсутствие пульсации. Если параметры изображения не устраивают мозг человека, то происходит невольное приспособление к восприятию.

Доказано, что человеческий мозг и его аппарат зрения также реагирует на изменения зрительной информации до частоты 300 Гц. В этом случае свет, который попал в глаз, проходит к супрахиазматическим клеткам и паравентрикулярным ядрам гипоталамуса, а также к шишковидной железе. Это влияет на наш гормональный фон, циркадные ритмы, работоспособность, энергичность.

Пульсации, превышающие частоту 300 Гц, не производят какого-то заметного влияния на организм человека, так как сетчатка глаза перестает реагировать на слишком интенсивные изменения светового потока.

Если рассматривать светильники с точки зрения создающих ими пульсаций светового потока, то можно выделить:

- светильники с пульсациями менее 5% (высокое качество). Такие светильники не перегружают аппарат зрения (нет стробоскопического эффекта);
- светильники с пульсациями 5% -20% (качество удовлетворительное). Такие светильники немного перегружают аппарат зрения, но это не критично;
- светильники с пульсациями 20%-40% (качество низкое). Такие светильники способны вызывать плохое самочувствие (усталость, головокружение, повышение артериального давления);
- светильники с пульсациями выше 40% (качество недопустимо низкое). Происходит сильное воздействие на зрительный аппарат человека. [4]

## **Заключение**

Светодиодные источники света являются весьма многофункциональными, и имеют ряд достоинств, среди которых основными можно выделить

экономичность и долговечность. Однако, ввиду их строения, они имеют ряд показателей, негативно влияющих на жизнедеятельность и организм человека. По этой причине такие нормативные акты, как СН 2.04.03-2020 “Естественное и искусственное освещение”[1], СанПиН от 28.06.2013 № 59“Требования при работе с видеодисплейными терминалами и электронно-вычислительными машинами”[5], ТКП-45-2.04-153-2009, ограничивают сферы использования данных источников света

### Литература

1. Естественное и искусственное освещение: СН 2.04.03-2020. – Введ. 24.03.21(с отменой на территории РБ ТКП 45-2.04-153-20 (02250)).– Минск :РУП Стройтехнорм, 2021. – 63 с.
2. Здания и сооружения. Методы измерения коэффициента пульсации освещенности: ГОСТ 33393-2015. – Введ. 01.01.2017.– 12 с.
3. Пульсации ламп [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://electromontaj-proekt.ru/nashi-stati/proektirovanie/pulsacii-lamp/>. – Дата доступа 20.10.2022.
4. Пульсации освещённости и яркости [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://ekosf.ru/stati/pulsacii/>. – Дата доступа 20.10.2022.
5. Требования при работе с видеодисплейными терминалами и электронно-вычислительными машинами: СанПиН от 28.06.2013 № 59. – Введ. 22.07.13(с отменой на территории РБ СанПиН 9-131 РБ 2000). – Минск: Республиканский научно-практический центр гигиены, 2013. – 28 с.

УДК 621.039

**АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ  
SMALL-CAPACITY NUCLEAR POWER PLANTS**

И.Д. Васильцов

Научный руководитель – С.В. Константинова, к.т.н, доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

I. Vasiltsov

Supervisor – S. Konstantinova, Candidat of Technical Science, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** Эта статья углубляется в сферу атомных электростанций малой мощности, изучая их определение, преимущества, проблемы и различные типы. Данная статья ориентирована главным образом на их применение в конкретном контексте, предлагает ценную информацию о потенциальных преимуществах и соображениях интеграции малых реакторов в энергетическую систему.

**Annotation:** This article delves into the realm of small-capacity nuclear power plants, exploring their definition, benefits, challenges, and different types. This article focuses primarily on their application in a specific context, offering valuable information on the potential benefits and considerations of integrating small reactors into the energy system.

**Ключевые слова:** ядерная энергетика малой мощности, малые модульные реакторы (ММР), микрореакторы, усовершенствованные конструкции реакторов, ядерная энергетика, энергетическая безопасность, выбросы парниковых газов, энергетическая устойчивость, энергетические проблемы.

**Keywords:** small-capacity nuclear power, small modular reactors (SMRs), microreactors, advanced reactor designs, nuclear energy, energy security, greenhouse gas emissions, energy sustainability, energy challenges.

**Введение**

В мире, который сталкивается с двойной проблемой изменения климата и постоянно растущим спросом на энергию, роль ядерной энергетики высоко оценивается. Устойчивые и низкоуглеродные источники энергии, атомные электростанции малой мощности становятся многообещающим решением, заслуживающим внимания.

Хотя упоминание ядерной энергетики может вызывать ассоциации с массивными реакторами, генерирующими огромное количество электроэнергии, атомные электростанции малой мощности предлагают другой подход. Эти компактные и универсальные ядерные установки предназначены для обеспечения локализованного производства электроэнергии, что делает их важнейшим компонентом в поисках чистой энергии как в региональном, так и в глобальном масштабе.

**Основная часть**

В данной работе рассмотрены атомных электростанций малой мощности, их преимущества и потенциальные проблемы, возможности эксплуатации.

Определение АЭС малой мощности.



Атомная электростанция малой мощности, часто называемая малым модульным реактором (ММР), представляет собой ядерную установку, предназначенную для выработки электроэнергии в относительно небольших масштабах по сравнению с традиционными большими ядерными реакторами (рисунок 1).

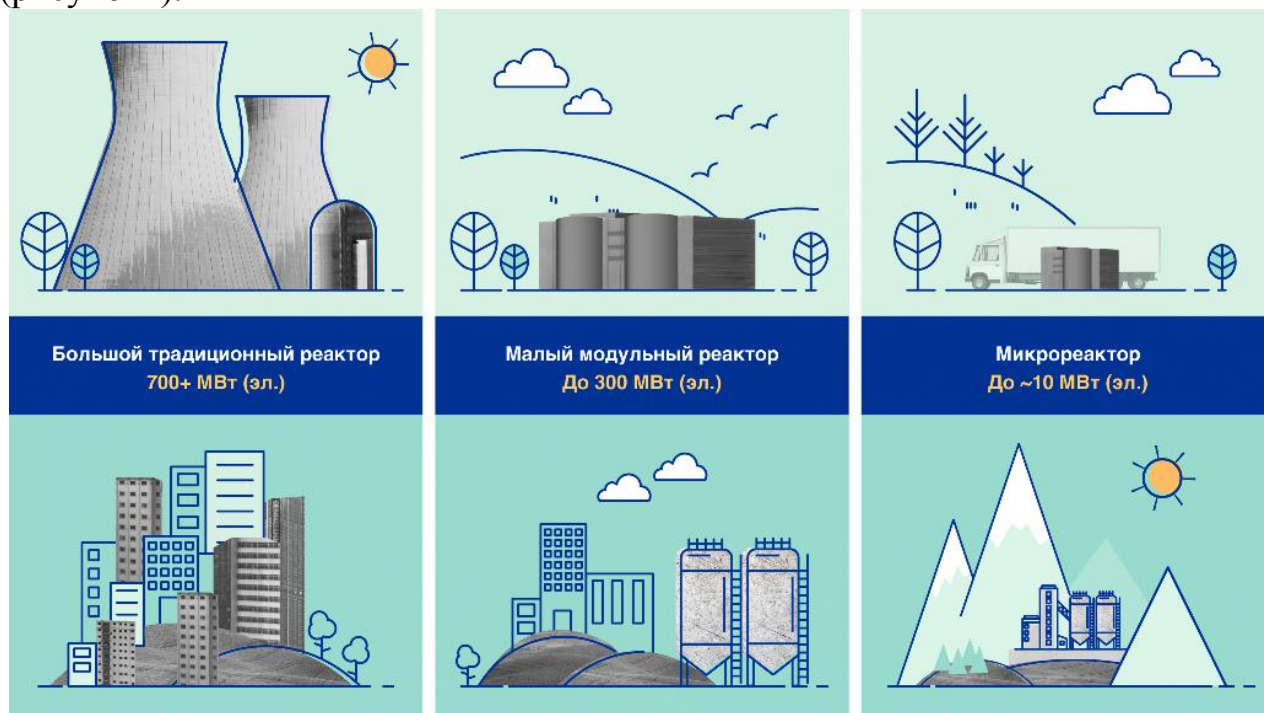


Рисунок 1 – Сравнительные размеры атомных электростанций

Виды АЭС малой мощности.

Малые модульные реакторы (ММР) (Рисунок 2). Это компактный и универсальный ядерный реактор, который вырабатывает электроэнергию в меньших масштабах, чем обычные атомные электростанции. ММР характеризуются модульной конструкцией, которая позволяет изготавливать их на заводе, а затем транспортировать к месту установки. В последние годы ММР вызвали интерес как многообещающий вариант устойчивого и надежного производства энергии, особенно в регионах с различными потребностями в энергии и требованиями к инфраструктуре. Их «модульность» и расширенные функции безопасности делают их потенциальным решением для решения энергетических проблем при одновременном снижении воздействия на окружающую среду.



Рисунок 2 – Малые модульные реакторы (ММР)

Микрореактор (рисунок 3). Это исключительно небольшой ядерный реактор, предназначенный для обеспечения надежного и гибкого источника энергии в компактном корпусе. Эти реакторы характеризуются уменьшенными физическими размерами и упрощенной конструкцией, что делает их пригодными для широкого спектра применений. Их небольшой размер, гибкость и универсальность делают их хорошо подходящими для применений, требующих эффективных и компактных источников ядерной энергии.

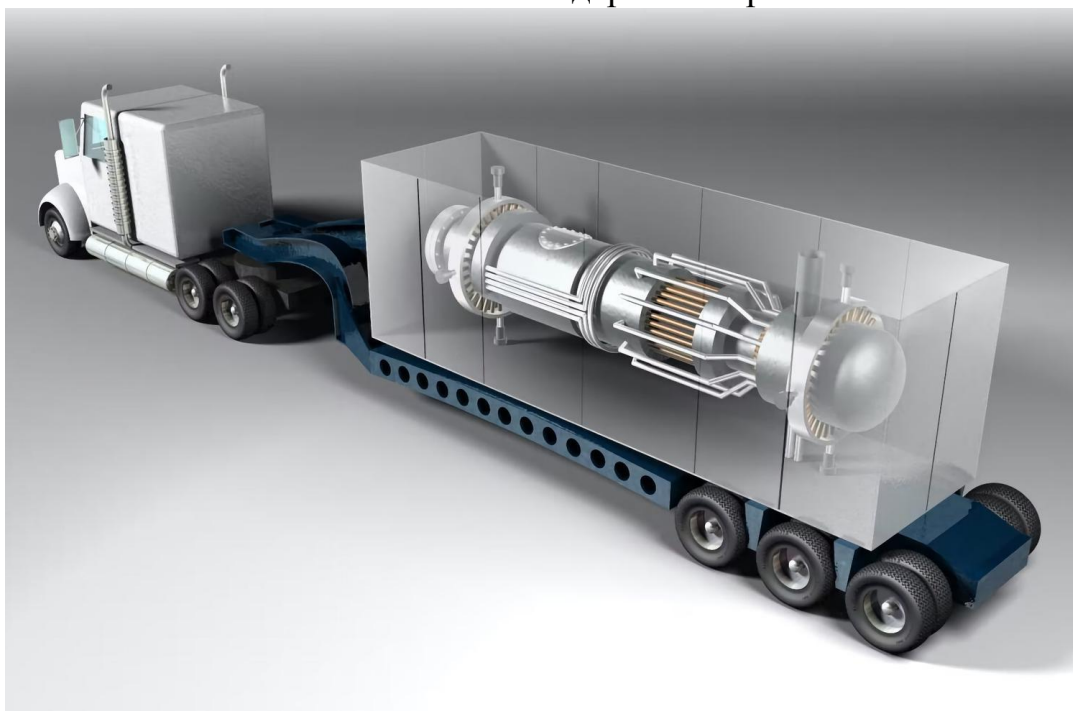


Рисунок 2 – Микрореактор



Усовершенствованный реактор. Это современный и технологически сложный ядерный реактор, который выходит за рамки конструкции и возможностей обычных ядерных реакторов. Эти реакторы характеризуются использованием инновационных функций и материалов для повышения безопасности, эффективности и экологической устойчивости. Усовершенствованные реакторы представляют собой авангард ядерных технологий и обладают потенциалом для решения текущих энергетических проблем, одновременно прокладывая путь к более устойчивому и эффективному будущему ядерной энергетики. Их разработка и внедрение требуют тщательного рассмотрения безопасности, нормативных и технологических аспектов.

Высокотемпературный газовый реактор (ВТГР) (рисунок 4). Это тип усовершенствованного ядерного реактора, предназначенного для работы при высоких температурах с использованием газообразного гелия в качестве теплоносителя. Данный ядерный реактор известен своей способностью работать при чрезвычайно высоких температурах, что делает его пригодным для различных применений. ВТГР считаются многообещающей технологией благодаря своим функциям безопасности, возможностям работы при высоких температурах и потенциалу для различных применений. На данный момент подробно изучается их роль в обеспечении электроэнергией и высокотемпературным теплом более устойчивым и эффективным образом.

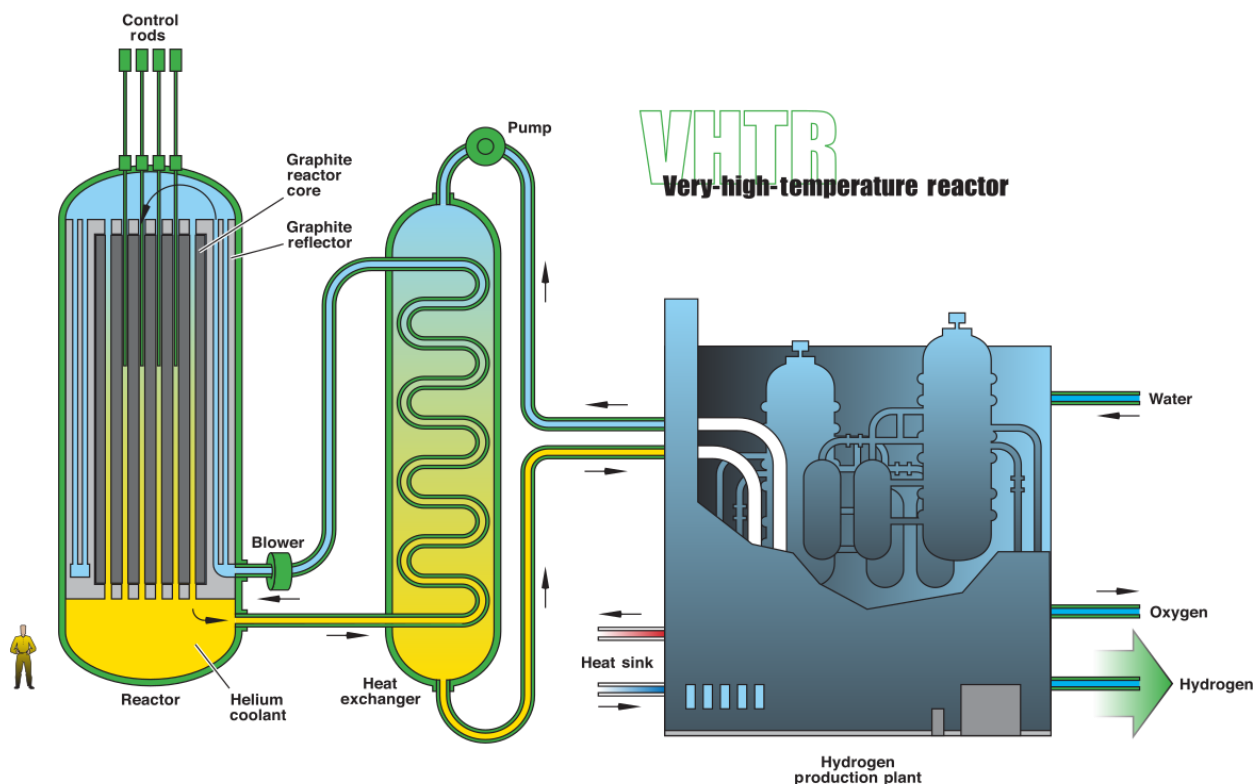


Рисунок 4 – Высокотемпературный газовый реактор (ВТГР)

Реактор на расплавах солей (рисунок 5) (MSR ( *MoltenSaltReactor*)). Это усовершенствованный тип ядерного реактора, в котором в качестве топлива и теплоносителя используется жидкая смесь фторидных солей. В последние годы реакторы на расплавах солей вызвали значительный интерес благодаря их

потенциалу обеспечения безопасного, эффективного и устойчивого производства ядерной энергии. Исследователи и организации по всему миру активно изучают возможность разработки и внедрения технологии MSR для различных энергетических и промышленных применений.

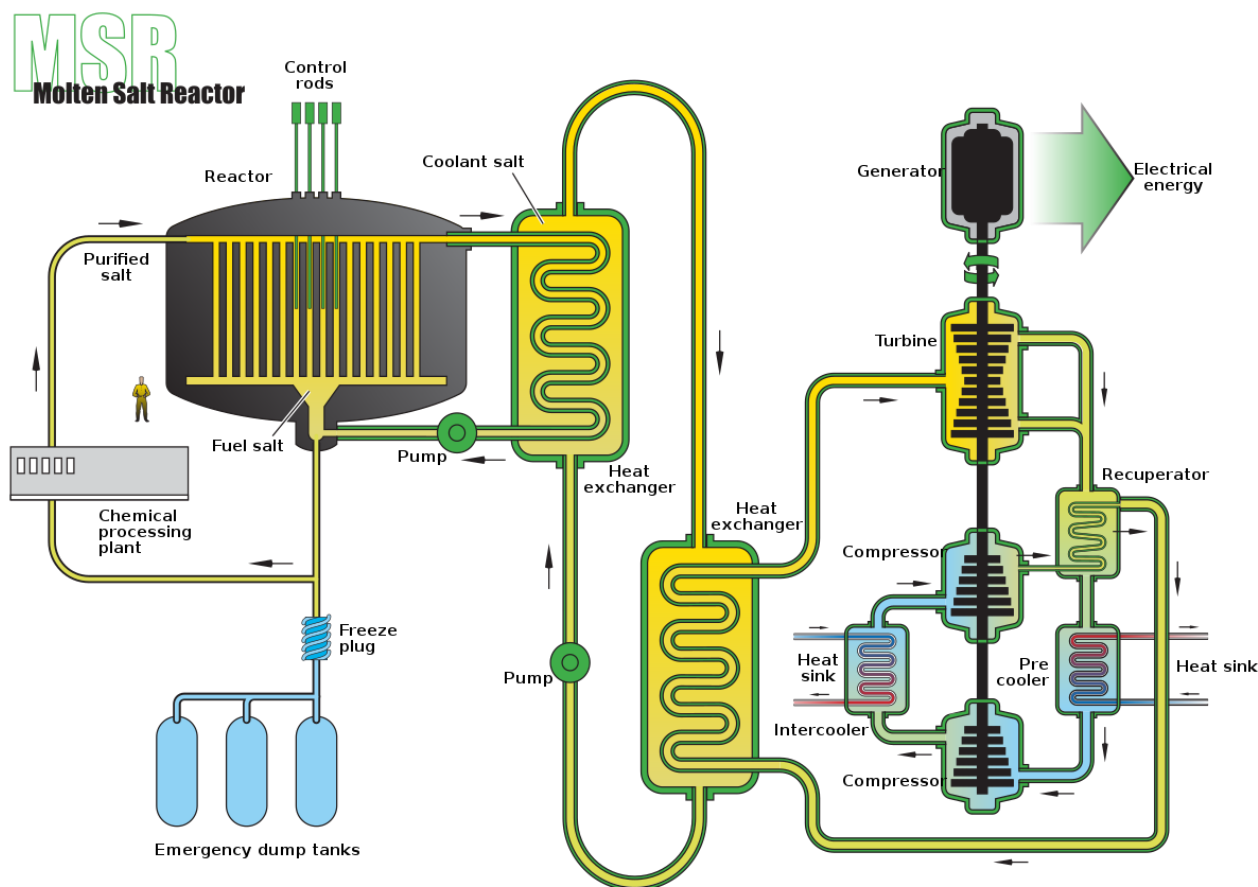


Рисунок 5 – Реактор на расплавах солей

Преимущества использования АЭС малой мощности:

- Масштабируемость. Атомные станции малой мощности предлагают гибкий подход к удовлетворению потребностей в энергии, поскольку их можно добавлять постепенно в соответствии с конкретными требованиями. Это делает их хорошо подходящими для регионов с различными потребностями в энергии.
- Снижение воздействия на окружающую среду. Атомные станции малой мощности производят электроэнергию с меньшими выбросами парниковых газов по сравнению с ископаемым топливом, что способствует усилиям по борьбе с изменением климата. Им также требуется меньше земли и воды по сравнению с некоторыми возобновляемыми источниками энергии, такими как солнечные и ветряные электростанции.
- Надежная мощность базовой нагрузки. Атомные станции малой мощности обеспечивают стабильную и постоянную подачу электроэнергии, что делает их пригодными для обеспечения мощности базовой нагрузки, что имеет решающее значение для стабильности сети.

- Повышенная безопасность. Многие модели атомных станций малой мощности оснащены усовершенствованными функциями безопасности и пассивными системами охлаждения, что снижает риск несчастных случаев и повышает общую безопасность. Их меньший размер делает реагирование на чрезвычайные ситуации более управляемым.
- Увеличенный топливный цикл. В некоторых атомных станциях малой мощности используются передовые топливные технологии, которые могут продлить время между дозаправками, что позволяет сократить эксплуатационные расходы и необходимость частой замены топлива.
- Экономические преимущества. Модульная конструкция и стандартизированная конструкция большинства атомных станций малой мощности могут привести к экономии затрат на производство и строительство, что потенциально сделает ядерную энергетику более экономически конкурентоспособной.

Проблемы и соображения использования АЭС малой мощности:

- Экономические соображения. Несмотря на то, что атомные станции малой мощности обладают потенциалом экономии средств, благодаря модульности и стандартизированной конструкции, первоначальные капитальные затраты все равно могут быть высокими. Для достижения эффекта масштаба и повышения экономической конкурентоспособности ММР по сравнению с другими источниками энергии может потребоваться время.
- Общественное восприятие. Общественное восприятие ядерной энергетики, даже в меньших масштабах, остается проблемой. Обеспокоенность по поводу безопасности, утилизации радиоактивных отходов и риска аварий может привести к противодействию со стороны населения.
- Управление ядерными отходами. Атомные станции малой мощности по-прежнему производят ядерные отходы, и поиск подходящих мест захоронения радиоактивных материалов остается долгосрочной проблемой. Должны быть внедрены эффективные решения по управлению отходами.
- Риски безопасности. Компактность атомных станций малой мощности может сделать их потенциально уязвимыми для угроз безопасности, включая кражу, саботаж и кибератаки. Необходимы строгие меры безопасности.
- Затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание. Атомные станции малой мощности требуют специализированного обслуживания и опыта эксплуатации. Обеспечение наличия квалифицированной рабочей силы, а содержание этих объектов может оказаться дорогостоящим.
- Сложность производства. Производство ММР в заводских условиях требует точности и соблюдения строгих стандартов контроля качества.
- Вывод из эксплуатации. Планирование вывода из эксплуатации малых

реакторов в конце их эксплуатационного срока имеет важное значение. Правительству будет необходимо разработать стратегию демонтажа и безопасного обращения с выбывшими из эксплуатации реакторными установками.

### Заключение

В поисках устойчивых и надежных источников энергии многообещающим маяком становятся атомные электростанции малой мощности. Эти компактные и универсальные реакторы способны изменить энергетический ландшафт, предлагая множество преимуществ и одновременно создавая серьезные проблемы.

Атомные электростанции малой мощности имеют огромный потенциал. При наличии правильных стратегий ММР могут внести существенный вклад в наше будущее экологически чистой энергетики, обеспечивая стабильный и низкоуглеродный источник электроэнергии для сообществ по всему миру.

### Литература

1. Атомная энергетика: выгоды и перспективы [Электронный ресурс] / - Режим доступа: <https://www.belta.by/onlineconference/view/atomnaja-energetika-vugody-i-perspektivy-1412/>; – Дата доступа: 27.09.2023.
2. Атомная станция малой мощности [Электронный ресурс]/Режим доступа: / [https://neftegaz.ru/tech-library/energoresursy-toplivo/703368-atomnaya-stantsiya-maloyoshchnostiasmm/#:~:text=Единственная%20АЭС%20малой%20мощности%20\(70,в%20Усть-Янском%20районе%20Якутии](https://neftegaz.ru/tech-library/energoresursy-toplivo/703368-atomnaya-stantsiya-maloyoshchnostiasmm/#:~:text=Единственная%20АЭС%20малой%20мощности%20(70,в%20Усть-Янском%20районе%20Якутии;); – Дата доступа: 27.09.2023.
3. Что такое ММР? МАГАТЭ [Электронный ресурс]/- Режим доступа: / <https://www.iaea.org/ru/newscenter/news/chto-takoe-malye-modulnye-reaktory-mmr>; – Дата доступа: 27.09.2023.
4. De-mystifying small modular reactors [Электронный ресурс]/ - Режим доступа: / <https://www.sustainability-times.com/low-carbon-energy/de-mystifying-small-modular-reactors/>; – Дата доступа: 27.09.2023.
5. Small Modular Reactors: Safety, Security and Cost Concerns [Электронный ресурс]/ - Режим доступа: <https://www.ucsusa.org/resources/small-modular-reactors>; – Дата доступа: 27.09.2023
6. Высокотемпературный ядерный реактор [Электронный ресурс]/ - Режим доступа:–[https://ru.wikipedia.org/wiki/Высокотемпературный\\_ядерный\\_реактор#:~:text=Высокотемпературный%20ядерный%20реактор%20\(ВТР%2C%20НТР,на%20выходе%201000%20°C](https://ru.wikipedia.org/wiki/Высокотемпературный_ядерный_реактор#:~:text=Высокотемпературный%20ядерный%20реактор%20(ВТР%2C%20НТР,на%20выходе%201000%20°C); – Дата доступа: 28.09.2023.

УДК 621.355:004.94

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА НАКОПЛЕНИЯ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ  
ELECTROCHEMICAL ELECTRIC ENERGY STORAGE SYSTEM

И.В. Кулинич

Научный руководитель – К.В. Добрего, д.ф-м.н.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

I. Kulinich

Supervisor – K. Dobrego, Doctor of Physical and Mathematical Sciences

Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** В докладе представлена новая лабораторная работа для инженерно–энергетических специальностей ВУЗов, направленная на первоначальное изучение и экспериментальное исследование конструктивных особенностей и функциональных возможностей электрохимических систем накопления электроэнергии для индивидуальных домохозяйств и небольших предприятий.

В результате выполнения работы студенты знакомятся со структурной схемой СНЭ, основными ее функциями, принципами выбора характеристик основных компонент СНЭ.

**Abstract:** The report presents a new laboratory work for engineering and energy specialties of universities, aimed at the initial study and experimental study of the design features and functionality of electrochemical electricity storage systems.

As a result of completing the work, students become familiar with the structural diagram of the ESS, its main functions, and the principles for selecting the characteristics of the main components of the ESS.

**Ключевые слова:** лабораторная работа, электроснабжение, система накопления электроэнергии, аккумуляторная батарея, мини энергетическая система, интеллектуальная сеть, возобновляемые источники энергии.

**Key words:** laboratory work, power supply, electricity storage system, battery, mini energy system, smart grid, renewable energy sources.

### Введение

В настоящее время в мире все шире применяются системы накопления электрической энергии. Это связано с развитием электротранспорта, ростом «зеленой» энергетики, а также с необходимостью регулирования нагрузки крупных энергосистем. Рост рынка аккумуляторных батарей (АКБ) в последнее десятилетия составлял 20-30 %. Согласно данным BlumbergNEF [1], мощность и ёмкость систем накопления электроэнергии в мире выросла за 2022 год на 16ГВт/35ГВт.ч и приращение объемов накопителей продолжит расти в среднем на 23% до конца 2030 года. При этом отмечается, что использование накопителей пока не стало экономически привлекательным в большинстве стран мира.

### Основная часть

В Республике Беларусь в ГПО «Белэнерго» Подготовлена Концепция использования литий-ионных аккумуляторов в энергетике. Реализуется



Комплексная программа развития электротранспорта на 2021–2025 гг. (Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 9 апреля 2021 г. № 213), в рамках которой строятся специализированные электрохимические накопители электроэнергии (ЭХНЭ), а также исследуется возможность использования ЭХНЭ для выравнивания графика нагрузок, улучшения качества электроэнергии. Конструктивно системы ЭХНЭ состоят из блоков АКБ, преобразования тока и напряжения, систем контроля за состоянием аккумуляторных ячеек и управления их зарядом-разрядом.

В связи с вышесказанным актуально изучение систем накопления электроэнергии (СНЭ) в технических ВУЗах нашей республики. В качестве начала данного процесса нами подготовлена лабораторная работа по изучению конструкции и функциональных возможностей систем накопления электроэнергии. Лабораторная работа построена с учетом требования простоты и доступности материальной базы и при этом объема технической и технико-экономической информации, обеспечивающего возможность самостоятельного анализа научно-технической информации по данному вопросу.

Цель лабораторной работы:

- Изучить структуру, принцип действия основные компоненты систем накопления электроэнергии.
- Собрать и продемонстрировать работу «домашней» СНЭ с функциями управления локальной энергетической системы (при наличии локальной генерации), тарифного маневрирования (при дифференцированном тарифе по временным периодам), бесперебойного питания потребителей,
- Определить максимальную мощность СНЭ в режиме бесперебойного питания.
- Определить напряжение «отсечки» работы инвертора по низковольтной стороне.
- Определить ток (мощность) отсечки инвертора. Определить какой элемент системы (аккумулятор или инвертор) ограничивает мощность.
- Построить функцию зависимости напряжения на активной нагрузке инвертора от выходной активной мощности.

Краткие теоретические сведения.

Основополагающим принципом работы энергетической системы, который выступал ключевым фактором формирования архитектуры действующих во всем мире энергосистем, является баланс между генерацией и потреблением. Балансировка распределительной сети традиционно достигается за счет увеличения генерации для удовлетворения потребностей в энергии. Но этот подход отрицательно сказывается как на эффективности, так и на сроке эксплуатации оборудования. Системы накопления электроэнергии делают электрическую энергию запасаемой и портативной, снимая необходимость строгой одновременности процессов ее генерации и потребления.

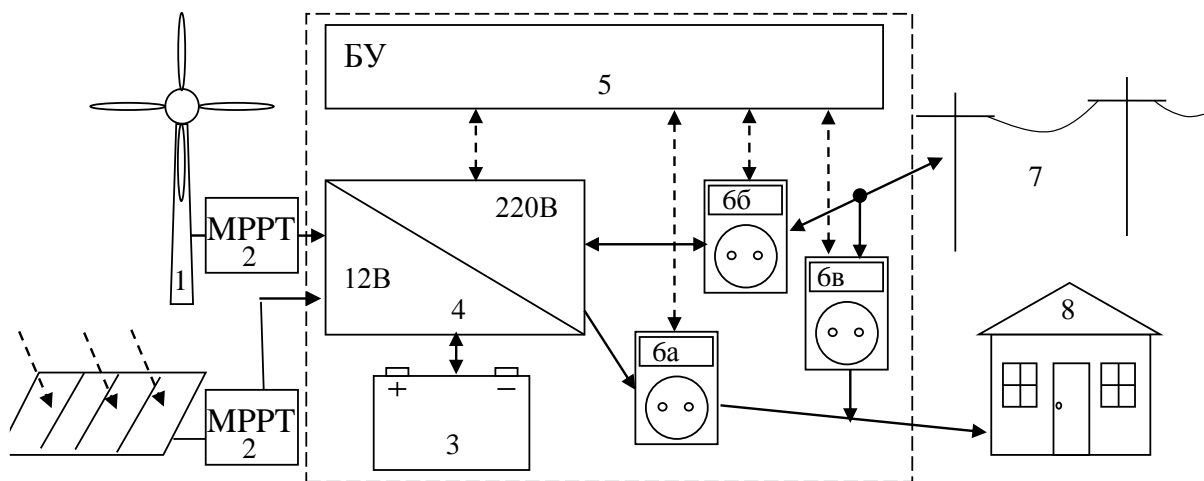
Актуальность СНЭ радикально выросла в последние десятилетия, что связано с увеличением относительной доли возобновляемых источников энергии в энергетическом балансе, развитием хоть и в замедленном виде атомной

энергетики. Интеграция системы хранения электроэнергии с возобновляемыми источниками энергии направлена на сглаживание воздействия неравномерной генерации на электросеть.

Включение в систему «генератор – потребитель» звена «накопитель» позволяет достигать ряда технических и экономических результатов. Обеспечение надежности и бесперебойности электроснабжения, для метеозависимой генерации – выполнение графика поставки электроэнергии, обеспечение потребления электроэнергии по минимальным (дифференцированным по времени) тарифам, оптимизация (выравнивание графика нагрузки) режима работы генерирующих станций и энергосистемы в целом. Система накопления электроэнергии (СНЭ) – не просто аккумулятор, периодически накапливающий и отдающий энергию, а система, работающая под микропроцессорным управлением и осуществляющая функции «умного» распределения потоков электроэнергии внутри себя и системы «генератор – накопитель – потребитель».

СНЭ включает в себя: электрохимический накопитель энергии (аккумуляторную батарею), одно- или двунаправленный преобразователь электрической энергии (инвертор, выпрямитель), блок управления, блоки коммутации, иные сенсорные или исполнительные устройства (рисунок 1).

Условно можно разделить СНЭ по емкости и мощности на устройства «домашнего» (~ 10 кВт.ч), промышленного (~ 100 кВт.ч) и системного (~ МВт.ч) уровня, различающиеся по масштабу, а также стандартам проектирования и исполнения.



1 – ветрогенератор (альтернативный источник 12В); 2 – МРРТ контроллер, 3 – аккумуляторная батарея 12В; 4 – инвертор-выпрямитель; 5 – блок управления; 6а, 6б, 6в – управляемые реле (коммутаторы); 7 – стационарная сеть; 8 – потребительская сеть.

Рисунок 1 – Схема «домашней» СНЭ

Для выполнения лабораторной работы используется следующее оборудование:

- Аккумулятор электрохимический (АКБ) –многозарядный химический источник тока, используемый для накопления и хранения энергии.
- Инвертор– устройство преобразующее постоянный ток в переменный и наоборот(к примеру, персонального ПК).



- MPPT контроллер (maximum power point tracker) – специальный тип электронного DC – DC преобразователя напряжения в котором со стороны генератора поддерживается напряжение, соответствующее максимальной мощности отдачи генератора, а со стороны аккумулятора – оптимальное напряжение зарядки.
- Блок управления – микропроцессорное устройство, управляющее работой инвертора и при необходимости всеми иными устройствами СНЭ.
- Имитатор нагрузки – устройство выполнено на основе релейных выключателей, управляемых микропроцессором ARDUINO.
- Имитатор метеозависимого источника энергии – источник волнообразного напряжения 12- 18 В с периодом 10-20 секунд и с ограниченной мощностью.
- Программируемый таймер–реле– устройство коммутирующее линию 220В по заданной суточной и недельной программе.
- Мультиметр – универсальный измерительный прибор для измерения напряжения, силы тока и сопротивления цепи.

Режимы работы СНЭ.

Режим работы «источник бесперебойного питания» (ИБП) является одним из простейших режимов работы СНЭ. Он реализуется при помощи АКБ, двунаправленного инвертора (инвертор/выпрямитель), коммутатора и блока управления, осуществляющего контроль за тем чтобы:

- напряжения и токи находились в допустимых пределах;
- цепь потребителя перекоммутировалась на инвертер при отключении питания стационарной сети (рисунок 2).

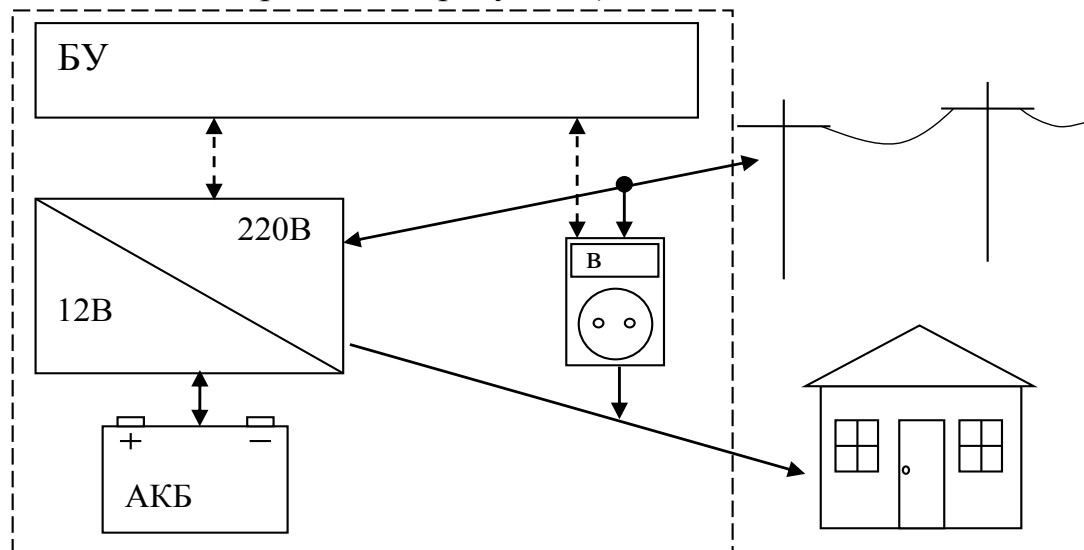


Рисунок 2 – Схема СНЭ в режиме ИБП

Режим работы «тарифное маневрирование» (ТМ) направлен на то, чтобы накапливать электроэнергию во время действия наиболее дешевых тарифов на электроэнергию и отдавать ее во время действия наиболее дорогих тарифов на электроэнергию.

Режим ТМ реализуется при помощи АКБ, двунаправленного инвертора, таймеров–коммутаторов. Блок управления осуществляет контроль за тем чтобы:

- напряжения и токи находились в допустимых пределах;
- управляет таймерами- коммутаторами (если они не работают по самостоятельным программам);
- переключает нагрузку на стационарную сеть при разрядке АКБ (рисунок 3).

Таймер – коммутатор “б” включает зарядку АКБ от постоянной сети в период времени дешевых тарифов (коммутатор “а” разъединен), при этом зарядный ток должен соответствовать длительности периода низких тарифов. В период времени дорогого тарифа (пик нагрузки) таймер – коммутатор “а” подключает АКБ через инвертор к нагрузке, таймер – коммутатор “б” разрывает линию сеть – инвертор. Коммутатор “в” работает в управляемом режиме. (В используемой лабораторной установке коммутатор “в” интегрирован в блок инвертора, функцию которого выполняет источник бесперебойного питания персонального компьютера).

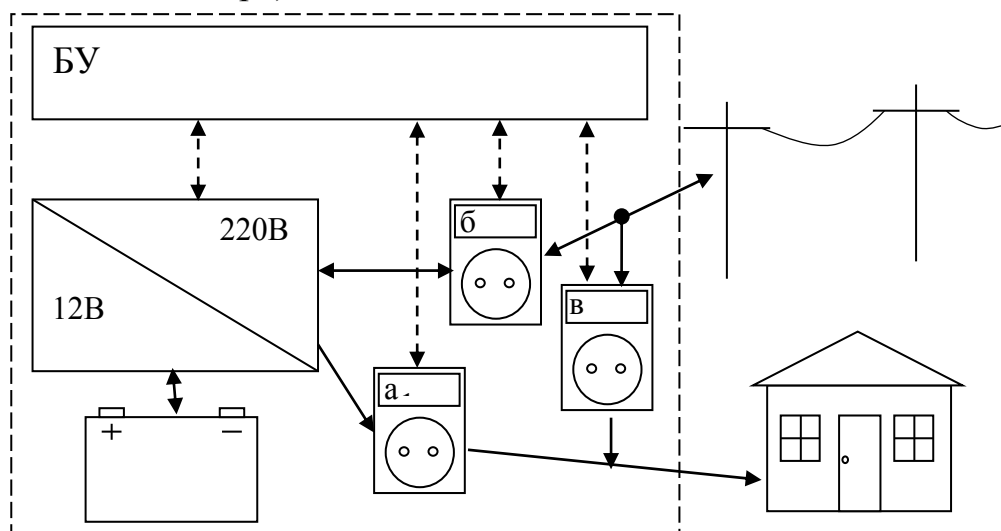


Рисунок 3 – Схема СНЭ в режиме ТМ

В используемой лабораторной установке коммутатор “в” интегрирован в блок инвертора в связи с чем в работе реализуется схема, отличающаяся от рисунка 3 тем, что коммутатор “в” соединяет линии слева от коммутаторов “а” и “б”. Как правило, функции ИБП и ТМ объединяются. Это реализуется соответствующим усложнением алгоритма работы блока управления и коммутирующих устройств. Базовое состояния элементов СНЭ в режиме работы ИБП-ТМ показаны в Таблице 1. Во время дешевого тарифа АКБ заряжается полностью, во время дорогого тарифа (пиков потребления) БУ допускает максимальную разрядку АКБ и затем подключает стационарную сеть. В прочее время АКБ заряжается частично и выполняет функции ИБП.

В зависимости от конструкции и задач СНЭ, алгоритмы управления могут изменяться и усложняться. При подключении к системе одного или нескольких источников генерации к функциям СНЭ добавляется буферизация генерируемой энергии. Для небольших «домашних» энергетических систем такими

источниками, как правило, являются солнечные панели и (или) ветрогенератор. Поскольку указанные источники генерации метеозависимые, алгоритмы управления системой в целом могут быть достаточно сложными, нацеленными на оптимизацию работы системы (согласно определенной целевой функции). Данный режим работы назовем «накопитель – распределитель электрической энергии» (НРЭ). Схема «домовой» СНЭ, работающей в режиме НРЭ (рисунок1).

Таблица 1 – Базовое состояния элементов СНЭ в режиме работы ИБП-ТМ

Условие 1 - время	Условие 2 – сеть	Реле “а”	Реле “б”	Реле “в”	Инвертор-выпрямитель
Время «дешевого» тарифа	Сеть вкл.	разомкн	замкн	замкн	выпрям
	Сеть откл	замкн	разомкн	разомкн	инв
Время «дорогого» тарифа (пики потребления)	Сеть вкл.	замкн	разомкн	Разомкн/замкн	инв
	Сеть откл	замкн	разомкн	разомкн	инв
Прочее время	Сеть вкл.	разомкн	разомкн	замкн	откл
	Сеть откл	замкн	разомкн	разомкн	инв

СНЭ может объединять все упомянутые выше режимы работы и функции. Следует отметить, что экономическая эффективность применения СНЭ возрастает при выполнении ею максимально возможного количества полезных функций. Ввиду этого обстоятельства некоторые компании, развивающие направление СНЭ в энергетике, вводят понятие «энергетический роутер», которое подразумевает систему, позволяющую «смешивать» энергию из различных несинхронизированных источников, и добавлять к ним мощность от накопителя, а также балансировать нагрузки между фазами и компенсировать реактивную мощность. При этом СНЭ становится ядром интеллектуальной локальной микросети.

### Заключение

В результате выполнения работы студенты получают первичные навыки конструирования СНЭ для бытовых нужд с учетом структуры потребления и генерации на объекте, а также расчета экономического эффекта применения СНЭ.

### Литература

1. BloombergNEF [Электронный ресурс]/ Top 10 EnergyStorageTrends in 2023. -Режим доступа: <https://about.bnef.com/blog/top-10-energy-storage-trends-in-2023/>. – Дата доступа: 27.09.2023.
2. Национальная ассоциация нефтегазового сервиса [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://nangs.org/news/renewables/eksperty-mirovoyo-rynok-nakopiteley-energii-do-2030-goda-budet-rasti-na-23-v-god>. Дата доступа: 20.05.2022.
3. Доброго К.В. Об обосновании экономической целесообразности использования электрохимических накопителей электроэнергии в энергетической системе. Энергетическая стратегия, №5 (89), 2022, с.28-32.
4. Доброго К.В. К вопросу создания гибридных систем накопления электроэнергии. Энергетика. Изв. ВУЗов и энергетических объединений СНГ. 2023 № 3. С.215-232.



УДК 621.365.4

**НОВЕЙШИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЕЧАХ  
СОПРОТИВЛЕНИЯ  
AUTOMATION OF LIGHTING IN THE HOUSEN**

Д.В. Лагунов, Д.А. Козловская

Научный руководитель – Ю.И. Богданов, ассистент

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

D. Lagunov, D. Kozlovskaya

Supervisor – Y. Bogdanov, assistant

Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** в данной статье мы рассмотрим новые технологии, применяемые в электрических печах сопротивления, и их преимущества для современных процессов производства.*

***Abstract:** in this article we will consider new technologies used in electric resistance furnaces and their advantages for modern production processes.*

***Ключевые слова:** технологии, печи, современные, приборы.*

***Keywords:** technologies, furnaces, modern appliances.*

**Введение**

В современном мире, где технологии развиваются семимильными шагами, существует постоянная потребность в улучшении и обновлении различных процессов и оборудования. Это относится и к электрическим печам сопротивления - важному инструменту в промышленности, используемому для различных целей, начиная от нагрева материалов до обжига керамики.

**Основная часть**

Одной из ключевых особенностей новых технологий в электрических печах сопротивления является возможность достижения высоких температур в кратчайшие сроки. Благодаря тому, что используются современные материалы с высокой температурной стойкостью и эффективностью передачи тепла. Используются силиконкарбидные нагревательные элементы, которые обеспечивают равномерное и стабильное нагревание материала. Это позволяет значительно сократить время выполнения технологических процессов и повысить производительность.

Важной особенностью в электрических печах сопротивления является их энергоэффективность. Новые модели печей обеспечивают эффективное использование энергии и уменьшение потерь тепла. Это достигается за счет применения специальных изоляционных материалов, улучшенной конструкции и использования различных систем регулирования температуры, также за счет использования системы теплового рекуператора, которые позволяют задействовать отработанное тепло для нагрева новых материалов. Таким образом, электрические печи сопротивления нового поколения обладают высокой энергоэффективностью, что позволяет снизить расходы на электроэнергию и сделать производство более экологически чистым.

Одним из преимуществ в электрических печах сопротивления является возможность точного контроля и регулирования температуры. С развитием цифровых технологий и систем автоматизации, электрические печи сопротивления стали значительно более удобными и эффективными в использовании. С помощью этих систем управления, операторы могут задавать и поддерживать необходимую температуру в печи с высокой точностью, так как печи оборудованы сенсорами и автоматическими регуляторами температуры. Это позволяет добиться более стабильного и предсказуемого процесса нагрева, что особенно важно для выполнения сложных технологических операций.

Кроме того, в электрических печах сопротивления предлагают больше возможностей для автоматизации и интеграции в производственные линии. Они могут быть легко интегрированы с другими устройствами и системами, что позволяет создать комплексную автоматизированную систему управления процессом нагрева. Это повышает эффективность работы и сокращает вмешательство человека, что особенно ценно для массового производства.

Одной из технологий, применяемых в электрических печах сопротивления, является использование инфракрасных нагревательных элементов. Традиционные печи сопротивления часто используют спирали как источник тепла, но инфракрасные нагревательные элементы обладают рядом преимуществ. Они обеспечивают равномерное распределение тепла по всему объему печи, а также более быстрый нагрев и охлаждение. Кроме того, инфракрасные нагревательные элементы потребляют меньше энергии и имеют более длительный срок службы.

Кроме того, современные электрические печи сопротивления часто оснащены системами вакуумной и инертной среды. Это позволяет создавать контролируемые атмосферные условия внутри печи, что особенно важно для процессов обжига керамики или нанесения покрытий на материалы. Такие системы позволяют улучшить качество и стабильность процессов, а также предотвратить окисление или загрязнение материалов.

### **Заключение**

В заключение можно отметить, что новейшие технологии в электрических печах сопротивления представляют собой значительный прорыв в области термической обработки различных материалов. Они обеспечивают более точный и контролируемый нагрев материалов, экономию энергии, повышение качества и улучшение производительности. С развитием науки и техники можно ожидать еще большего прогресса в данной области, что приведет к появлению еще более эффективных и инновационных решений. Таким образом, внедрение новейших технологий в электрические печи сопротивления имеет огромный потенциал для различных отраслей промышленности.

### **Литература**

1. Печи сопротивления [Электронный ресурс] -Режим доступа:<https://luna-group.ru/2017/09/30/pech-soprotivleniya/> – Дата доступа: 14.10.2023.
2. Технологии в электрических печах сопротивления [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www.metotech.ru/art\\_pechi\\_2.htm](https://www.metotech.ru/art_pechi_2.htm) – Дата доступа: 13.10.2023.



УДК 621.311

**СОЛНЕЧНЫЕ ПАНЕЛИ КАК САМЫЙ ПЕРСПЕКТИВНЫЙ  
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ  
SOLAR PANELS AS THE MOST PROMISING RENEWABLE ENERGY  
SOURCE**

Г.А. Судин, А.П. Нижникова

Научный руководитель – Е.А. Дерюгина, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
H. Sudzin, A. Nizhnikava

Supervizor – A. Deryugina, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** В данной научной статье рассмотрен принцип действия, устройство солнечных панелей, перспектива использования солнечной энергии, а также возможности нивелирование главного недостатка, в частности, падение выработки электрической энергии в период низкой инсоляции.

**Abstract:** This scientific article discusses the principle of operation, the device of solar panels, the prospect of using solar energy, as well as the possibility of leveling the main drawback, in particular, the drop in electricity generation during low insolation.

**Ключевые слова:** солнечные панели, солнечная энергия, инсоляция, автономия, альтернативная энергетика.

**Keywords:** solar panels, solar energy, insolation, autonomy, alternative energy.

### Введение

Долгое время в энергетическом сообществе стоит вопрос об источниках энергии, а именно об их воздействии на экологию. Традиционные источники энергии зарекомендовали себя достойно, но у них есть ряд существенных недостатков. В первую очередь это их неблагоприятное воздействие на окружающую среду, второй недостаток это их недолговечность. Пусть сейчас проблемы с ресурсами не так остры, но спустя время все больше будут истощаться запасы ископаемого топлива. Поэтому альтернативой выступают возобновляемые источники энергии, т.к. они обладают рядом преимуществ, к примеру:

- неограниченная природная доступность;
- региональная независимость;
- снижение затрат на логистические операции;
- отсутствие или минимальное количество выбросов в атмосферу.

Однако альтернативные источники энергии также имеют ряд недостатков.

- ветряные генераторы являются источником серьезного шумового загрязнения;
- геотермальные источники требуют наличие горячих источников или вулканов;
- гидроэнергетика хоть и является экологически чистой, но оказывает очень серьезное влияние на флору и фауну территории, на которой располагается гидростанция;



– биоэнергетика может негативно воздействовать на почву и водные ресурсы.

Как видно на примерах, использование альтернативных источников является непростой задачей, но на фоне всех источников выделяется солнечная энергия.

Рост использования этой энергии в мире видно на прогнозируемом графике за 2010-2027 года (рисунок 1) [3].

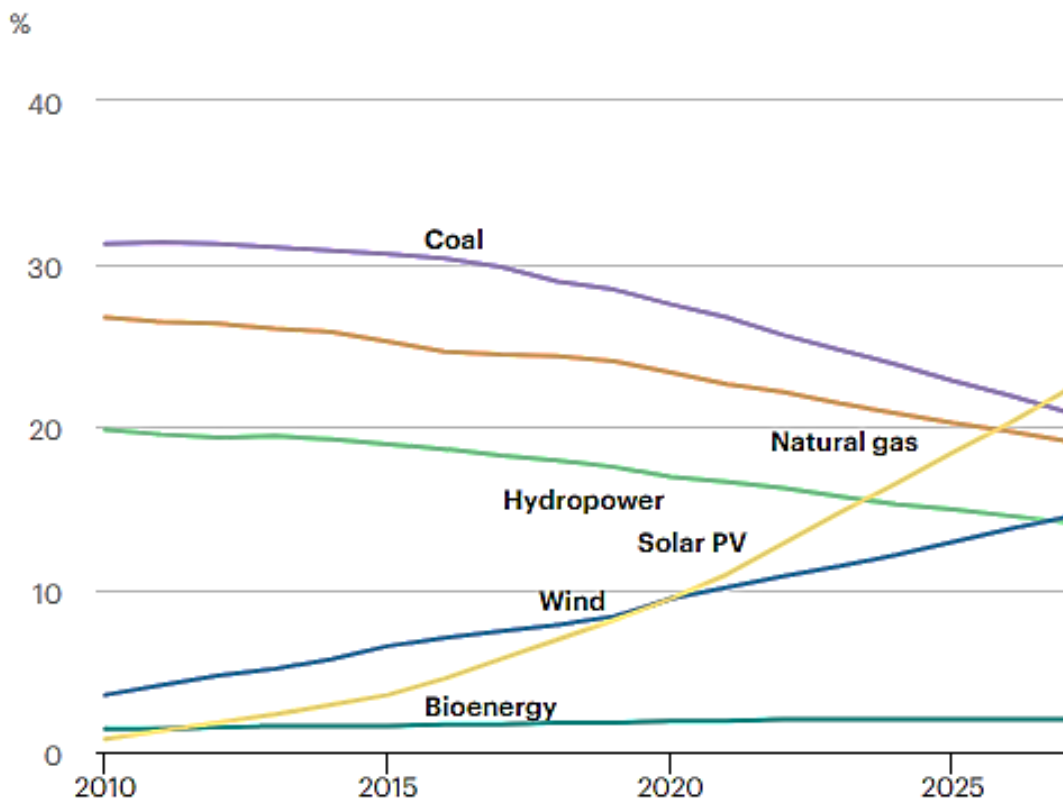


Рисунок 1 – Прогноз использования источников энергии 2010-2027 год

### Основная часть

Принцип использования солнечной энергии:

Для получения энергии используются солнечные панели. Они в свою очередь разделяются на группы по ряду параметров.

По типу устройства [4]:

- гибкие;
- жесткие.

По материалу изготовления:

- аморфные;
- поликристаллические;
- монокристаллические.

Принцип работы панели основан на фотоэлектрическом эффекте, этот эффект получается при помощи фотоэлементов.

Панель собирает солнечные лучи, далее они попадают на фотоэлектрический слой. Свет приводит к высвобождению электронов из двух слоев. На свободное место из первого слоя встают электроны второго слоя. Так

происходит постоянное движение электронов. В результате возникает естественное образование напряжения на внешней цепи. Один из слоев приобретает отрицательный заряд, второй слой – положительный.

В работу приходит аккумулятор, который начинает набирать и хранить заряд. Уровень заряда контролируется, если он низкий – включается солнечная панель. Если уровень высокий – солнечная панель отключается.

После аккумулятора следует инвертор, который преобразовывает постоянный ток в переменный. Благодаря инвертору на выходе электростанции появляется напряжение 220В, что дает возможность питать потребителя.

Большую значимость в данных установках имеет способ установки и положение солнца.

Положение солнца определяется 2-мя координатами, а именно склонением и азимутом (рисунок 2) [5]:

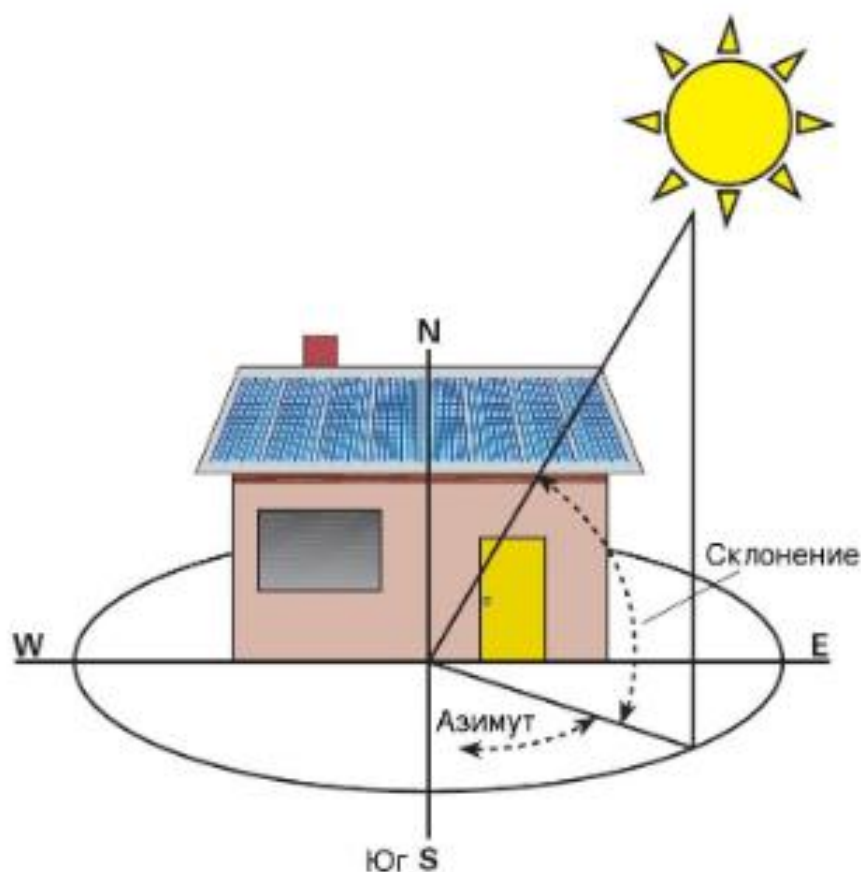


Рисунок 2 – Положение солнца

Солнечные панели зачастую зафиксированы на крыше зданий или на специальной конструкции и не могут подстраиваться под положение солнца в течение дня. Исходя из этого, панели не располагаются под углом 90 градусов к солнечным лучам, что не является оптимальным расположением.

Угол между солнечной панелью и горизонтом называется углом наклона.

Угол наклона необходимо корректировать каждый сезон, т.к. положение Солнца изменяется (рисунок 3) [5]:

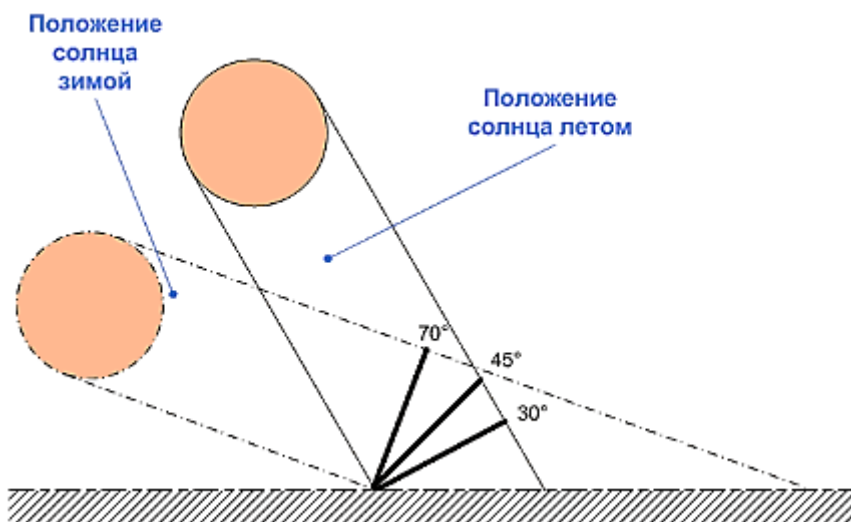


Рисунок 3 – Угол наклона положения Солнца

Если возможность корректировки отсутствует, следует использовать оптимальный угол наклона (таблица 1) [5].

Таблица 1– Зависимость оптимального угла наклона от географической широты

Географическая широта	Угол наклона	Корректировка зима/лето
0-15°	15°	±10-15°
15-25°	Наклон равен широте	±10-15°
25-30°	+5° к широте	±10-15°
30-35°	+10° к широте	±10-14°
35-40°	+15° к широте	±9-13°
>40°	+20° к широте	±8-11°

Существует 3 типа установки солнечных панелей[5]:

- установка на неподвижную конструкцию;
- установка на двухосный трекер;
- установка на одноосный трекер.

Варианты установки на трекеры имеют ряд преимуществ, такие как увеличение времени работы, увеличение выработки энергии. Но вместе с этим у них высокая цена, сниженная надежность из-за наличия движущихся элементов, сложное техническое обслуживание.

Применение и условия в Республике Беларусь (РБ):

Самым важным фактором для использования солнечной энергии является инсоляция. Показатели инсоляции (количество световой энергии, падающей на единицу поверхности) в РБ, в зависимости от региона, находятся в пределах 1020-1100 кВт·ч/м<sup>2</sup>·год.

Рассмотрим 2 варианта:

- Использование солнечных панелей для частного дома. Основой потребления энергии частных домов является освещение, отопление и некоторые силовые нагрузки. С учетом показателей инсоляции, при правильном расположении необходимого количества солнечных панелей эта потребность будет закрыта. В период с ноября по апрель необходим резерв от общей сети, так как уровень инсоляции снижается.

Располагаются солнечные панели в частных домах в основном на крыше. Реже, панели располагаются на свободной площади территории. Так же надо учитывать то, что солнечные панели требуют некоторого обслуживания. Их необходимо очищать от пыли, зимой же очищать от снега.

- Использование солнечных панелей для предприятия. Основой потребления энергии на предприятии является большая силовая нагрузка, а также осветительная нагрузка цехов и наружное освещение, а именно охранное и дорожное. Большое предприятие на сегодняшний день полностью обеспечить энергией от солнечных панелей невозможно, поэтому рассмотрим предприятие средних размеров. Следует учесть, что количество солнечных панелей будет значительно больше, чем для частного дома, а также они будут мощнее. Располагаться панели будут частично на крыше, при возможности. Основная же часть будет расположена на земле. Из особенностей предприятия следует определить наличие потребителей первой категории. Если такие потребители есть, к ним должен быть подведен резерв от общей сети. Исходя из того, что простой предприятия будет нести серьезный убыток, резерв необходим также на потребителей второй категории и частично третьей категории.

### **Заключение**

На данный момент, солнечная энергия не может существовать полностью автономно. Ей необходим резерв, особенно на период с ноября по апрель. Тем не менее, использование солнечных панелей позволяет получить относительную независимость от сети.

В перспективе, главные недостатки солнечных панелей, могут быть нивелированы. Что позволит предприятиям перейти на полную автономию от сети. Использование солнечной энергии дает стимул развитию способов накопления и хранения энергии. Когда задача с хранением электрической энергии будет решена, проблема с падением производительности в период с ноября по апрель будет закрыта. Это даст возможность накапливать энергию в периоды с высокой инсоляцией и покрывать недостаток энергии в период с низкой инсоляцией. Таким образом, использование солнечной энергии станет одним из лучших способов получения электрической энергии.

### **Литература**

1. Solarpower [Электронный ресурс] / solarpower – Режим доступа: [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Solar\\_power/](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Solar_power/). – Дата доступа 24.10.2023.
2. SolarforIndustrialprocesses [Электронный ресурс] / solarforindustrialprocesses – Режим доступа: <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-industrial-processes/>. – Дата доступа 24.10.2023.
3. SolarPV [Электронный ресурс] / solarpv – Режим доступа: <https://www.iea.org/energy-system/renewables/solar-pv/>. – Дата доступа 24.10.2023.

4. Принципы работы солнечных батарей [Электронный ресурс] / принцип работы солнечных батарей – Режим доступа: <https://al-energy.ru/blog/post/solnechnye-batarei-sfera-primeneniya-i-princip-raboty-oborudovaniya/>. – Дата доступа 24.10.2023.

5. Ориентация солнечных панелей [Электронный ресурс] / ориентация солнечных панелей – Режим доступа: <https://www.solarhome.ru/basics/solar-pv/techtilt.htm/>. – Дата доступа 24.10.2023.

УДК 004.896

**3D ПЕЧАТЬ В ЭНЕРГЕТИКЕ  
3D PRINTING IN THE ENERGY SECTOR**

Д.И. Траскевич

Научный руководитель – Ю.И. Богданов, ассистент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

D. Traskevich

Supervisor – Y. Bogdanov, assistant  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** данная работа исследует связь между 3D-моделированием, 3D-печатью и энергетикой. Она обсуждает возможности использования 3D-печати для создания энергетически эффективных компонентов и систем, таких как оптимизированные формы для турбин ветряных электростанций. Работа также подчеркивает потенциал 3D-печати в создании сложных геометрических структур, способных улучшить энергоэффективность и теплоотдачу в различных системах.

**Abstract:** this work explores the relationship between 3D modeling, 3D printing and energy. She discusses the possibilities of using 3D printing to create energy-efficient components and systems, such as optimized molds for wind turbines. The work also highlights the potential of 3D printing in creating complex geometric structures that can improve energy efficiency and heat transfer in various systems.

**Ключевые слова:** 3D-моделирование, 3D-печать, солнечные батареи, энергия ветра, 3D-принтер, ядерная энергетика.

**Keywords:** 3D modeling, 3D printing, solar panels, wind power, 3D printer, nuclear power.

**Введение**

3D-моделирование, 3D-печать и энергетика идут рука об руку благодаря обширному, эффективному и экономичному применению этой технологии. Сегодня 3D-геометрические модели, полученные методами компьютерного анализа и лазерного сканирования, могут быть использованы в качестве основы для целей энергетического моделирования. Также внедряется несколько методов для облегчения диагностики и измерения тепловых и других условий окружающей среды. Для достижения сокращения энергопотребления значительные усилия были сосредоточены на разработке методов, которые могут способствовать сокращению потребления электроэнергии.

**Основная часть**

Солнечные батареи – это панели, преобразовывающие солнечную энергию в тепло или электричество. Они выполнены из фотоэлектрических элементов, в которых происходит ряд физических и химических явлений. Как правило, фотоэлектрические элементы делают из кристаллического кремния, однако сейчас активно разрабатываются новые материалы (недавний пример – технология тонкопленочных солнечных элементов). Качество и эффективность солнечных батарей, изготавливаемых традиционными способами, являются не



самыми экономичными и экологичными. Именно поэтому специалисты, изучающие аддитивные технологии, экспериментируют с целью создать высококачественные солнечные панели на 3D-принтерах. Используя специализированное программное обеспечение, эти панели могут быть спроектированы так, чтобы соответствовать любой форме или размеру, что делает их невероятно адаптируемыми к различным средам. Эта адаптивность дает им значительное преимущество перед традиционными солнечными панелями. Аддитивное производство солнечных батарей помогает сократить расходы на 50%. Для изготовления таких установок не требуются дорогие материалы (например, стекло, поликристаллический кремний и индий). Средняя цена такой батареи в два раза ниже по сравнению с аналогами — 3 тысяч рублей за 1 м<sup>2</sup> против 6 тысяч. Стоимость создания установки для производства ячеек составляет порядка 300-400 тысяч рублей. Кроме того, панели, напечатанные на 3D-принтере, намного тоньше обычных, и это значительно снижает накладные расходы на транспортировку панелей.

Также одним из ключевых преимуществ солнечных панелей, напечатанных на 3D-принтере, является их способность адаптироваться к различным поверхностям и средам. Благодаря различным формам и размерам они могут идеально вписаться в области, где традиционные прямоугольные панели могут быть непрактичными. Это не только максимально эффективно использует доступное пространство, но и повышает энергоэффективность.

Производство энергии ветра также может пользоваться 3D-печатью. Различные организации, связанные с ветроэнергетикой, уже используют 3D-печать пресс-форм лопаток турбин. Обычно изготовление этих лезвий было трудоемким процессом. 3D-печать ускоряет сборку пресс-форм вместе с большей степенью эффективности. Кроме того, это также позволяет фирмам сократить транспортные расходы, поскольку транспортировка 3D-принтера к месту работы намного проще, чем транспортировка 50-футовой формы.

Еще одно ключевое преимущество, связанное с 3D-печатью, заключается в том, что она позволяет фирмам поддерживать свои устаревшие системы. Обычно фирмам приходилось менять все оборудование вместо замены вышедшего из строя компонента на тот случай, если производитель остановит сборку устаревших моделей. Но 3D-принтер может даже изготавливать детали, производство которых было прекращено, что позволяет продолжать работу старого и дорогого оборудования. 3D-печать дает преимущества, которые сокращают отходы и повышают устойчивость в энергетическом секторе. Это позволяет осуществлять точный контроль материалов, сокращая отходы материала и снижая расход сырья. Кроме того, в этом методе можно использовать переработанные или биоразлагаемые материалы, сокращая количество отходов и повышая устойчивость, снижению транспортных расходов и связанных с ними выбросов углерода.

Внимание обращается на 3D-печать для ядерной энергетики, потому что эта технология позволяет создавать сложные формы и геометрию. Это приводит к более эффективным и действенным конструкциям ядерных компонентов, таких как топливные стержни и активные зоны реакторов. 3D-печать, или аддитивное



производство (АМ), известно своей гибкостью дизайна, что открывает множество возможностей для производителей ядерных деталей.

Гибкость конструкции и отсутствие необходимости в инструментах позволяют консолидировать детали, процесс, при котором несколько компонентов могут быть спроектированы и напечатаны как один. Кроме того, более сложная геометрия, возможная с помощью 3D-печати, позволяет создавать более компактные размеры деталей и их последующую повышенную производительность. Примером этого являются напечатанные на 3D-принтере теплообменники, которые могут быть спроектированы со стенками толщиной до 200 микрон и небольшими сложными проточными каналами внутри компонента, что приводит к большей поверхности теплопередачи внутри. Чем больше площадь поверхности, тем больше тепла может быть удалено, что увеличивает производительность теплообменника.

В настоящее время инженеры-ядерщики могут перерабатывать 95 процентов отработавшего топлива из ядерного реактора, а остальные 5 процентов должны храниться как «долгосрочные» отходы. Вышеупомянутое оборудование, напечатанное на 3D-принтере, может быть использовано для сортировки и переработки некоторых из последних, а это означает, что дополнительные 2 процента ядерных отходов могут быть переработаны. Хотя 2 процента могут показаться не особенно впечатляющим прогрессом, это может значительно сократить количество используемого топлива, которое необходимо хранить, и продолжительность времени, в течение которого оно остается опасным.

### **Заключение**

Таким образом, 3D-моделирование, 3D-печать и энергетика тесно связаны друг с другом и предоставляют много возможностей для создания более эффективных и экологически чистых систем энергопроизводства. Использование 3D-печати в энергетике может привести к сокращению расходов, улучшению производительности и повышению устойчивости в этой отрасли. Это позволяет нам двигаться в направлении более устойчивого будущего и использования возобновляемых источников энергии.

### **Литература**

1. 3D PrintedSolarPanels – [Электронный ресурс] / 3D PrintedSolarPanels. My experiencewith 3D printedsolar. – Режим доступа:<https://medium.com/aaronstech/3d-printed-solar-panels-dd410fcc979b>: – Дата доступа 26.09.2023.
2. How 3D Printing Powers the Energy Industry by Lunabaker Medium – [Электронный ресурс] / How 3D Printing Powers the Energy Industry | by Lunabaker | Medium. – Режим доступа:<https://medium.com/@lunabaker8019/how-3d-printing-powers-the-energy-industry-98878bfb78e>: – Дата доступа 28.09.2023.
3. В центре внимания приложений: как 3D-печать поддерживает инновации в атомной энергетике - AMFG. [Электронный ресурс] / В центре внимания приложений: как 3D-печать поддерживает инновации в атомной энергетике - AMFG. – Режим доступа:<https://fdmprint.ru/2023/03/22/kak-3d-pechat-pomogaet-optimizirovat-jadernuju-ehnergetiku/>: – Дата доступа 28.09.2023.

УДК 621.355:004.94

**ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ И  
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ДОМОХОЗЯЙСТВА  
ENERGY SAVING AND REDISTRIBUTION SYSTEM FOR HOUSEHOLD  
PARAMETERS DESIGN**

И.В. Кулинич

Научный руководитель – К.В. Доброго, д.ф.-м.н.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

I. Kulinich

Supervisor – K. Dobrego, Doctor of Physical and Mathematical Sciences

Belarusian National Technical University, Minsk

**Аннотация:** *Описывается система накопления и распределения электроэнергии с функциями потребительского тарифного маневрирования, буферизации ветрогенерации, бесперебойного электроснабжения и выравнивания нагрузки сети. Приводится качественный анализ определения оптимальной емкости СНЭ обеспечивающей выполнение перечисленных функций. Показано, что повышение емкости СНЭ выше определенной части суточного дефицита электроэнергии (при отсутствии возможности продажи по высоким тарифам) снижает экономическую эффективность его применения. Приведены формулы для оценки экономического эффекта применения СНЭ.*

**Abstract:** *A system for the accumulation and distribution of electricity with the functions of consumer tariff maneuvering, buffering of wind generation and uninterrupted power supply and network load balancing is described. A qualitative analysis is provided to determine the optimal capacity of the solar energy system that ensures the performance of the listed functions. It is shown that increasing the capacity of ESS above a certain part of the daily electricity shortage (in the absence of the possibility of sale at high tariffs) reduces the economic efficiency of its use. Formulas are given for assessing the economic effect of using ESS.*

**Ключевые слова:** *система накопления электроэнергии, аккумуляторная батарея, локальная энергетическая система, интеллектуальная сеть, возобновляемые источники энергии.*

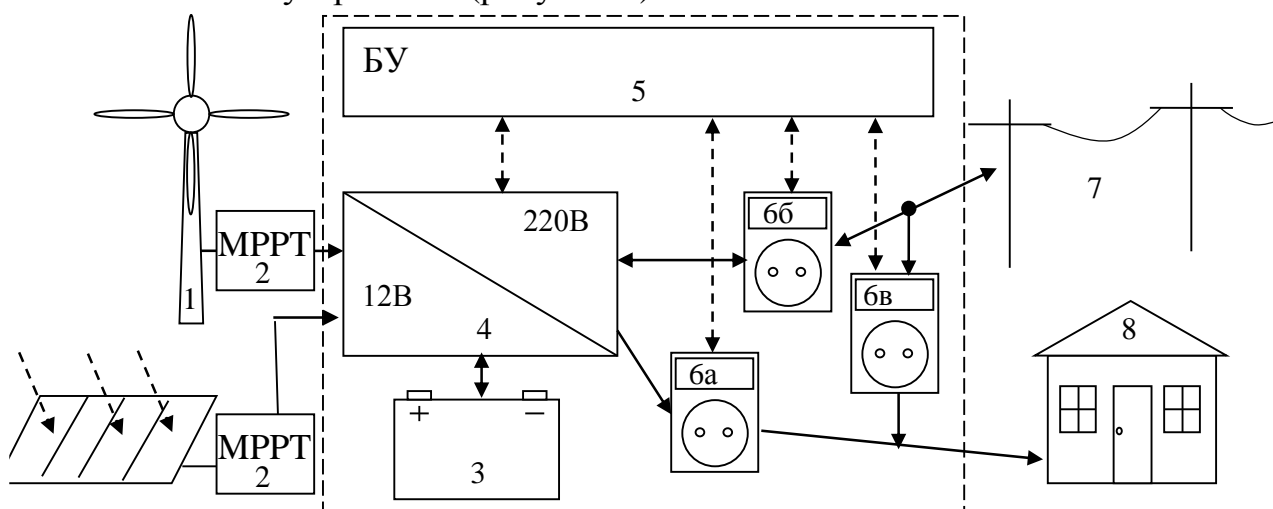
**Keywords:** *energy storage system, local energy system, battery, intellectual network, renewable energy sources*

### **Введение**

Основополагающим принципом работы энергетической системы является баланс между генерацией и потреблением. Балансировка распределительной сети традиционно достигается за счет увеличения генерации для удовлетворения потребностей в энергии. Но этот подход отрицательно сказывается как на эффективности, так и на сроке эксплуатации оборудования. Системы накопления электроэнергии (СНЭ) делают электрическую энергию запасаемой и портативной, снимая необходимость строгой одновременности процессов ее генерации и потребления. Актуальность СНЭ выросла в последние десятилетия,

в связи с увеличением доля возобновляемых источников энергии в энергетическом балансе, развитием атомной энергетики.

Включение в систему «генератор – потребитель» звена «накопитель» позволяет достигать ряда технических и экономических результатов. Обеспечение надежности и бесперебойности электроснабжения, для метеозависимой генерации – выполнение графика поставки электроэнергии, обеспечение потребления электроэнергии по минимальным (дифференцированным по времени) тарифам, оптимизация (выравнивание графика нагрузки) режима работы генерирующих станций и энергосистемы в целом, повышение качества электричества. Система накопления электроэнергии (СНЭ) – не просто аккумулятор, периодически накапливающий и отдающий энергию, а система, осуществляющая функции «умного» распределения потоков электроэнергии внутри себя и системы «генератор-накопитель-потребитель». СНЭ включает в себя: электрохимический накопитель энергии (аккумуляторную батарею), одно- или двунаправленный преобразователь электрической энергии (инвертор), блок управления, блоки коммутации, иные сенсорные или исполнительные устройства (рисунок 1).



1 – ветрогенератор (альтернативный источник 12В); 2 – МРРТ контроллер,  
3 – аккумуляторная батарея 12В; 4 – инвертор-выпрямитель; 5 – блок управления;  
6а, 6б, 6в – управляемые реле (коммутаторы); 7 – стационарная сеть; 8 – потребительская сеть.

Рисунок 1 – Схема «домашней» СНЭ

Условно можно разделить СНЭ по емкости и мощности на устройства «домашнего» (~ 10 кВт.ч), промышленного (~ 100 кВт.ч) и системного (~ МВт.ч) уровня, различающиеся по масштабу, стандартам проектирования и исполнения.

#### Режимы работы СНЭ.

Режим работы «источник бесперебойного питания» (ИБП) является простым режимом работы СНЭ, реализуемым при помощи АКБ, двунаправленного инвертора, коммутатора и блока управления, осуществляющего контроль за тем чтобы:

- напряжения и токи находились в допустимых пределах;
- цепь потребителя перекоммутировалась на инвертер при отключении питания стационарной сети.

Режим работы «потребительское тарифное маневрирование» (ПТМ) направлен на то, чтобы накапливать электроэнергию во время действия наиболее дешевых тарифов на электроэнергию и отдавать ее во время действия наиболее дорогих тарифов.

Режим ТМ реализуется при помощи АКБ, двунаправленного инвертора (инвертор–выпрямитель), таймеров–коммутаторов. Блок управления осуществляет контроль за тем чтобы: 1) напряжения и токи находились в допустимых пределах; 2) управляет таймерами–коммутаторами (если они не работают по самостоятельным программам); 3) переключает нагрузку на стационарную сеть при разрядке АКБ. Таймер–коммутатор “б” включает зарядку АКБ от постоянной сети в период времени дешевых тарифов (коммутатор “а” разъединен), при этом зарядный ток должен соответствовать длительности периода низких тарифов. В период времени дорогого тарифа (пик нагрузки) таймер–коммутатор “а” подключает АКБ через инвертор к нагрузке, таймер–коммутатор “б” разрывает линию сеть – инвертор. Коммутатор “в” работает в управляемом режиме.

Как правило, функции ИБП и ПТМ объединяются. Это реализуется соответствующим усложнением алгоритма работы блока управления и коммутирующих устройств. Во время дешевого тарифа АКБ заряжается полностью, во время дорогого тарифа (пиков потребления) БУ допускает максимальную разрядку АКБ и затем подключает стационарную сеть. В прочее время АКБ заряжается частично и выполняет функции ИБП.

При подключении к системе одного или нескольких источников генерации к функциям СНЭ добавляется буферизация генерируемой энергии. Для небольших «домашних» энергетических систем такими источниками, как правило, являются солнечные панели и (или) ветрогенератор. Алгоритмы управления системой в целом могут быть сложными, нацеленными на оптимизацию работы системы (целевой функции). Данный режим работы назовем режимом накопления–распределения электрической энергии» (НРЭ).

СНЭ может объединять все упомянутые выше режимы работы и функции. Экономическая эффективность применения СНЭ возрастает при выполнении ею максимально возможного количества полезных функций. Ввиду этого обстоятельства некоторые компании, развивающие направление СНЭ в энергетике, вводят понятие «энергетический роутер», которое подразумевает систему, позволяющую «смешивать» энергию из различных несинхронизированных источников и добавлять к ним мощность от накопителя, а также балансировать нагрузки между фазами и компенсировать реактивную мощность. При этом СНЭ становится ядром интеллектуальной локальной микросети. Крупные накопители участвуют в управлении качеством сетевой электроэнергии.

Расчет емкости АКБ на основе предписанных функций системы.

Для оценки параметров СНЭ должно быть сформулировано общее предписание работы СНЭ. В качестве примера сформулирует следующее предписание:

- Энергия ветрогенерации должна накапливаться или непосредственно использоваться потребителями (не сбрасываться);
- Не менее  $E_{\text{пик}}$  энергии СНЭ должно выдаваться в течение периода пиковых цен;
- После выдачи энергии в пик СНЭ должно сохранять  $E_{\text{res}}$  энергии для осуществления функции БП;
- За время ночного минимума потребления (~6.5 часов) СНЭ должно заряжаться до уровня  $C - E_{\text{res}}$ .

Конкретизация параметров предписания в Таблице 1.

Таблица 1 – Параметры СНЭ для упрощенного моделирования

Обозначение	Характеристика	Ед. изм.	Значение
$E_{\text{потр}}$	Среднесуточное потребление дома	кВт.ч	8.45
$P_{\text{потр}}$	Мощность потребления дома	кВт	Модельный график
$P_{\text{пик}}$	Уровень пикового потребления	кВт	0,9
$\langle P_{\text{пик}} \rangle$	Уровень мощности за период пиковых цен	кВт	0,73
$E_{\text{вг}}$	Средняя суточная ветрогенерация	кВт.ч	4,8
$P_{\text{вг}}$	Мощность ветрогенерации	кВт	0,2
Тп1 -Тп2	Период пиковых цен	час	18.00-23.30
Тнм1-Тнм2	Период ночного минимума цен	час	0.00–6.30
$P_{\text{СНЭ}}$	Мощность нагрузки СНЭ (с учетом знака)	кВт	Согласно алгоритму управления
$C$	Емкость СНЭ	кВт.ч	1,9
$\xi$	Емкость СНЭ относительно среднего дефицита энергии $\xi = C / \langle (E_{\text{потр}} - E_{\text{вг}}) \rangle$	Безр.	0,52
$E_{\text{рез}}$	Резервная емкость, (часть от $C$ )	кВт.ч	0,2

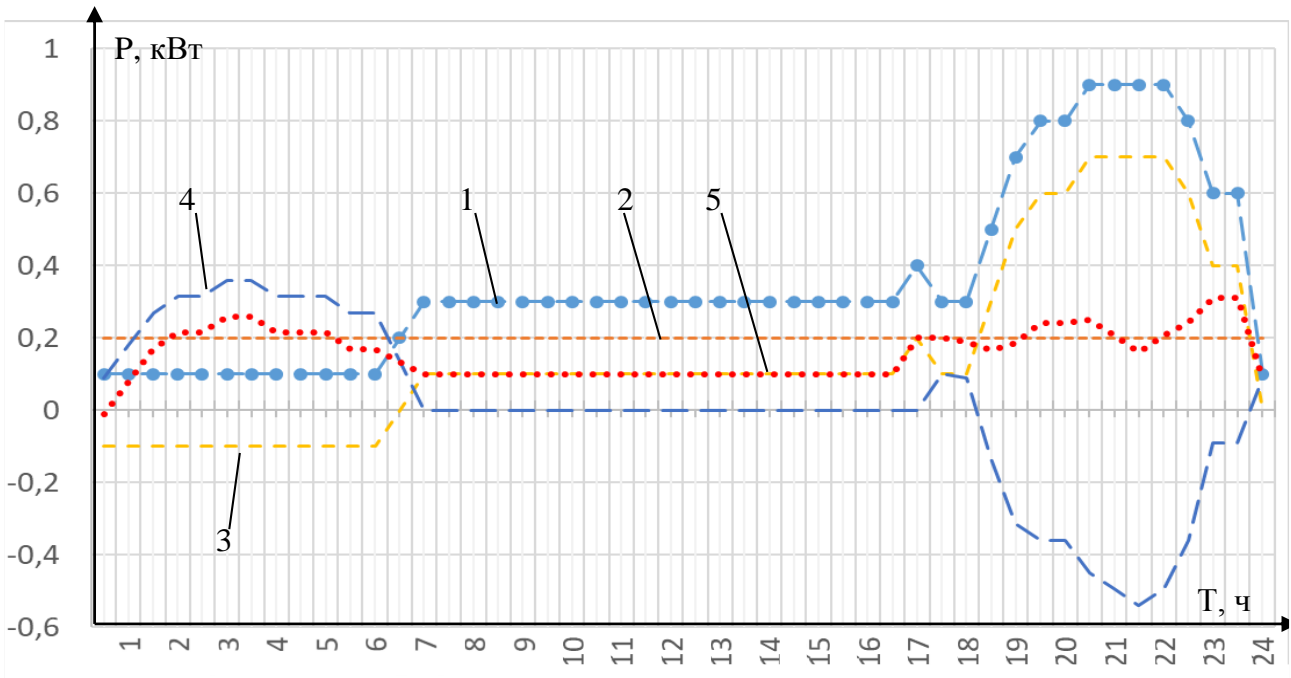
Оценочное моделирование работы СНЭ.

Оценочное моделирование может быть проведено с использованием эффективных или осредненных режимов системы «генератор-накопитель-потребитель» с учетом предписания работы. Также могут быть рассмотрены статистические варианты рабочих параметров и на этой основе определен разброс технико-экономических параметров СНЭ.

Проведем качественное моделирование работы СНЭ в локальной энергетической системе жилого дома. Пусть мощность ветрогенерации – постоянна, график потребления дома – упрощенная кусочно – линейная функция (графики 1 и 2, рисунок 2).

Исходя из общего предписания работы СНЭ и параметров Табл.1 полагаем, что после разрядки резервная остаточная емкость СНЭ 0.2кВт.ч. С 00.00 часов до 6.30 идет зарядка СНЭ средней мощностью 0,26 кВт (0.2 кВт за счет ветрогенератора) и стационарной сети. С 6.30 часов по 18.00 СНЭ работает на буферизацию ветрогенерации, при этом емкость, зарезервированная для буферизации ветрогенерации, не превышает средней мощности ветрогенерации





1 – нагрузка потребления, 2 – усредненная ветрогенерация, 3 – дефицит ЭЭ (потребление - генерация), 4 – мощность накопления, 5 – общая нагрузка сети.

Рисунок 2 – Модельные графики нагрузки в системе «сеть-генератор-накопитель-потребитель». Относительная емкость СНЭ  $\xi=0,52$

умноженной на время флуктуации скорости ветра. Таким образом в суточной работе СНЭ выделяются 4 характерных области и режима работы. 1 – запасание энергии в ночной период, 2 – квазистационарная буферизация генерации и потребления, 3 – добор энергии перед периодом дорогой электроэнергии, 4 – отдача электроэнергии в пик потребления. Специфика генерации и потребления накладывает требования к функционированию СНЭ в каждой из указанных областей.

Рабочий график состояния зарядки может иметь вид (рисунок 3).

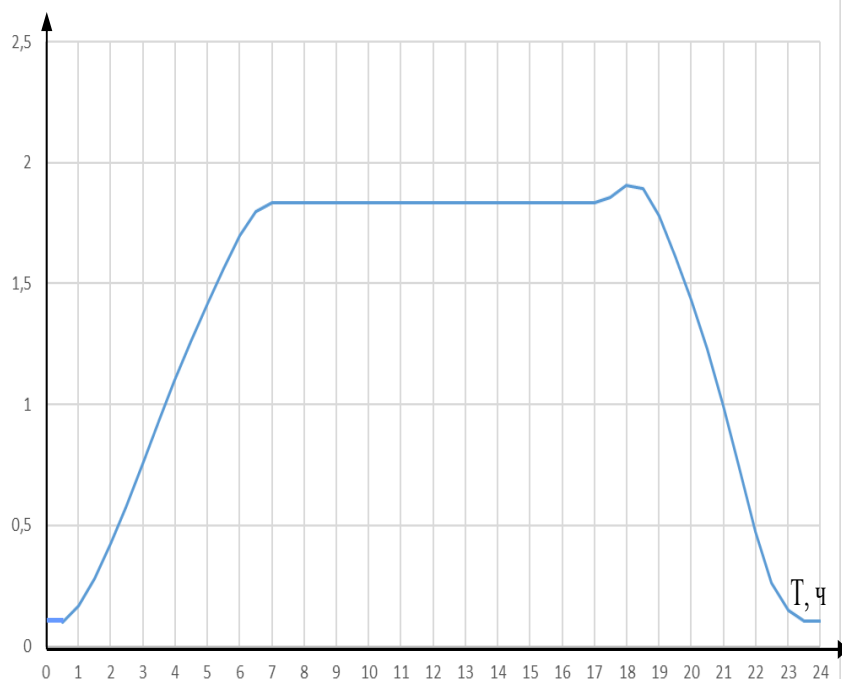


Рисунок 3 – Модельный график состояния зарядки СНЭ для оценочного моделирования

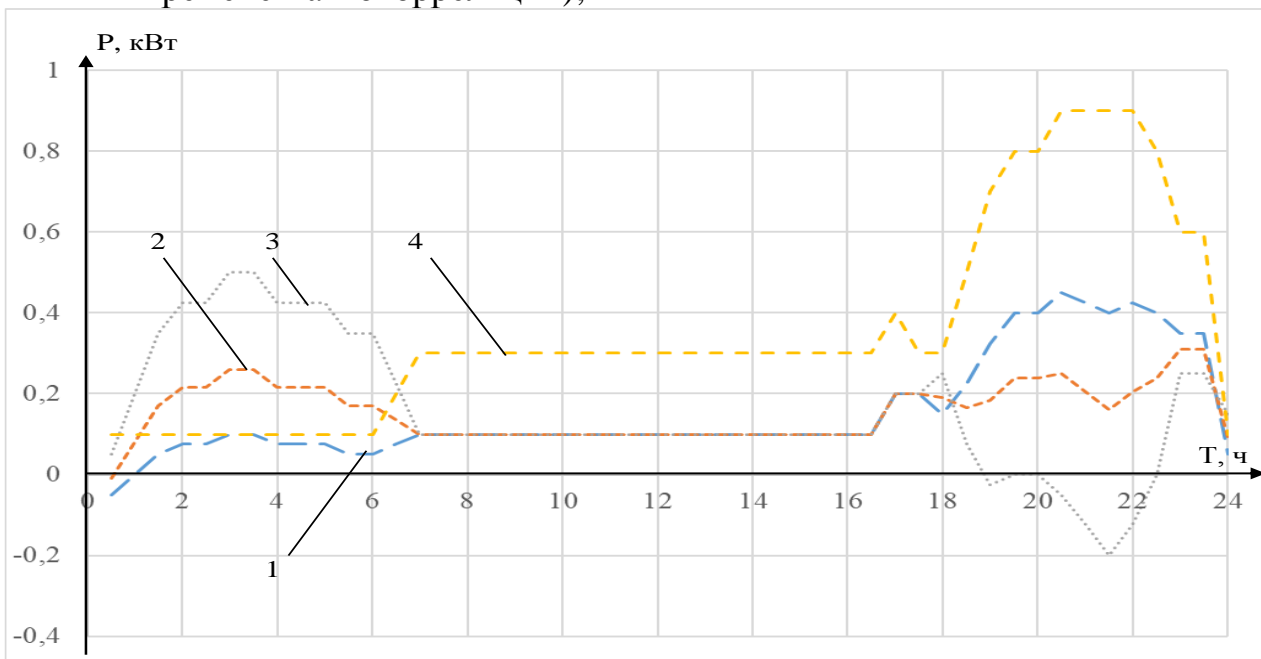


Согласно общему предписанию работы СНЭ основная емкость ( $C-C_{рез}$ ) разгружается в течение часов пикового потребления. В этом случае средняя мощность нагрузки составляет  $(C-C_{рез})/5,5=0,33\text{кВт}$  (5,5ч. - длительность периода пиковых цен), что выше средней мощности потребления домохозяйства. Следует рассмотреть вариант когда нет возможности поставки электроэнергии в сеть по выгодному тарифу. Емкость накопителя должна соответствовать ожидаемой нагрузке  $(\langle P_{пик} \rangle - P_{вт} - \langle P_{сеть} \rangle) \cdot (T_{п2} - T_{п1}) = C - C_{рез}$ . Учитывая построенные графики работы ветрогенератора, СНЭ и нагрузки потребления, как разность соответствующих величин, строим график нагрузки стационарной сети. (график 4, рисунок 2).

Аналогичные модельные графики нагрузки стационарной сети построены для относительной емкости СНЭ  $\xi=0,33$  и  $\xi=0,88$  и отсутствии возможности возврата излишней энергии в сеть (рисунок 4). Из рисунка 4 видно, что экономический эффект СНЭ, связанный с потребителем тарифным маневрированием растет с ростом емкости СНЭ до определенного уровня. Дальнейшее увеличение емкости СНЭ не влияет на функцию потребителя тарифного маневрирования, хотя может улучшить функции буферизации ветрогенерации и обеспечения бесперебойности электроснабжения.

Повышение точности(адекватности) модели работы СНЭ связано с учетом ряда факторов:

- Сложный график реального потребления электроэнергии;
- Особенности используемых АКБ;
- Статистический характер ветрогенерации и потребления. (графики нагрузки должны рассматриваться как статистические в рамках модели Вейбула или нормальной случайной величины с характерной дисперсией и временем автокорреляции);



1 –  $\xi=0,33$ ; 2 –  $\xi=0,52$ ; 3 –  $\xi=0,88$ , 4 – без накопителя ЭЭ.

Рисунок 4 – Модельные графики нагрузки стационарной сети в системе «сеть- генератор- накопитель- потребитель» при различных емкостях СНЭ

- Сезонная и недельная вариабельность ветрогенерации и нагрузки;
- Специфика нагрузки (наличие быстрых пиков, превышение допустимых мощностей и токов 10С).

Рассмотрим возможность учета данных факторов. Усредненный графикреального потребления электроэнергии может быть обработан в рамках описанной процедуры. Особенности используемых АКБ определяют технически рациональный уровень разрядки и Срез, а также допустимый токовый режим разрядки и зарядки и также учитываются в рамках рассмотренной процедуры моделирования.

Учет статистического характера ветрогенерации и потребления требует усложнения подходов к моделированию (методики моделирования). Представим мощность ветрогенерации и потребления дискретными статистическими функциями со следующими характеристиками.

Таблица 2 – Статистические характеристики

	Мат ожидание	Дисперсия	Характерное время изменчивости
$P_{вг}$	$M(P_{вг},t_i)$	$D(P_{вг},t_i)$	$\tau_1(P_{вг})$
$P_{потр}$	$M(P_{потр},t_i)$	$D(P_{потр},t_i)$	$\tau_1(P_{потр})$

Для нормальных случайных величин действуют простые правила сложения:

$$M(P_{вг} + P_{потр},t_i) = M(P_{вг},t_i) + M(P_{потр},t_i), \quad D(P_{вг} + P_{потр},t_i) = D(P_{вг},t_i) + D(P_{потр},t_i), \quad (1)$$

Следуя методике можно построить ожидаемую величину и дисперсию графика нагрузки сети. При этом режим работы СНЭ может быть настроен либо по среднестатистическому графику генерации и потребления, либо уточнен с учетом статистических отклонений. Алгоритм управления СНЭ может иметь прогностический (интеллектуальный) характер, позволяющий компенсировать статистические отклонения графика потребления.

Оценка экономической целесообразности СНЭ в системе «сеть- генератор- накопитель- потребитель».

Основным показателем экономической эффективности применения СНЭ является срок окупаемости инвестиций по созданию СНЭ. Общая сумма инвестиций может быть оценена как удвоенная стоимость аккумуляторов необходимой энергетической емкости. Экономический эффект от использования СНЭ удобно оценивать отдельно по каждой исполняемой функции, таблица 3.

Таблица 3 – Оценка экономического эффекта СНЭ по функциям.

Функция	Метод расчета экономического эффекта
Функция потребительского тарифного маневрирования.	$V_{ПТМ} = \int_0^T P_{СНЭ}(t) C_{ТЭЭ}(t) dt,$ где $C_{ТЭЭ}(t)$ – стоимость электроэнергии по дифференцированному по времени тарифу. Мощность на разрядку считается положительной.
Функция буферизации ветрогенерации.	$V_{БВГ} = \int_0^T (P_{ВГ}(t) - P_{ПОТР}(t)) C_{ТЭЭ}(t) dt,$ Определяется стоимостью профицита электроэнергии за контрольный период.

Функция ИБП (аварийного питания)	$V_{ИБП} = Ver_{АО} C_{ТАО},$ <p>где <math>Ver_{АО}</math>– вероятность аварийного отключения электроэнергии за контрольный период (год), <math>C_{ТАО}</math> –среднестатистическая стоимость ликвидации последствий аварийного отключения электроэнергии.</p>
--	---

Система накопитель- распределитель электроэнергии для домашнего применения может быть построена на базе имеющихся в продаже контроллеров заряда – инверторов, а также источников бесперебойного питания.

### Заключение

В докладе рассмотрены функции, структура СНЭ в системе «сеть-генератор- накопитель- потребитель» а также простые подходы для выбора параметров применительно к домохозяйству.

Показано, что повышение емкости СНЭ выше определенной части суточного дефицита электроэнергии (при отсутствии возможности продажи по высоким тарифам) снижает экономическую эффективность его применения.

Приведены формулы для оценки экономического эффекта применения СНЭ с функциями потребительского тарифного маневрирования, буферизации ветрогенерации и аварийного питания (ИБП).

### Литература

1. Национальная ассоциация нефтегазового сервиса [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://nangs.org/news/renewables/eksperty-mirovoyo-rynok-nakopiteley-energii-do-2030-goda-budet-rasti-na-23-v-god>. Дата доступа: 20.10.2023
2. Доброго К.В. Об обосновании экономической целесообразности использования электрохимических накопителей электроэнергии в энергетической системе. Энергетическая стратегия, №5 (89), 2022, с.28-32

УДК 632.116.6

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП В УСЛОВИЯХ  
ГОЛОЛЕДА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ  
ENSURING THE RELIABILITY OF OVERHEAD POWER LINES IN ICY  
CONDITIONS IN THE REPUBLIC OF BELARUS**

П.А. Крупень

Научный руководитель – С.В. Константинова, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

P. Krupen

Supervisor – S. Konstantinova, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** рассмотрены механизмы воздействия гололеда на воздушные линии электропередачи и методы борьбы с его образованием.*

***Abstract:** the mechanisms of the impact of ice on overhead power lines and methods of combating its formation are considered.*

***Ключевые слова:** гололед, противообледенительные системы, воздушные линии электропередачи, надежность.*

***Keywords:** ice, de-icing systems, overhead power lines, reliability.*

### **Введение**

В Республике Беларусь, где холодные зимы и гололед – обеспечение надежного электроснабжения имеет первостепенное значение. Надежность воздушных линий электропередачи в таких условиях имеет решающее значение для повседневной жизни граждан, функционирование промышленности. Любое нарушение энергоснабжения во время гололеда может иметь самые разнообразные последствия, включая экономические потери, неудобства и потенциальную угрозу безопасности населения.

### **Основная часть**

Климат и ледовые условия в Беларуси. В Беларуси континентальный климат, характеризующийся холодной зимой и теплым летом. Эта особенность делает страну уязвимой к гололеду, что может создать проблемы для ее инфраструктуры, включая воздушные линии электропередачи. Ледяные условия, включая ледяной дождь, мокрый снег и могут привести к образованию льда на различных поверхностях, в том числе на линиях электропередач. Что может оказать пагубное влияние на надежность электросети.

Дополнительный вес льда на проводах может привести к провисанию, что может привести к гибели людей, вызвать колебания напряжения и потенциальное повреждение электрооборудования. Например, во время сильной ледяной бури в 2022г. были одновременно обесточены около 340 населенных пунктов, что привело к отключениям подачи воды и тепла. Практически каждый год аварийные службы сталкиваются с подобными проблемами. Такие компоненты, как изоляторы, траверсы и разъемы, могут стать хрупкими или поврежденными, что приведет к утечкам тока и возможным коротким

замыканиям и снижению их эффективности, что может привести к сбоям в работе линий электропередачи и угрозам безопасности.

Помимо проблем с надежностью, гололед создает серьезные проблемы с безопасностью. Падающий лед с линий электропередачи может быть опасен для пешеходов и транспортных средств, проезжающих под ним. Также покрытый слоем корки льда провод часто попадает в резонансную «пляску», которая вызывается сильными порывами ветра. Это явление называется «пляской проводов». Она представляет опасность созданием на проводах сильных колебаний большой амплитуды, достигающей 12-14 м, и длину волны, равную длине межопорного пролёта линии. При долгом воздействии ветра может произойти схлестывание проводов или их обрыв. (рисунок 1)



Рисунок 1 – Пример аварии, вызванной гололедом и самой наледью

Профилактическое обслуживание и смягчения последствий.

Регулярные проверки линий электропередачи являются фундаментальным аспектом профилактического обслуживания. Эти проверки помогают выявить потенциальные проблемы, такие как поврежденные компоненты или скопление льда, прежде чем они приведут к отключению электроэнергии или угрозе безопасности. Проверки могут быть визуальными, проводимыми с помощью наземных или воздушных осмотров или даже использовать передовые технологии. Модернизация оборудования линий электропередачи с использованием более современных и надежных компонентов является частью профилактического обслуживания. Новые материалы и конструкции могут лучше противостоять суровым погодным условиям и снижать риск отказов оборудования. Это включает в себя использование современных изоляторов, коррозионностойких материалов, более прочных материалов и опорных структур. Обрезка или расчистка растительности вблизи линий электропередач может снизить риск повреждения во время гололеда и снизить вероятность отключения электроэнергии.

Наличие четко определенных планов реагирования на чрезвычайные ситуации является важной частью профилактического обслуживания. Быстрые и



эффективные меры реагирования могут помочь свести к минимуму время простоя и неудобства для потребителей.

Противообледенительные покрытия наносятся на критически важные компоненты, такие как изоляторы и проводники, чтобы предотвратить накопление льда. Эти покрытия создают гидрофобную поверхность, которая отталкивает воду и лед, снижая вероятность образования льда.

Противообледенительное оборудование, такое как нагретые проводники и изоляторы, может активно растапливать лед, образующийся на линиях электропередач. Системы электрического отопления предназначены для поддержания критически важных компонентов при температуре выше точки замерзания, предотвращая накопление льда. Также противообледенительный нагрев может производиться по методу Виктора Петренко и заключается в принудительном нагреве проводов посредством увеличения силы тока. Системы мониторинга погоды предоставляют данные в режиме реального времени о погодных условиях, включая температуру и осадки. Эти системы могут помочь предсказать вероятность возникновения обледенения и инициировать активацию противообледенительных мер. Технологии обнаружения льда, такие как тепловидение и датчики, используются для мониторинга накопления льда на линиях электропередачи. Они могут запускать системы противообледенения или предупреждать обслуживающий персонал, когда накопление льда достигает критического уровня. Дроны, оснащенные камерами и датчиками, все чаще используются для воздушного осмотра линий электропередачи.

Аварийное реагирование, стандартизация и расчёт нагрузок.

Во время гололеда коммунальные организации часто задействуют группы быстрого реагирования, специально обученные для устранения перебоев в подаче электроэнергии, вызванных проблемами, связанными с гололедом. В тех случаях, когда полный ремонт может занять время, вводятся временные исправления, чтобы как можно быстрее восстановить работоспособность. Эти меры могут включать восстановление оборванных проводов, обход поврежденных компонентов или использование мобильных генераторов для подачи электроэнергии. После восстановления электроснабжения коммунальные компании обычно проводят анализ после события, чтобы оценить реакцию и определить области для улучшения реагирования.

Правила и стандарты детализируют частоту и объем работ по техническому обслуживанию и проверкам. Указания по разработке организационно-технологических карт и проектов производства работ по техническому обслуживанию и ремонту электроустановок и линий электропередачи устанавливаются СТП 33240.20.670-19.

Для того чтобы избежать обрывов провода, существует методика расчёта воздействия различных факторов на провод.

Технологические достижения ведут к созданию более сложных систем обнаружения и мониторинга льда. Эти системы, которые могут включать улучшенные датчики и анализ данных в реальном времени, могут предоставлять более точную и своевременную информацию коммунальным предприятиям, позволяя быстрее реагировать на проблемы, связанные с гололедом. Технология



интеллектуальных сетей играет все более важную роль в повышении надежности линий электропередачи. Она обеспечивает лучшую связь между коммунальными системами и потребителями, позволяя более эффективно обнаруживать сбои и быстрее восстанавливать электроснабжение.

Энергокомпании рассматривают возможность создания климатически устойчивой инфраструктуры, способной противостоять экстремальным погодным условиям, включая гололед. Это может включать использование материалов и конструкций, специально разработанных для защиты от накопления и повреждения льда. Достижения в области материаловедения приводят к улучшению изоляции и противообледенительных покрытий. Эти технологии предназначены для обеспечения более длительной защиты от накопления льда и поддержания надежности линий электропередачи.

По мере того, как растет понимание влияния изменения климата и экстремальных погодных явлений, могут появиться обновления политики и правил, регулирующих инфраструктуру линий электропередач.

### **Заключение**

Рассмотрены проблемы, связанные с накоплением льда, сбоями оборудования и проблемами безопасности, а также важность профилактического обслуживания и эффективных стратегий реагирования. Надежность воздушных линий электропередачи имеет решающее значение для благосостояния населения и функционирования жизненно важных служб, промышленности и бизнеса. Гололед может нарушить эту надежность, что приведет к экономическим потерям и угрозам безопасности. Различные профилактические меры и стратегии смягчения последствий: от регулярных проверок до противообледенительных систем и современных материалов необходимы для снижения воздействия гололеда на линии электропередач.

Сотрудничество с соседними странами и международными организациями, а также адаптация технологий и подходов являются ключом к решению проблем, связанных с ледовыми условиями. Необходимо внедрение новейших технологий, укрепление инфраструктуры, а также разработка комплексных планов реагирования на чрезвычайные ситуации и практика регулярного технического обслуживания.

### **Литература**

1. Вавилова, И. В. Борьба с гололёдом в электросетевых предприятиях / И.В. Вавилова, И.Е. Голубков, Р.М. Рудакова. — Уфа: Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 1995. – 194 с.
2. Дьяков и ликвидация гололедных аварий в электрических сетях. Пятигорск: Изд-во РП «Южэнерготехнадзор», 2000. – 284 с.
3. Губаев, Д. Ф. Обнаружение гололёда на линиях электропередачи локационным методом: дис. канд. техн. наук: 05.11.2013 / Д.Ф. Губаев. — Казань, 2009 – 186 л.

УДК 621.316.1

**ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ  
HIGH VOLTAGE TEST TRANSFORMERS**

В.И. Юрченко А.А. Зайцев

Научный руководитель – В.П. Счастный, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, Минск

V. Yurchenko A. Zaytsev

Scientific Supervisor – V. Schastny, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian National Technical University, Minsk

***Аннотация:** Рассмотрены основные принципы работы испытательных высоковольтных трансформаторов, их конструктивные особенности и требования к проведению испытаний.*

***Annotation:** The basic principles of operation of test high-voltage transformers, their design features and requirements for testing are considered.*

***Ключевые слова:** испытательные высоковольтные трансформаторы, высоковольтные трансформаторы.*

***Keywords:** test high-voltage transformers, high-voltage transformers.*

**Введение**

Высоковольтные трансформаторы играют ключевую роль в обеспечении работы электрических сетей и подстанций, передавая электроэнергию на большие расстояния и преобразуя напряжения для различных потребителей. Однако, чтобы гарантировать их безопасность и надежность, эти трансформаторы должны проходить испытания на прочность и устойчивость к различным воздействиям

Важно понимать, что правильный выбор и проведение испытаний высоковольтных трансформаторов обеспечивает не только их надежную работу, но и безопасность для персонала и окружающей среды. Ранние трансформаторы высокого напряжения были разработаны в конце 19 века и использовались для передачи электроэнергии на большие расстояния. В 1880-х годах было изобретено устройство, которое позволяло безопасно проводить эксперименты с высоким напряжением, и это стало основой для создания испытательных трансформаторов актуальной и требует постоянного внимания и изучения

В 1900 году был создан первый высоковольтный испытательный стенд, который использовался для тестирования изоляции и определения характеристик новых материалов. Это стало важным шагом в развитии высоковольтных испытательных трансформаторов и позволило проводить более точные и надежные испытания

Во время Второй мировой войны испытательные трансформаторы стали использоваться для тестирования военной техники и оборудования, что способствовало их развитию и улучшению. После войны трансформаторы стали активно использоваться в науке, промышленности и тестировании оборудования

Современная эра испытательных трансформаторов началась в 1970-х и 1980-х, когда были разработаны новые технологии и материалы, позволяющие

создавать более эффективные и безопасные трансформаторы. В это время были созданы трансформаторы с масляным заполнением, которые обеспечивали более высокую безопасность и надежность при проведении испытаний/

Сегодня испытательные высоковольтные трансформаторы совершенствуются. Они используются в различных отраслях, включая энергетику, электронику, телекоммуникации и другие. Современные трансформаторы могут быть адаптированы для проведения испытаний на различные напряжения и мощности, а также имеют более высокую точность и надежность

### **Основная часть**

Испытательные трансформаторы (ИТ) – это специальные устройства, используемые в электроэнергетике для измерения высоких напряжений и больших токов. Это трансформатор с определенными параметрами, который без потери точности позволяет получить значения высоких напряжений и токов, уменьшенные в несколько раз, с наиболее близким приближением к измеренным значениям.

Принцип работы испытательного трансформатора основан на преобразовании значений напряжения и тока. ИТ состоит из первичной обмотки, подключенной к измеряемому высокому напряжению или току, и вторичной обмотки, с которой снимается уменьшенное значение напряжения или тока. Вторичная обмотка обычно имеет большее число витков, чем первичная, для достижения требуемого снижения напряжения или тока

Характерной особенностью испытательных трансформаторов по сравнению с силовыми является большой коэффициент трансформации (100-500), малая мощность, ограниченное время включения и, как следствие, значительная индуктивность рассеяния. Кроме того, изоляция испытательных трансформаторов испытывается напряжением  $1,1 - 1,2 U_{ном}$  и таким образом имеет существенно меньшие запасы электрической прочности, чем у силовых трансформаторов. Режим работы испытательного трансформатора также существенно отличается от условий работы силового трансформатора, так как при испытаниях часто происходят разряды, приводящие к короткому замыканию обмоток ВН. При этом на обмотках ВН испытательного трансформатора возникает срез напряжения. Поэтому обмотка ВН должна изготавливаться так, что распределение напряжения по ее длине было относительно равномерным не только в стационарном режиме, но и при воздействии срезов или импульсов напряжений. Преимуществами испытательных трансформаторов являются высокая точность, широкий диапазон измерений и возможность безопасного измерения высоких напряжений и токов

Высоковольтные испытательные трансформаторы широко применяются на производстве в следующих областях: электрическая промышленность. В основном используются для испытания изоляции электротехнических изделий и оборудования, таких как провода, кабели, трансформаторы, генераторы и электродвигатели; Энергетическая отрасль. Высоковольтные испытательные трансформаторы необходимы для проверки изоляции и надежности

высоковольтных компонентов энергосистем, включая электростанции, подстанции и линии электропередачи; Производство электроники. Испытания изоляции и безопасности являются неотъемлемой частью процесса проектирования и производства электронных компонентов, печатных плат и других устройств; Исследовательские и научные центры. В высоковольтной лаборатории, таких центрах выполняются различные исследования в области электротехники, электроники и электроэнергетики. Испытательные трансформаторы позволяют создавать и измерять высоковольтные импульсы и проверять различные электрические параметры.

В эксплуатации находится множество различных типов испытательных высоковольтных трансформаторов. Наиболее часто используемыми являются:

Трансформаторы с масляным наполнением: используются для проведения испытаний на высокие напряжения и обеспечивают высокую степень безопасности; Сухие трансформаторы: применяются для испытаний на низкое напряжение и не требуют использования масла; Индуктивные трансформаторы: используются для тестирования индуктивности и емкости электрических устройств; Емкостные трансформаторы: применяются для тестирования конденсаторов и других емкостных устройств.

Рассмотрим устройство испытательных высоковольтных трансформаторов на примере трансформаторов ТВИ-100 и ИОМ-100/25.( Рисунок.1)



Рисунок 1 – Испытательный трансформатор ТВИ-100, ТВИ-100/140

Трансформатор высоковольтный испытательный серии ТВИ-100 предназначен для преобразования переменного напряжения в постоянное напряжение с частотой 50 Гц, выпрямления тока через диодный выпрямитель и

формирования напряжения постоянного тока. Применяется для испытания изоляции, защитных покрытий, твердых диэлектриков, средств защиты и другие материалы, которые требуют высокого напряжения.

Трансформаторы выполнены в металлическом корпусе. В состав входят следующие узлы (рисунок 2):

- высоковольтный трансформатор;
- выводной изолятор;
- дисковый антикоронный экран;
- клемма заземления и разъем для подключения.

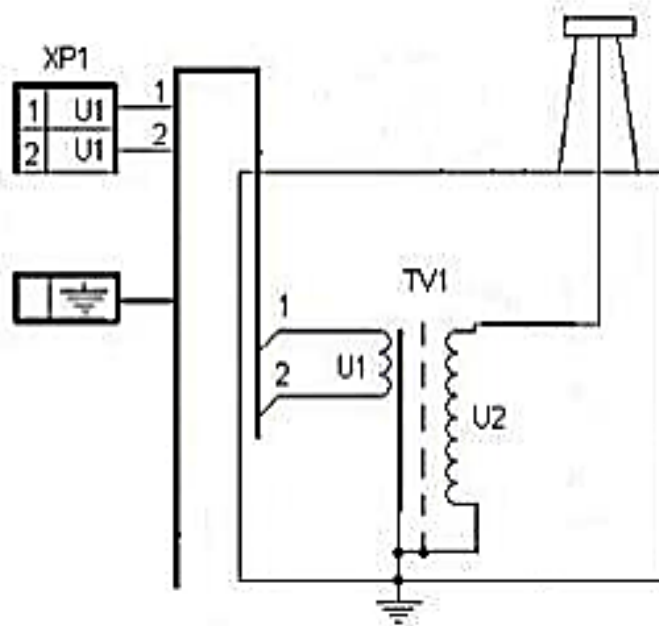


Рисунок.2 – Трансформатор ТВИ-100

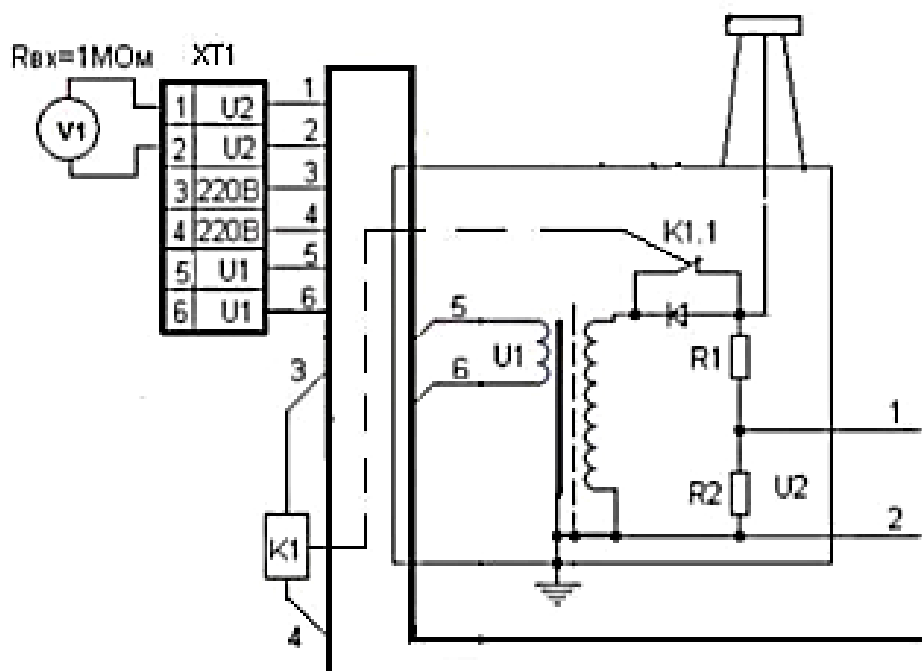


Рисунок 3 – Трансформатор ТВИ-100/140 с клеммным соединителем

Трансформатор ТВИ-100/140 (рисунок 3) отличается от ТВИ-100 наличием дополнительных узлов: разрядное устройство, выпрямительный блок, для получения выпрямленного напряжения до 140 кВ, делитель напряжения с коэффициентом деления 1:1000, 1:10000

Трансформатор испытательный однофазный масляный ИОМ-100/25 (Рисунок4) необходим для проведения широкого спектра работ по испытанию изоляционного материала электрического оборудования и машин с разной мощностью при помощи приложенного напряжения переменного тока, который характеризуется частотой 50 Гц. Трансформатор предназначен для эксплуатации в районах с умеренным климатом и имеет климатическое исполнение У категории размещения 2 по ГОСТ 15150-69.

Работа трансформатора допускается в следующих режимах:

- кратковременный режим, предусматривающий проведение одного испытания, состоящего из шести циклов. Каждый цикл – одномоментная нагрузка и трехминутный перерыв. Промежуток между испытаниями 60 минут. Время, затрачиваемое на подъем и снижение напряжения в одномоментный режим не учитывается;
- длительный режим, предусматривающий проведение испытания в течение 1 часа.

Перед началом работы на трансформаторе ввод X обмотки ВН должен быть заземлен.



Рисунок 4 – Испытательный трансформатор ИОМ-100/25



Электрическая схема трансформатора приведена на рисунке 5

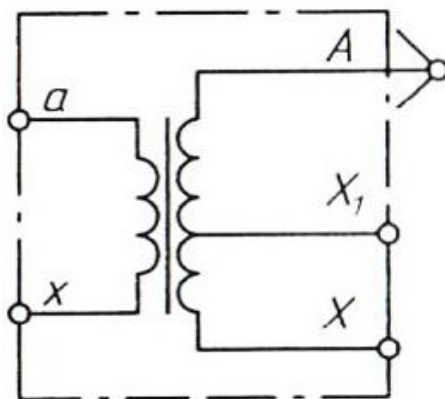


Рисунок 5 – Схема трансформатора ИОМ-100/25

Охлаждение трансформатора естественное масляное. Для контроля величины вторичного напряжения предусмотрен измерительный вывод на напряжение 100 В ( $X_1$ ) со стороны обмотки ВН. Трансформатор состоит из следующих основных узлов: бак, активная часть, ввод ВН с маслорасширителем, вводы НН.

Технические характеристики всех измерительных трансформаторов тока описываются несколькими основными параметрами. Они обязательно указываются в паспорте устройства или другой прилагаемой документации. Специалисты рекомендуют по этим показателям выбирать модель прибора, которую мастер может установить на ту или иную конструкцию.

Главные параметры: Номинальное напряжение. Величина этого показателя для каждой конкретной модели трансформатора указывается в техническом паспорте. В зависимости от разновидности прибора она может составлять от 0,66 до 1150 кВ; Номинальный ток первичной обмотки. Этот важный параметр можно найти в технической документации и литературе. Некоторые производители указывают его в паспорте. Величина тока зависит от исполнения прибора и варьируется от 1 до 40 тыс. ампер; Номинальный ток во вторичной обмотке. В отличие от предыдущего показателя, этот имеет стандартные значения (1 или 5 ампер). Трансформаторы, которые изготавливаются по индивидуальному заказу, могут иметь параметр, который будет равен 2 или 2,5 А; Коэффициент трансформации. Он представляет собой значение, показывающее соотношение показателей тока в первичной и вторичной обмотках. Профессионалы различают 2 разновидности этого коэффициента (действительный и номинальный) и используют их в различных расчётах.

### Заключение

Использование высоковольтных испытательных трансформаторов является неотъемлемой частью процесса сертификации электротехнической продукции. Они позволяют убедиться в соответствии изделий и систем электроснабжения стандартам и требованиям безопасности. Высоковольтные испытательные трансформаторы играют важную роль в научных исследованиях, особенно в области электротехники и энергетики для проведения испытаний изоляционных материалов, определения их электрических свойств и проверки надежности

изоляции, для разработки новых материалов с улучшенными диэлектрическими свойствами и создания более надежных изоляционных систем. Они помогают исследователям расширить границы знаний в области электротехники и энергетики, а также разрабатывать новые технологии и материалы, которые могут быть полезными в различных сферах жизни.

### Литература

1. ТП Консалт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tpconsult.by/catalog/oborudovanie-dlja-poverochnyh-laboratorij/transformatory-ispytatelnye/tvi-100-100-140>. – Дата доступа: 29.10.2023
2. Энергетика Оборудования Документация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://forca.ru/knigi/arhiv/vybor-apparatury-dlya-ispytaniy-elektrooborudovaniya-4.html>. – Дата доступа: 29.10.2023
3. Электрические Сети [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://leg.co.ua/transformatory/teoriya/transformatory-teoriya-i-ustroystvo/Page-14.html>. – Дата доступа: 29.10.2023

УДК 621.316.1

НЕТРАДИЦИОННАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ  
ПОТРЕБИТЕЛЕЙ  
NON-TRADITIONAL POWER SUPPLY SYSTEM FOR CONSUMERS

Н.А. Рассоха, А.А. Кандыбович

Научный руководитель – В.П. Счастный, к.т. н, доцент

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

N. Rassokha, A. Kandybovich

Scientific supervisor – V. Schastny, Candidate of Technical Sciences, Docent

Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** В данной статье рассматривается проблема передачи, распределения и контроля электроэнергии под водой. Показаны системы подводного энергоснабжения, использующие передачу переменного тока высокого напряжения (HVAC) и использующие передачу постоянного тока высокого напряжения (HVDC). Рассмотрены их достоинства и недостатки.

**Abstract:** This article discusses the problem of transmission, distribution and control of electricity under water. Subsea power systems using high voltage alternating current (HVAC) transmission and those using high voltage direct current (HVDC) transmission are shown. Their advantages and disadvantages are considered.

**Ключевые слова:** подводная энергосистема, переменный ток высокого напряжения, постоянный ток высокого напряжения, подводный трансформатор.

**Keywords:** subsea power system, high voltage alternating current, high voltage direct current, subsea transformer.

## Введение

За последние 10–15 лет нефтегазовая отрасль вложила значительные средства в экономически эффективные решения по разработке новых инструментов подводной добычи, повышения давления и переработки. Будучи лидером отрасли в этом секторе, компания АББ разработала новую технологию, которая может стать катализатором плодотворного использования новых инструментов для подводной добычи нефти и газа. В последние годы отрасль также сосредоточила внимание на вспомогательных системах и строительных блоках, которые потребуются для создания экономически обоснованных и гибких комплексных систем подводной добычи нефти и газа. В этом контексте рынок проявил большой интерес к подводным системам электроснабжения, способным передавать, распределять и контролировать электроэнергию в мегаваттном диапазоне. Именно для удовлетворения этой потребности компания АББ приступила к разработке подводной системы распределения электроэнергии (SEPDIS)[1].

Подводная энергосистема предназначена для передачи электроэнергии в любое место, где требуется энергия, по одному подводному силовому кабелю, в отличие от современного использования отдельных кабелей для передачи энергии отдельно подводным потребителям. Другими преимуществами,

предлагаемых концепций, являются большая гибкость, например, в отношении расстояния от точки питания, количества потребителей, поэтапного расширения системы и решения фундаментальных электрических проблем.

Нефтегазовая отрасль старается снизить производственные затраты, перемещая оборудование (компрессоры, насосы, перерабатывающие заводы) на морское дно, так можно повысить эффективность производства, но для оборудования необходима электроэнергия. Таким образом, имеет смысл перенести сеть переменного тока туда же. Перемещение производственного оборудования с платформ на морское дно имеет много преимуществ, помимо эффективности. На морском дне нет экстремальных погодных явлений (циклонов, ураганов, тайфунов и т. д.). Также уменьшается загрязнение морской среды и упрощается вывод из эксплуатации. Это экологично, так как снижает углеродный след (снижаются выбросы энергии и  $\text{CO}_2$ ) на объекте за счет использования более чистого электричества с берега, а не с морского дизельного производства. Передача может осуществляться либо кабелями HVAC (переменного тока высокого напряжения), либо кабелями HVDC (постоянного тока высокого напряжения).

### **Основная часть**

Подводная промышленность уже начала использовать мощные системы передачи переменного тока высокого напряжения, чтобы минимизировать потери мощности и реактивную мощность из-за большой емкости силового шлангокабеля. Система передачи постоянного тока высокого напряжения (HVDC) в подводной промышленности рассматривается как эффективное решение по передаче электроэнергии для подводных энергосистем с длинной обратной связью, поскольку количество силовых проводников и потребление реактивной мощности минимальны. Дальность передачи для типичной системы с длинной обратной связью составляет от 100 до 150 км, а расстояние до распределительной линии составляет около 3000 м. Напряжения передачи обычно поддерживаются на более высоких значениях, порядка 36–100 кВ, чтобы компенсировать потери мощности передачи, а также снизить потребление реактивной мощности. Однако напряжения распределительных линий обычно поддерживаются на низком уровне, порядка 3,3–6,6 кВ, для питания отдельных электрических нагрузок.

В системах HVAC используются трансформаторы линейной частоты на передающем и приемном концах линии передачи, а также в распределительных системах. Это приводит к большой занимаемой площади и низкой удельной мощности системы. Типичная архитектура подводной передачи и распределения электроэнергии HVAC показана на рисунок. 1. [2]

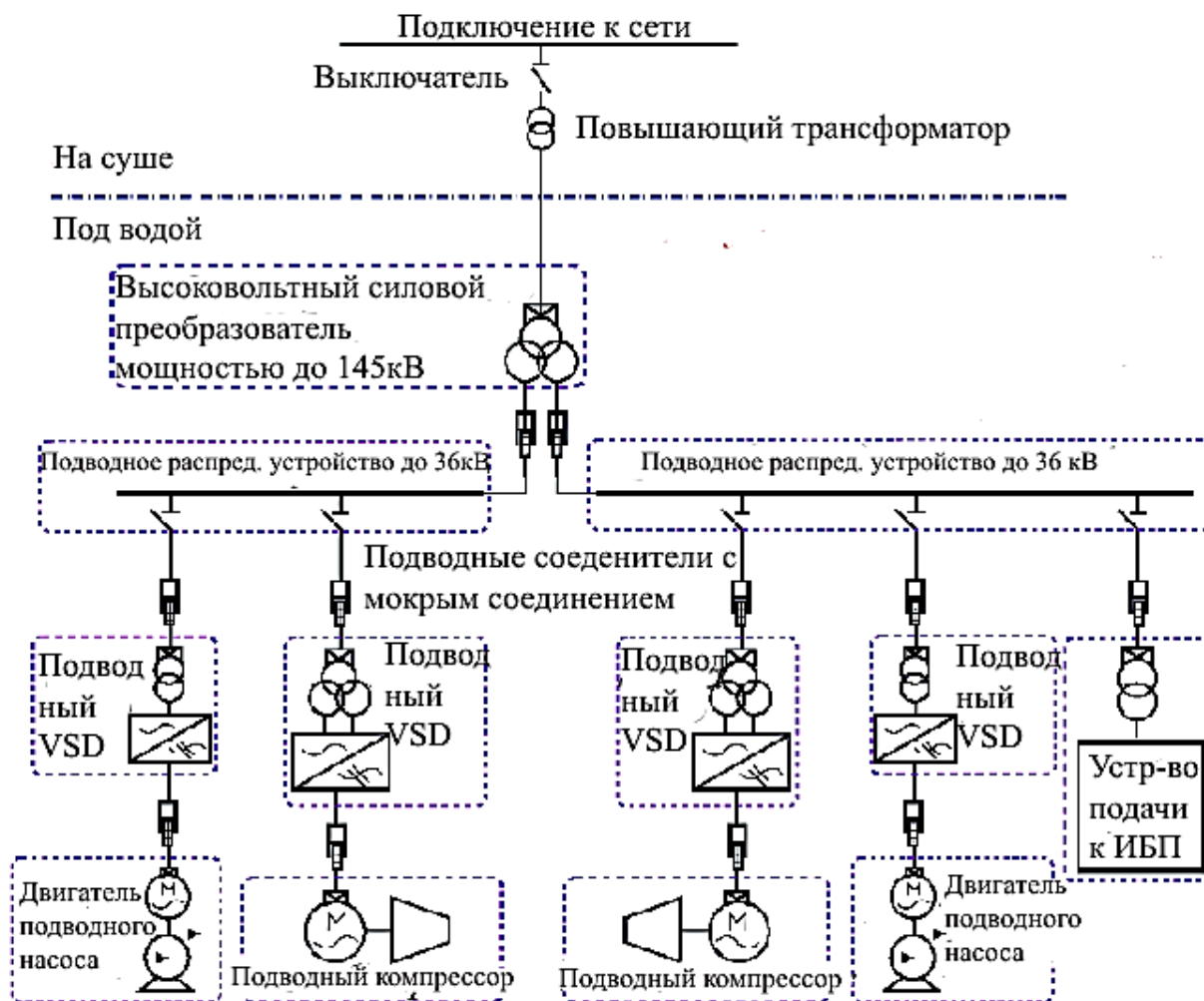


Рисунок 1 – Архитектура подводной передачи и распределения электроэнергии

Передача электроэнергии HVDC уже приобрела важное значение в наземных приложениях благодаря ее преимуществу, заключающемуся в обеспечении безопасной и стабильной работы асинхронного соединения энергетических сетей, работающих на разных частотах, точном и мгновенном контроле мощности и нулевом потреблении реактивной мощности. Было обнаружено, что в традиционных системах передачи электроэнергии передача HVDC превосходит системы HVAC на расстояния передачи более 550 км. Однако некоторые исследования показали, что при подземных и подводных применениях расстояние безубыточности сокращается примерно до 50 км с учетом компенсации реактивной мощности. Передача HVDC демонстрирует улучшения на расстояниях более 50 км, поскольку емкость кабеля в подводном энергетическом шлангокабеле значительна. Сообщается о попытке дальнейшего уменьшения занимаемой площади и достижения модульности – кольцевой структуры HVDC, как показано на рисунке 2.

В этой структуре на распределительной станции используются последовательно соединенные трансформаторы открытого типа, при этом каждый распределительный трансформатор подает мощность на нагрузку индивидуально. Напряжение HVAC, преобразованное на этапе инвертора (DC/AC), распределяется между несколькими трансформаторами и обеспечивает модульность. В случае неисправности определенной нагрузки эту конкретную

секцию можно изолировать с помощью переключателя, который подключается параллельно первичной обмотке трансформатора.

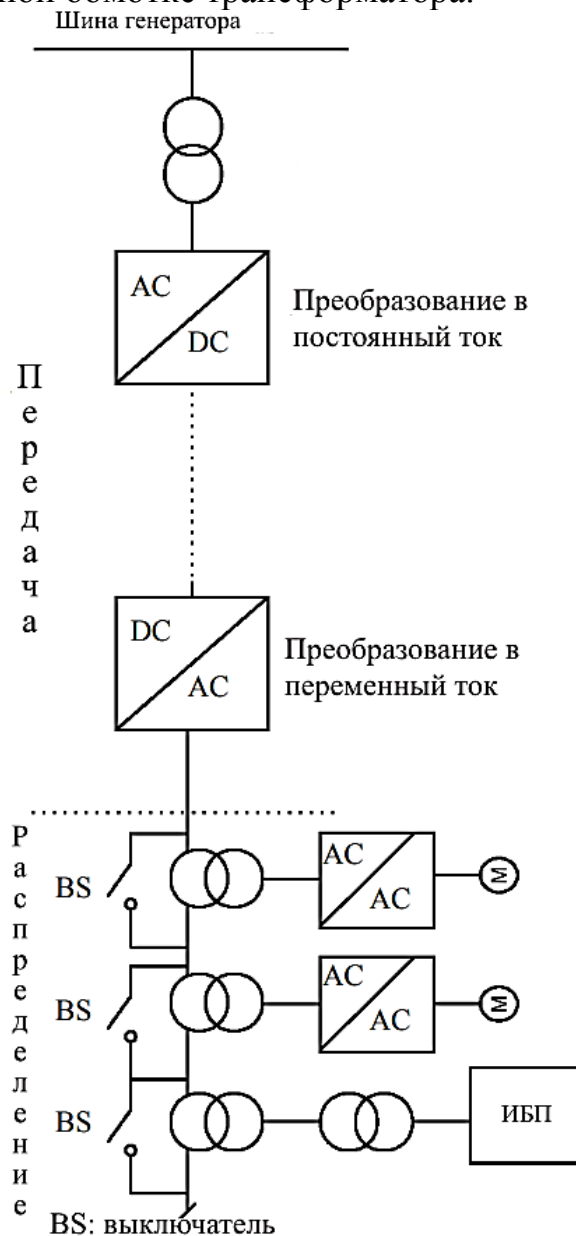


Рисунок 2 – Кольцевая структура HVDC (ИБП – источник бесперебойного питания)

Также была предложена подводная конструкция HVDC, основанная на модульном преобразовании, также известном как модульная многоуровневая передача постоянного тока (MSDC). В этой структуре используются различные модули многоуровневых преобразователей, которые соединены последовательно для обеспечения работы постоянного тока при высоком напряжении, как показано на рис. 3. Модули преобразователей на передающей и приемной сторонах работают в режиме управления током, при этом напряжение преобразователя на передающей стороне изменяется для поддержания необходимого тока и питания нагрузки. Подводные нагрузки, расположенные отдельно в такой конфигурации, требуют большого количества соединителей «мокрого типа», которые довольно дороги и крайне ненадежны. В результате надежность системы снижается. Следовательно, все еще существует



потребность в дальнейшем изучении и разработке надежных и экономически эффективных архитектур подводной передачи и распределения электроэнергии.

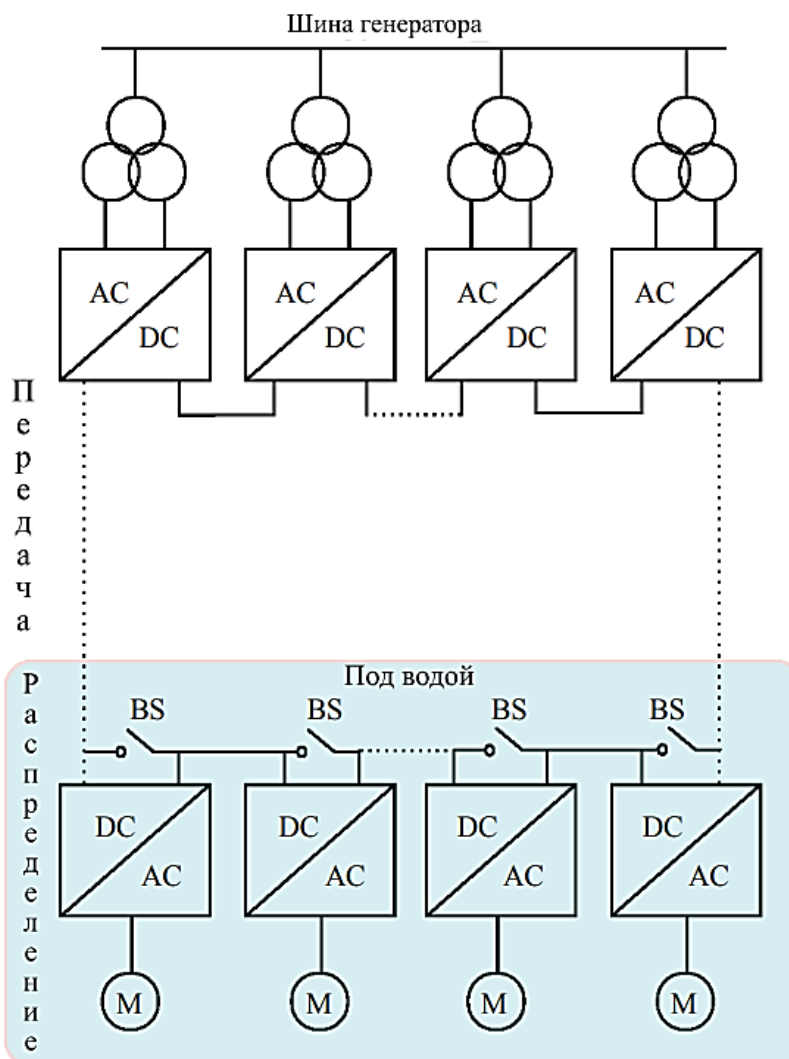


Рисунок 3 – Конструкция HVDC, основанная на модульной многоуровневой передаче постоянного тока (MSDC)

**Подводный трансформатор.** Силовые трансформаторы высокого напряжения играют важную роль в повышении/понижении напряжения передачи и распределения в подводных энергосистемах. Номинальная мощность этих подводных трансформаторов может варьироваться от 500 кВА до нескольких МВА [2]. Трансформаторы предназначены для работы в диапазоне частот от 25 Гц до 75 Гц. Корпус имеет прочную механическую конструкцию с оптимизированными свойствами естественного охлаждения. Все активные части и датчики находятся под полным давлением. Нет проникновения морской воды. Интегрированная система датчиков и мониторинга может быть легко подключена к системе подводного контроля электроэнергии. Это обеспечивает оператору непрерывный контроль состояния трансформатора и возможность оптимизировать операции для повышения безопасности. Подводный трансформатор должен быть спроектирован так, чтобы выдерживать уровни давления морской воды на глубине 3000 м. Кроме того, он должен хорошо работать без технического обслуживания в течение более длительного срока

эксплуатации, что составляет более 25 лет. Многие ведущие электротехнические компании (ABB, SIEMENS и др.) производят подводные трансформаторы большой мощности. Эти трансформаторы классифицируются как однокорпусные и двухкорпусные. Для компенсации давления эти трансформаторы заполняются безопасной жидкостью MIDEЛ 7131®, которая уравнивает давление морской воды и внутреннее давление. Типичный подводный трансформатор, разработанный компанией SIEMENS, который протестирован и аттестован для работы под водой на глубине 3000 м [3], показан на рис. 4. Для поддержания надежности необходимо постоянно контролировать исправность трансформатора. Также важно иметь алгоритм онлайн-диагностики для выявления и устранения неисправности.

При подводной передаче электроэнергии HVDC мощность постоянного тока преобразуется в переменный ток перед подключением к нагрузке. Преобразование постоянного тока в переменный с учетом современных усовершенствований полупроводниковой промышленности может выполняться в два разных этапа (DC-AC-AC). Первоначально напряжение постоянного тока преобразуется в переменное напряжение высокой частоты ( $<1$  кГц для большой мощности). Повышение/понижение напряжения выполняется с помощью высокочастотного трансформатора, а затем он подается на высокочастотный переменный ток в преобразователь переменного тока линейной частоты. Поскольку в этой конфигурации для преобразования напряжения используется трансформатор более высокой частоты (полупроводниковый трансформатор), занимаемая площадь энергосистемы становится меньше. Однако эти трансформаторы еще не нашли своего применения в подводных системах.



Рисунок 4 – Подводный трансформатор компании SIEMENS

## Заключение

Рассмотренные выше примеры подводных энергосистем могут использовать один кабель, что даёт выигрыш в экономическом плане, в отличие от современного использования отдельных кабелей для доставки электроэнергии отдельным потребителям. Также перенос сети переменного тока на морское дно даёт преимущества в виде большей эффективности, уменьшения загрязнения морской среды, ведь теперь энергия берется не с морского дизельного производства.

Перечисленные выше требования и задачи для подводных применений открывают широкий спектр возможностей для исследований и усовершенствований, что в последствии приведёт к созданию эффективной и более благоприятной для окружающей среды подводной системы добычи нефти.

## Литература

1. Controlled subsea electric power distribution with SEPDIS 2016 / Nils Arne Sølvi, Jan Ove Gjerde, Trond Skullerud [Электронный ресурс]. – URL: <https://docplayer.net/15923741-Controlled-subsea-electric-power-distribution-with-sepdis.html> – Дата доступа: 30.10.2023.
2. Electrification of Subsea Systems: Requirements and Challenges in Power Distribution and Conversion 2017 / Kaushik Rajashekara, Harish S. Krishnamoorthy, and B. Satish Naik [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/322630449\\_Electrification\\_of\\_Subsea\\_Systems\\_Requirements\\_and\\_Challenges\\_in\\_Power\\_Distribution\\_and\\_Conversion#pf2](https://www.researchgate.net/publication/322630449_Electrification_of_Subsea_Systems_Requirements_and_Challenges_in_Power_Distribution_and_Conversion#pf2) – Дата доступа: 30.10.2023.
3. Siemens energy / Joe Kaeser, Robert Kensbock [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.siemens-energy.com/global/en/home/products-services/product/subsea-transformers.html> – Дата доступа: 30.10.2023.

УДК 621.311

**ЭФФЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ  
КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ, ПРОЛОЖЕННЫХ В ТРУБАХ  
EFFECTIVE WAYS TO INCREASE THE RELIABILITY OF CABLE LINES  
LAYED IN PIPES**

С.Г. Сидорович, Ю.П. Гловацкая

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

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

S. Sidarovich, Y. Hlavatskaya

Supervisor – E. Deryugina, Candidate of Technical Sciences, Docent

Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** В статье рассмотрены проблемы проектирования кабельных линий в трубах, учитывая различные аспекты и особенности данного способа прокладки кабеля. В век высоких технологий человеческий фактор до сих пор играет важную роль в правильности и безопасности проведения проектных и строительных работ.

**Abstract:** The article discusses the problems of designing cable lines in pipes, taking into account various aspects and features of this method of cable laying. In the age of high technology, the human factor still plays an important role in the correctness and safety of design and construction work.

**Ключевые слова:** кабельные линии, трубы, горизонтальное направленное бурение, триинг, инерциально-измерительная система.

**Keywords:** cable lines, pipes, horizontal directional drilling, triing, inertial measurement system.

### **Введение**

Развитие энергосистемы и повышение ее надежности требует усовершенствования кабельных линий (КЛ) и прокладки новых. Новые КЛ в условиях плотной застройки пересекают инженерные коммуникации, которыми застроены городские и промышленные зоны.

В соответствии с ТКП 339-2022[2], стандартами кабели должны прокладываться в трубах в следующих условиях:

- при пересечении КЛ подземных коммуникаций;
- при выполнении проходов под водными преградами;
- при выполнении проходов под автомобильными и железными дорогами;
- при стеснённых условиях прокладки.

В настоящее время всё чаще встречаются проекты, где прокладка кабелей в трубах составляет 60% длины всей кабельной трассы, превосходя по расстоянию траншейную прокладку. Также существуют КЛ, где прокладка в трубах достигает 90% протяженности всей линии[1].

### **Основная часть**

Самый распространенный вид прокладки кабелей в условиях плотной городской застройки – прокладка в трубах.



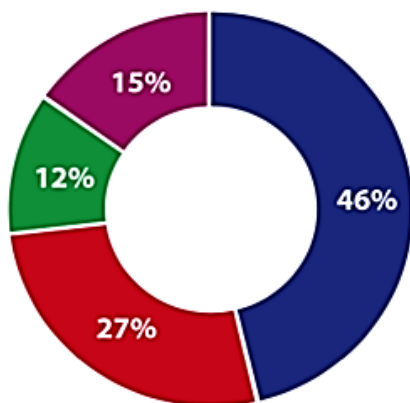
Множество кабелей выходят из строя именно из-за ошибок при монтаже КЛ – более 45%. При несоблюдении технологии выполнения работ по прокладке КЛ часто происходят нарушения оболочки кабеля. Это могут быть дефекты, которые вызваны внешними механическими воздействиями, превышением усилий тяжения кабеля, несоблюдением радиусов изгибов и температурных режимов, халатностью персонала, актами вандализма и т. д. (рисунок 1, рисунок 2, рисунок 3) [1].



Рисунок 1 – Отсутствие возможности своевременно определить места повреждений кабелей из-за высокого электрического сопротивления стенки трубы



Рисунок 2 – Повреждение КЛ из-за воздействия сторонних лиц ввиду отсутствия достоверных данных о расположении трубного кабельного канала, проложенного методом горизонтальное направленное бурение (ГНБ)



- Повреждения в ходе монтажа и строительства
- Повреждения, вызванные воздействием посторонних лиц и строительных организаций
- Повреждения, вызванные природными воздействиями и ошибками эксплуатации
- Заводской брак

Рисунок 3 – Основные причины повреждений кабелей в трубах

Чтобы вовремя обнаружить данные повреждения, в соответствии с п.4.4.29 ТКП 339-2022[2], а также с инструкциями заводов-изготовителей кабелей, после прокладки и монтажа КЛ производят испытания оболочки выпрямленным напряжением 10 кВ в течение 1 минуты. Данные тестирования имеют высокую эффективность, когда кабель находится в контакте с землей, так как в месте повреждения оболочки ток от испытательной установки без препятствий выходит в грунт и подтверждает тем самым наличие отклонения.

В том случае, когда кабель проложен в трубе, складывается другая ситуация. Практически все трубные кабельные каналы выполняются из обычных полимерных труб. Их стенки имеют высокое электрическое сопротивление, тем самым изолируют кабели от земли. В таком случае, при испытании оболочки невозможно выявить даже серьезные повреждения кабелей, проложенных в данных трубах.

Если суммарная длина данных участков КЛ, как описано в начале статьи, составляет 60% от всей длины трассы, то КЛ начинают эксплуатировать без проверки более чем наполовину.

Из этого следует, что возможные повреждения кабелей, находящихся в трубах, не могут быть обнаружены вовремя, что повышает аварийность КЛ и приводит к снижению её надежности. Это связано с попаданием воды в трубу в процессе строительного-монтажных работ. Со временем она проникает через поврежденную оболочку в изоляцию кабеля, образуя водные триинги, что приводит к пробоям кабеля. Стоит отметить, что возникновение водных триингов – продолжительный процесс. В зависимости от условий эксплуатации он может протекать до нескольких лет.

Трубы нового поколения дают возможность определить существующее повреждение оболочки кабеля, проложенного в трубе, и точно локализовать его место еще на этапе приемно-сдаточных испытаний. Это дает возможность заметно сократить сроки и стоимость ремонтно-восстановительных работ. При проведении испытаний оболочки кабеля постоянным напряжением 10 кВ токопоисковые трубы ПРОТЕКТОРФЛЕКС®ОМП [1] не препятствуют выходу испытательного тока через повреждение оболочки и далее через стенку трубы в окружающий грунт вне зависимости от глубины залегания линии.

Такой результат достигается за счет снижения электрического сопротивления стенки трубы. Это позволяет обеспечить нужную точность поиска места повреждения.

Также присутствует проблема повреждений КЛ из-за отсутствия актуальных данных о расположении трубного кабельного канала, который проложен методом ГНБ.

Причина отклонения трассы КЛ при выполнении ГНБ: неточность систем локализации буровой головки при выполнении работ в условиях большого количества коммуникаций. В результате наличия активных и пассивных помех, создаваемых пересекаемыми коммуникациями, и воздействующих на системы локализации, реальный маршрут канала ГНБ может иметь отклонения от проектных отметок до нескольких метров.

Помочь не допускать таких ситуаций призваны активно используемые в современном строительстве системы локализации. Суть метода заключается в том, что на бур устанавливается зонд, который подаёт сигналы, а их в свою очередь принимает локатор. Благодаря этому становится возможным определить глубину, угол наклона и поворота бурильной головки. Но у метода есть и недостатки:

- зависимость точности сигнала от глубины ГНБ-канала;



- система зависит от активных и пассивных помех;
- в тестной городской застройке насыщенной инженерными сетями и коммуникациями возможны неточности при определении маршрута ГНБ.

Во время ГНБ техника может попадать на непроходные грунты. Это значит, что геодезические исследования выполнены некачественно. Тогда подрядчик вынужден корректировать маршрут КЛ. В случае отклонения от проектных отметок исполнителю предстоит сложная процедура пересогласования проектной документации и согласования нового маршрута ГНБ с землепользователями. Понимая данную ситуацию, он не заинтересован во внесении актуальных данных о расположении канала.

Возможные пути решения проблем повреждения КЛ в трубных ГНБ - каналах:

- внести в нормативные документы требования об обязательной верификации выполненных ГНБ каналов путем проведения контрольно-геодезической съемки и внесения полученных результатов в исполнительную документацию
- при пересечении сложнопроходимых зон, а также зон, которые насыщены различными инженерными коммуникациями. Они могут создавать активные и пассивные помехи, задействовать системы, основанные на принципе инерциальных измерений.

Инерциально – измерительные системы (ИИС) применяются на практике давно, используются в кораблях, самолетах и даже смартфонах. В состав данных систем входят гироскоп и акселерометр.

ИИС применяются для картографирования трубопровода различных материалов, гироскопических систем для трехмерного картографирования трубопроводов.

Прибор ИИС заводится в трубу, предварительно измерив координаты начальной и конечной точки трубы. Затем система протягивается в трубе туда и обратно, таким образом, образуется график (рисунок 4, рисунок 5 [1])

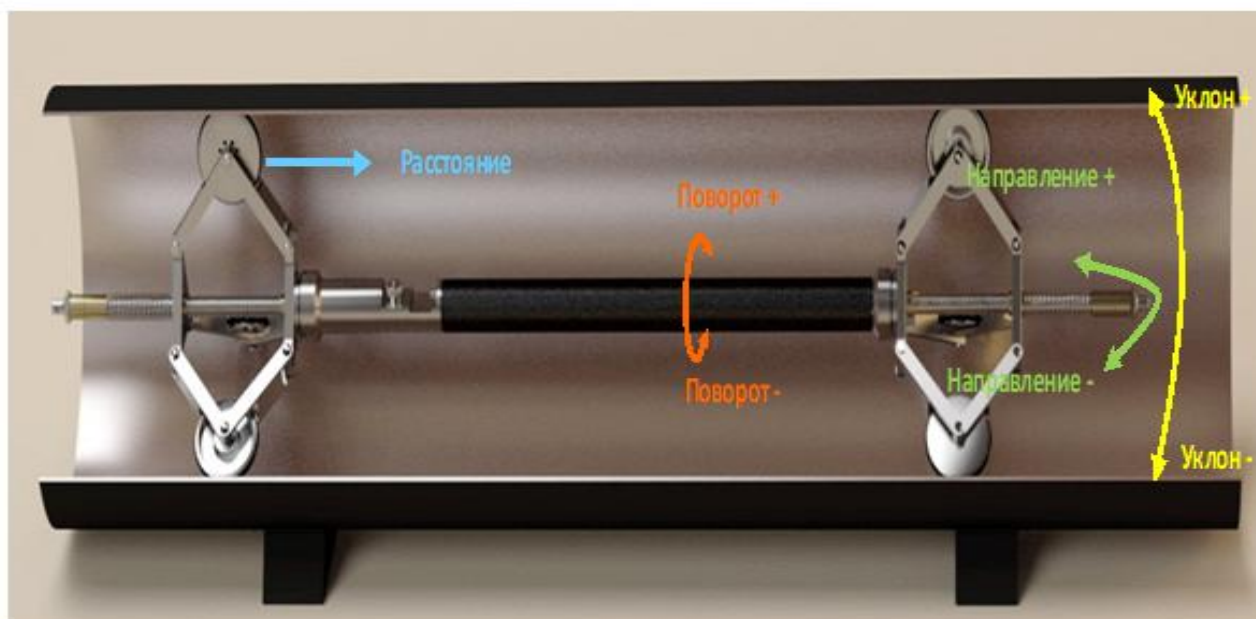


Рисунок 4 – Инерциально-измерительные системы (ИИС)

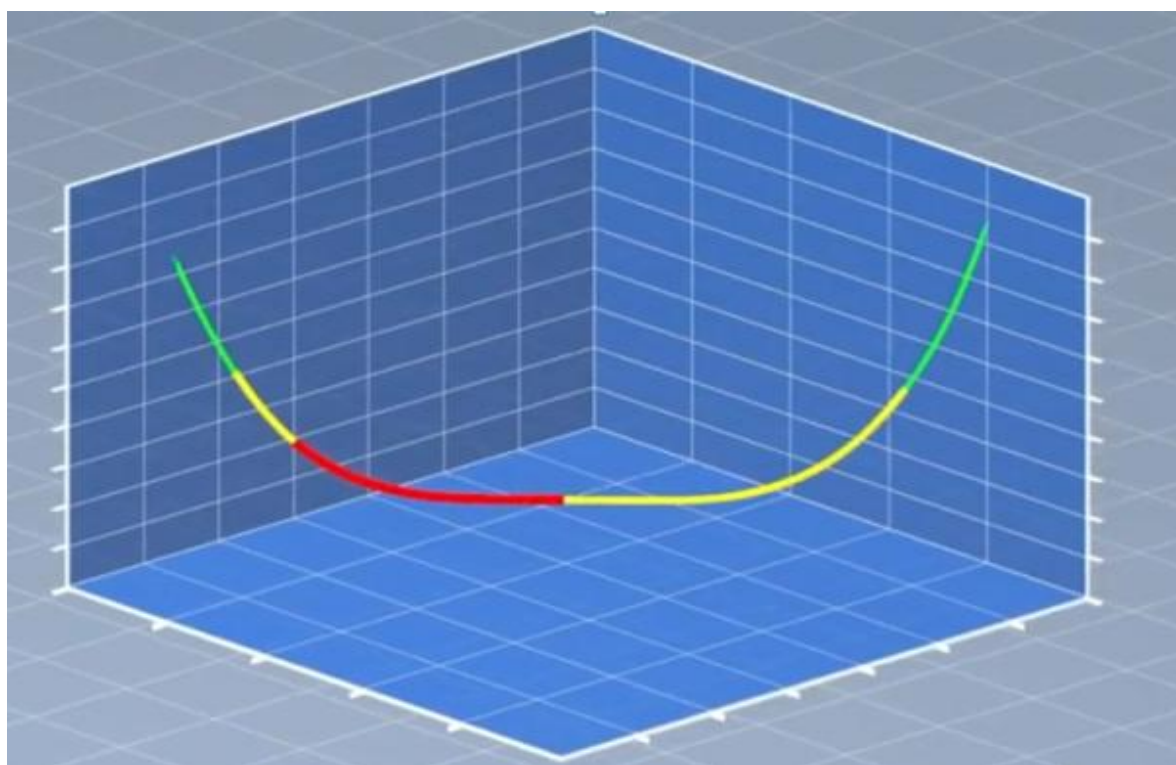


Рисунок 5 – График инерциально-измерительные системы (ИИС)

### Литература

1. Энерготек [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://energotek.ru/info/biblioteka/povyshenie-nadezhnosti-kabeley-prolozhennykh-v-trubakh/>. – Дата доступа: 26.10.2023.
2. Энергетика Оборудования Документация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://forca.ru/knigi/arhivy/vybor-apparatury-dlya-ispytaniy-elektrooborudovaniya-4.html>. – Дата доступа: 29.10.2023
3. ТКП 339-2022 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.by/>. – Дата доступа: 26.10.2023.

## СЕКЦИЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

### ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

#### **АККУМУЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ ЖИДКОГО ВОЗДУХА**

Д.Д. Казыро, Ю.А. Филимонов  
Научный руководитель – В.В. Янчук, ассистент

#### **ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ZULUGIS**

К.А. Галишева, Д.С. Шулепов  
Научный руководитель – В.А. Седнин, д.т.н., профессор

#### **ШЕЛЬФОВЫЕ ВЕТРЯНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ. УСЛОВИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАЗМЕЩЕНИЯ**

Н.В. Авдеюк, Ю.А. Зайцева  
Научный преподаватель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель

#### **ЗАМЕНА СТАРОГО РОУ НА «ГРОДНО АЗОТ»**

М.С. Радкевич, К.Д. Сакович,  
Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

#### **ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ БЫСТРОСЪЕМНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ ДЛЯ РТС №1 МИНСКИЕ ТЕПЛОВЫЕ СЕТИ**

К.О. Клименков, Д.В. Глинкин, Р.А. Тиунчик  
Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент

#### **ЗАМКНУТЫЙ ЯДЕРНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ**

М.В. Рынкевич, А.В. Казейка  
Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

#### **ХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ПАРОВЫХ И ГАЗОВЫХ ТУРБИН**

М.А. Заруба  
Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент

#### **ЭКОНОМИЧНОСТЬ РАЗЛИЧНОГО ВИДА ОТОПЛЕНИЯ В ЖИЛЫХ ДОМАХ**

И.О. Аликевич, Н.О. Соловьёв  
Научный руководитель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель

#### **ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА НТЦ-23.63**

А.Д. Астренков, Д.Д. Толкачев, Н.В. Авдеюк  
Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

#### **РЕКОНСТРУКЦИЯ КОТЕЛЬНОЙ «ЦЕНТРАЛЬНАЯ» Г. ЛЕПЕЛЯ С ЗАМЕНОЙ ПАРОВОГО КОТЛА ДКВР-10/13 НА ВОДОГРЕЙНЫЙ КОТЕЛ ВА-6000**

В.С. Махнис  
Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ТРУБОПРОВОДОВ**

М.И. Веропотвельян, А.Н. Жданович  
Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент

**АНАЛИЗ КОТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ИХ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НА МОЗЫРСКОЙ ТЭЦ**

А.А. Кекух, Е.О. Данилюк  
Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент

**ВОДЯНОЕ ЛУЧИСТОЕ ОТОПЛЕНИЕ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЦЕХАХ**

Б.Г. Гварамадзе, П.Д. Кагочкинн  
Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент

**УТИЛИЗАЦИЯ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ДЛЯ ПИКОВЫХ-РЕЗЕРВНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ**

К.А.Галишева, Д.С. Шулепов  
Научный руководитель – В.А. Седнин, д.т.н., профессор

**АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО ЦЕХА И ИХ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НА МТЗ**

А.В. Жигар, О.В. Вичис  
Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент

**ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ КЛАПАНОВ НЕПРЕРЫВНОЙ ПРОДУВКИ КОТЛОВ ТИПА DFG300**

О.С. Святогор  
Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент

**ВОДОРОДНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ ТУРБОГЕНЕРАТОРА**

Ф.Д. Башура  
Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕЧНОГО БЫТОВОГО ТОПЛИВА В КАЧЕСТВЕ РЕЗЕРВНОГО НА РК «ЧЕРНИГОВСКАЯ»**

А.В. Липницкий  
Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент

**ГАЗ-ЛУЧШЕЕ ПРИРОДНОЕ ТОПЛИВО. ОАО «ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ БЕЛАРУСЬ» ФИЛИАЛ ОРШАНСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ**

В.В. Панцырев  
Научный руководитель – А. А. Бобич, к.т.н., доцент

**ЦИРКУЛЯЦИЯ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ**

М. Грушко, В. Воропай  
Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент

**ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ МИКРОВОЛНАМИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦЕЛЛЮЛОЗНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

А.С. Шенец  
Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент

**АБТН В БЕЛАРУСИ – ОБЩИЕ ДАННЫЕ**

А.В. Шунькевич, А.И. Тишкова  
Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент

**ПРИНЦИП РАБОТЫ РАЗЪЕДЕНИТЕЛЕЙ ТИПА РВ И РВЗ**

О.И. Новогран

Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент

**АНАЛИЗ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПОДСТАНЦИИ «МИТЬКИ» ФИЛИАЛ «МОЗЫРСКИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ»**

А.С. Семененко

Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент

**УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ ЖАРОТРУБНОГО КОТЛА**

А.А. Телеш

Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент

**КОНСТРУКЦИИ И МАТЕРИАЛЫ ЗАПОЛНЕНИЯ СВЕТОВЫХ ПРОЕМОВ**

Е.Д. Нежиков, А.Н. Медведева

Научный руководитель – В.В. Янчук, ассистент

**ФОСФАТНАЯ И ГИДРАЗИНОВАЯ ПРОМЫВКА ТРУБ КОТЛОАГРЕГАТОВ**

Д.С. Шулёпов, К.А. Галишева

Научный руководитель – В.А. Седнин, д.т.н., профессор

**ПРИВЛЕЧЕНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

А.В. Чернушевич, Д.В. Ридель

Научный руководитель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ**

В.А. Колончук, П.О. Бондарев

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

**ВАРИАНТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ДЛЯ СОКРАЩЕНИЯ СПРОСА НА ЭНЕРГИЮ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНЫХ ЦЕЛЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПО СНИЖЕНИЮ ПОТРЕБЛЕНИЯ ТОПЛИВНО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ**

М.С. Войлоков, П.А. Брилёв

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

**ПОЛУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ СВАЛОЧНОГО ГАЗА**

В.Н. Санько, Д.А. Махонько

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

**БИОГАЗ. СОСТАВ И УСЛОВИЯ ПОЛУЧЕНИЯ**

Н.В. Авдеюк, Ю.А. Зайцева

Научный преподаватель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАРОВЫХ И ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ**

А.В. Казейка

Научный руководитель – И.Е. Мигуцкий, к.т.н., доцент

**ТЕХНОЛОГИИ ПО СНИЖЕНИЮ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА В ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВКАХ**

А.В. Казейка

Научный руководитель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ  
МЕТОДОМ ГЛУБОКОЙ РЕГЕНЕРАЦИИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ**

А.А. Телеш, А.С. Семененко, М.А. Грушко  
Научный руководитель – И.Е. Мигуцкий, к.т.н., доцент

**ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ**

Ф.Д. Башура  
Научный руководитель – И.Е. Мигуцкий, к.т.н., доцент

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОКОТЛОВ В КАЧЕСТВЕ  
РЕЗЕРВНОГО ИСТОЧНИКА ТЕПЛА НА ПРЕДПРИЯТИИ**

А.П. Каменко,  
Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент

**ВЛИЯНИЕ ВЫБОРА ТОПЛИВА И ТИПА ТОПКИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ  
КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

А.П. Каменко, Е.А. Русакевич  
Научный руководитель – И.Е. Мигуцкий, к.т.н., доцент

**УСТАНОВКА ВОДОГРЕЙНЫХ ЭЛЕКТРОКОТЛОВ С ЦЕЛЬЮ ОТПУСКА ТЕПЛА В  
ПЕРИОД РАЗГРУЗКИ ТУРБИН ПОСЛЕ ВВОДА АЭС**

Д.А. Шевко  
Научный руководитель – И.Е. Мигуцкий, к.т.н., доцент

**ПЕРЕДВИЖНАЯ ТЭЦ С ДВИГАТЕЛЕМ СТИРЛИНГА**

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

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА БИОТОПЛИВА ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ  
НАЦИОНАЛЬНЫХ ЦЕЛЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПО НУЛЕВОМУ УРОВНЮ  
ВЫБРОСОВ И СНИЖЕНИЮ ПОТРЕБЛЕНИЯ ТОПЛИВНО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ  
РЕСУРСОВ**

М.С. Войлоков, П.А. Брилёв  
Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

**ОТОПЛЕНИЕ КРУПНОГАБАРИТНЫХ КОРПУСОВ**

П.Д. Кагочкин, А.С. Шенец  
Научный руководитель – И.В. Шкляр, старший преподаватель



УДК 620.93

**АККУМУЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ  
ЖИДКОГО ВОЗДУХА  
LIQUID AIR ENERGY STORAGE**

Д.Д. Казыро, Ю.А. Филимонов

Научный руководитель – В.В. Янчук, ассистент

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

D. Kazyro, Y. Filimonov

Supervisor – V. Yanchuk, assistant

Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** в данной работе рассматривается система аккумулирования электроэнергии на основе жидкого воздуха, которая позволяет согласовывать графики производства и потребления электроэнергии.

**Abstract:** In this paper, a liquid air-based energy storage system is considered, which makes it possible to coordinate the schedules of electricity production and consumption.

**Ключевые слова:** аккумулирование энергии; жидкий воздух.

**Keywords:** energy storage; liquid air.

**Введение**

На сегодняшний день, в связи с неравномерной нагрузкой сети в течение дня, возникает вопрос о хранении и последующем использовании электроэнергии. С ростом спроса на энергию из-за быстрой индустриализации и экологических проблем, связанных с использованием ископаемого топлива в качестве основного источника энергии, доля возобновляемых источников в энергетическом балансе стран увеличивается. Однако прерывистый характер выработки энергии возобновляемыми источниками энергии требует хранения энергии, произведенной в непиковые часы. Под аккумулированием энергии понимается использование устройства или системы устройств – аккумулятора энергии, поглощающий излишки энергии, которые можно получить обратно в удобное для потребления время.

**Основная часть**

Для решения этой проблемы можно обратиться к технологии, использующей жидкий воздух (LAES – Liquid Air Energy Storage). В LAES-системе используется технология сжатия и охлаждения воздуха до жидкого состояния (78К) и последующее хранение. В период повышенного спроса на электроэнергию, к жидкому воздуху подводят теплоту и, переведя его в газообразное состояние, подают в турбину. При процессе подвода теплоты из 1 м<sup>3</sup> жидкого воздуха около 700 м<sup>3</sup> газообразного воздуха. Для получения 1кг жидкого воздуха затрачивается 0,5 кВт энергии.[1] Весь процесс можно разделить на 3 этапа:

- Сжижение. На данном этапе воздух очищается от пыли и других веществ, сжимается в компрессоре, охлаждается за счёт процесса дросселирования. В сепараторе воздух разделяется на фазы: жидкость

- отводится в резервуары, а газ возвращается в цикл (рисунок 1).
- Хранение. Жидкий воздух хранится в теплоизолированных резервуарах под низким давлением. Поскольку объем небольшой, стоимость хранения не очень высока. Кроме того, технология хранения уже известна, поскольку такое оборудование уже используется для хранения жидких азота, кислорода и т.д.
  - Использование. При наличии повышенного спроса на электроэнергию жидкий воздух нагревается и газифицируется. Это позволяет использовать воздух с давлением и температурой, подходящими для вращения турбины и электрогенератора для выработки электроэнергии (рисунок 2).

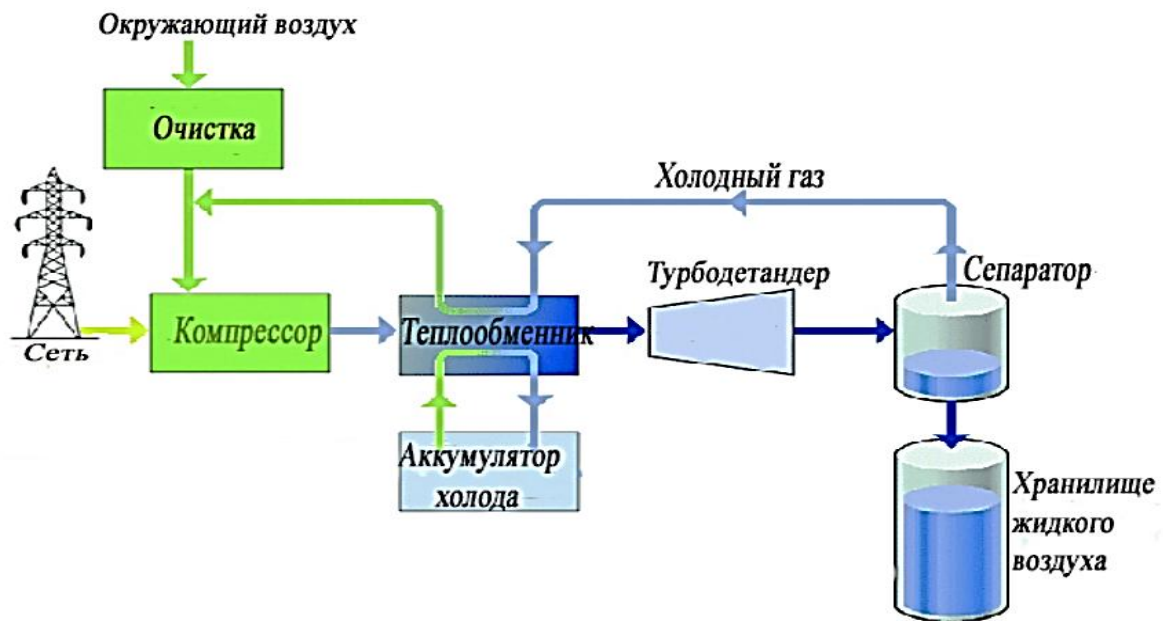


Рисунок 1 – Принципиальная схема сжижения и хранения системы LAES

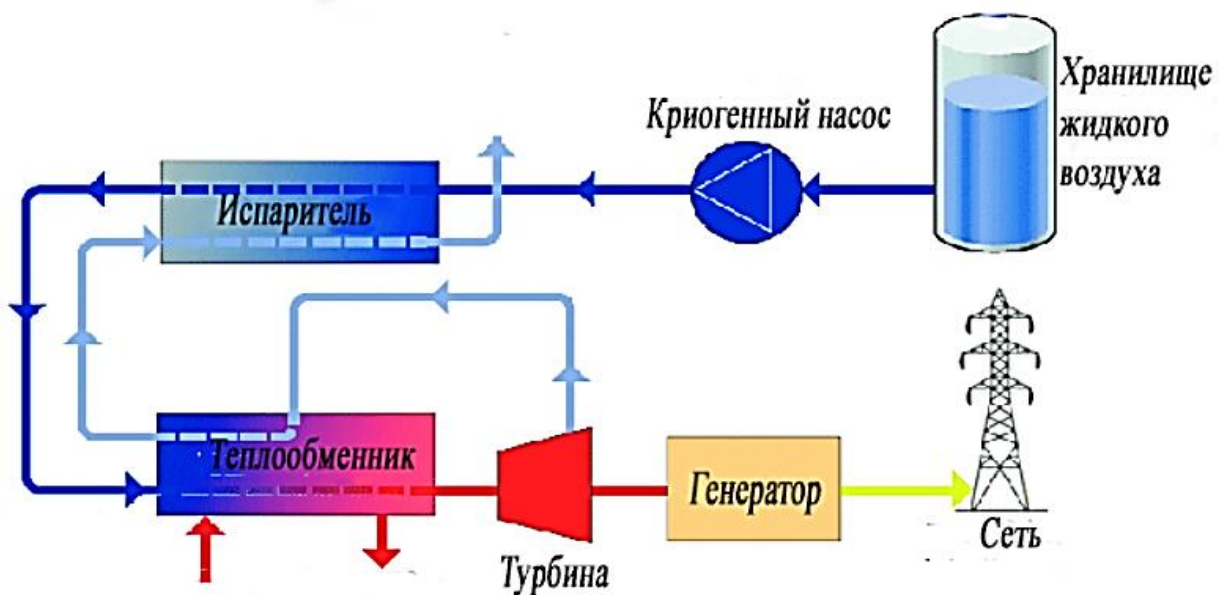


Рисунок 2 – Использование жидкого воздуха

Как видно на схеме, можно использовать теплоту, получаемую в процессе сжатия в компрессоре, для подогрева жидкого воздуха перед турбиной, тем самым снизив расходы. Также можно использовать отработанный холод, образующийся на 3 этапе, чтобы охладить поступающий воздух при сжатии. Это уменьшает количество энергии, используемой для охлаждения, и повышает общую эффективность системы.[6]

Технология LAES обладает рядом достоинств:

- В качестве рабочего тела используется доступный атмосферный воздух.
- Жидкий воздух занимает минимальный объём при хранении.
- Большая часть технологии хорошо отработана. В течение многих лет многие компоненты системы LAES, такие как компрессоры, детандеры и резервуары для хранения, использовались в других процессах в отрасли промышленных газов.
- Комбинированное производство тепла и электроэнергии.
- Отсутствие географических ограничений.

### **Заключение**

Система LAES зарекомендовала себя в качестве хорошей альтернативы Li-ion аккумуляторам. При хранении одинакового количества энергии, аккумулятор, основанный на жидком воздухе, занимает меньший объём и, что не менее важно, не наносит вред экологии. Расчётный срок службы установки LAES равен 30 годам, в течение которых производительность может поддерживаться на высоком уровне с незначительным ухудшением с течением времени. После окончания срока службы система может быть полностью переработана.

### **Литература**

1. Epicam – Technology [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.epicam.co.uk/basic-systems.php>. – Дата доступа: 25.10.2023.
2. Liquid air energy storage [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sinovoltaics.com/learning-center/storage/liquid-air-energy-storage/>. – Дата доступа: 25.10.2023.
3. Liquid air storage [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.thegreenage.co.uk/tech/liquid-air-storage/>. – Дата доступа: 24.10.2023.
4. Liquid air energy storage [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.shi-fw.com/our-solutions/energy-storage/liquid-air-energy-storage/>. – Дата доступа: 25.10.2023.
5. Tech-economic analysis of liquid air energy storage – a promising role for carbon neutrality in China. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352152X23021837>. – Дата доступа: 25.10.2023.
6. A closer look at liquid air energy storage [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.pv-magazine.com/2021/08/02/a-closer-look-at-liquid-air-energy-storage/>. – Дата доступа: 25.10.2023.

УДК 631.162

**ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ZULUGIS  
GEO INFORMATION SYSTEM ZULUGIS**

К.А. Галишева, Д.С. Шулепов

Научный руководитель – В.А. Седнин, д.т.н., профессор  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск,  
K. Galisheva, D. Shulepov  
Supervisor – V.A. Sednin, Doctor of Technical Sciences, Professor  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** В данной работе была рассмотрена географическая информационная система, предназначенная для обработки пространственно-временных данных, основой которых служит географическая информация.

**Abstract:** In this paper, a geographic information system was considered, designed to process spatial and temporal data, the basis of which is geographic information.

**Ключевые слова:** геоинформационная система, топология, инженерные сети.

**Keywords:** geo information system, topology network engineering.

**Введение**

Система ZuluGis даёт возможность создавать карты в географических проекциях, электронные модели инженерных сетей с поддержкой их топологии, производить анализ графических и табличных данных, выполнять инженерные расчёты параметров тепловых сетей и теплоисточников и систематизировать их технические характеристики [1].

**Основная часть**

ZuluGis – это географическая информационная система (ГИС), которая предназначена для работы с пространственными данными и их анализа. Она разработана компанией ZuluGis и предназначена для использования в различных отраслях, включая географию, экологию, городское планирование, сельское хозяйство и транспорт (рисунок 1).

ZuluGis предлагает широкий спектр функций:

- Визуализация данных: ZuluGis позволяет отображать географические данные на карте, используя различные символы, цвета и стили. Это позволяет пользователям легко визуализировать и анализировать географическую информацию.
- Манипуляции с данными: ZuluGis предлагает функции для добавления, удаления и изменения географических данных. Пользователи могут также выполнять операции объединения, пересечения и разделения данных для получения новых географических объектов.
- Геоаналитика: ZuluGis поддерживает различные геоаналитические функции, такие как расчет расстояния между объектами, поиск ближайших объектов, анализ пространственного взаимодействия и т.д. Это позволяет пользователям проводить анализ и получать полезные выводы из географических данных.
- Импорт и экспорт данных: ZuluGis позволяет пользователям



импортировать географические данные из различных форматов, таких как Shapefile, GeoJSON, KML и многих других. Он также поддерживает экспорт данных в эти и другие форматы.

- Геокодирование: ZuluGis предоставляет возможность геокодирования, то есть преобразования адреса или названия места в географические координаты и наоборот. Это делает процесс поиска и анализа данных на основе адресов более эффективным.
- Интеграция с другими системами: ZuluGis может быть легко интегрирован с другими приложениями и системами, такими как системы управления базами данных и системы управления ресурсами земельного участка. Это обеспечивает более широкие возможности использования и обмена географической информацией.

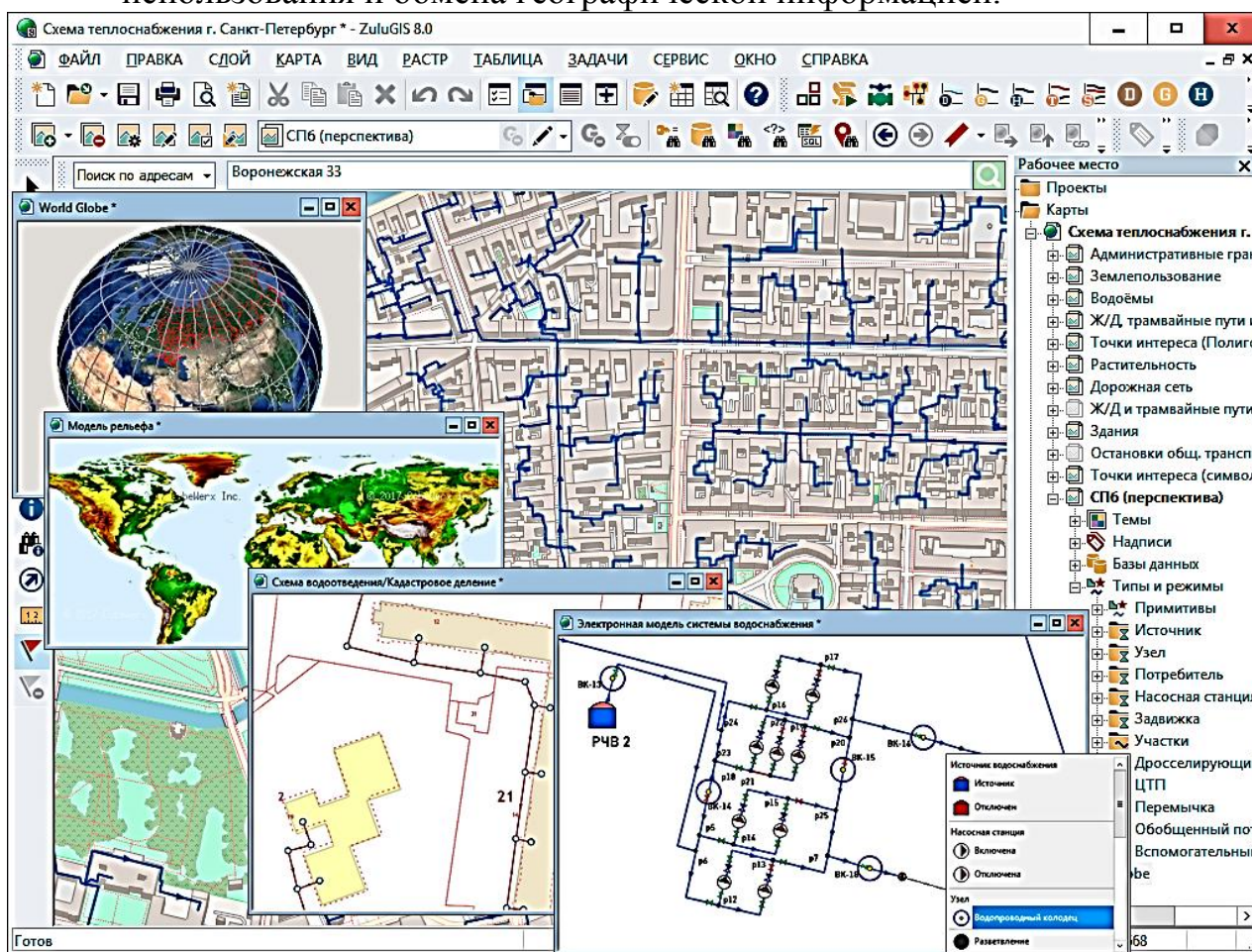


Рисунок 1 – Геоинформационная система

Она также поддерживает различные форматы данных, включая векторные и растровые данные, а также базы данных, такие как PostgreSQL и Oracle [2].

### Заключение

ZuluGis является современной и мощной ГИС-системой, которая может быть полезной для организаций и отдельных пользователей, работающих с пространственными данными.

### Литература

1. ZuluGIS – система для создания карт, моделирования инженерных сетей и разработки ГИС-приложений [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.politerm.com/products/geo/zulugis/>. – Дата доступа: 08.07.2023
2. ZuluGIS [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://geocentre.by/zulugis>. – Дата доступа: 08.07.2023



УДК 621.311.24

**ШЕЛЬФОВЫЕ ВЕТРЯНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ. УСЛОВИЯ  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАЗМЕЩЕНИЯ  
OFFSHORE WIND FARMS. DESIGN AND PLACEMENT CONDITIONS**

Н.В. Авдеюк, Ю.А. Зайцева

Научный преподаватель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

N. Audziayuk, Y. Zaitsava

Supervisor – I. Prokopenya, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** в статье затрагивается тема морских ветряных электростанций, разновидности их фундаментов.

**Annotation:** the article deals with the topic of offshore wind farms and the types of their foundations.

**Ключевые слова:** ветроэнергетика, шельфовые ветряные электростанции, фундамент.

**Keywords:** wind energy, offshore wind farms, foundations.

**Введение**

Ветряные электростанции (ВЭС) – это комплекс из нескольких ветроэлектрических установок, расположенных в одном или нескольких местах и соединённых в одну сеть. Ветряные электростанции так же могут называть ветряными парками (ветропарками). Шельфовые ВЭС находятся в море, на расстоянии 10 - 60 метров от берега. Они имеют ряд преимуществ, таких как: их практически не видно с берега, они не занимают территорию на земле, имеют большой коэффициент использования мощности относительно наземных ВЭС из-за регулярных морских ветров.

**Основная часть**

Морская ветроэнергетика превосходит по потенциалу ископаемое топливо, предлагая чистую и более доступную энергию из возобновляемого источника. Ожидается, что через 30 лет более четверти европейской электроэнергии будет производиться в море.

На данный момент в Великобритании строится самая большая шельфовая ВЭС “Dogger Bank” мощностью 3,6 ГВт, ввод в эксплуатацию которой планируется в 2026 году. Из уже работающих шельфовых ветряных электростанций самой большой в мире является “Hornsea Wind Farm”. Станция располагается в Северном море у побережья Йоркшира, Великобритания. Она состоит из четырех ветропарков, два из которых уже введены в эксплуатацию. Суммарная мощность двух работающих ветропарков, состоящих из 339 турбин, 2604 МВт. С введением ещё двух ветропарков планируется увеличение суммарной мощности до 6000 МВт.

Морские ветряные электростанции схожи с сухопутными объектами ветряной энергетики. Как и наземные ветропарки морские ВЭС требуют тщательного планирования и подготовки проекта до этапа строительства. В

большинстве случаев в проект закладывается дистанционное управление ветряными турбинами с центрального пункта управления. В целях экономии средств чаще проектируются объекты ветроэнергетики, состоящие из множества турбин. Часто турбины шельфовых ВЭС так же, как и наземных расположены рядами в виде высаженных в ряд деревьев.

Так как морские ветряные электростанции расположены в море, а морская среда – это источник критических климатических воздействий (таких как коррозия и предельные температуры), то такие проекты должны получать сертификат соответствия критериям, тщательно проверяться на безопасность и качество оборудования.

Электрические кабельные линии проложены по морскому дну. На берегу расположена накопительно-распределительная электростанция, которая принимает электроэнергию приходящую с кабелей ВЭС и распределяет ее по потребителям. Для того, чтобы экономически выгодно проложить кабельные линии и снизить затраты на обслуживание особенно важно выбирать правильное место для строительства морских ветропарков.

Существует два вида морских ветряных электроустановок (ВЭУ): стационарные (с опорой на морское дно) и плавучие. Фундамент для стационарных установок на шельфе может быть выполнен из стальных свай, бетона и многоопорных структур. Опыт в эксплуатации нефтяных платформ показывает, что коррозия не является основной проблемой в открытом море. При правильной защите от коррозии фундамент может прослужить более 50 лет. При выборе фундамента полагаются на основные факторы: глубина, течение, высота волны.

Основными типами фундамента для ВЭУ являются:

- Бетонный короб;
- Односвайное основание;
- Ферменные конструкции;
- Баккет-фундамент.

При таком виде фундамента, как бетонный короб, ВЭУ фиксируется на морском дне под весом самого фундамента. Аналогичный метод используется при строительстве мостов. Короб изготавливается из стали и бетона, транспортируется и погружается на морское дно, а после заполняется гравием и песком. Данный вид фундамента является экономически невыгодным при глубине более 10 метром, и применяется только на мелководье.

Самым простым видом фундамента на шельфе является односвайное основание из стали. При таком виде фундамента стальная труба вбивается в морское дно, что является достаточно простым и быстрым способом установки при помощи копра для забивания свай. Минусами такого метода являются: большой уровень шума, который вредит морским млекопитающим, и невозможность его применения на каменистом дне.

Фундамент в виде ферменной конструкции имеет решётчатую структуру и применяется на больших глубинах (более 20 метров). Башня ВЭУ связывается с рамной конструкцией, выполненной из труб, и распределяет нагрузку на

несколько ног или на решетку, которые крепятся или к коробу, или к сваям. Для свайного закрепления может применяться меньшее сечение, чем при односвайном, что делает процесс забивания свай значительно проще.

Относительно новый вид фундамента баккет-фундамент (от англ. bucket – ведро) представляет собой стальную емкость гигантского размера в виде перевернутого ведра (кессон), которая может устанавливаться на морское дно без всякой его подготовки. Так же кессон называют Mono Bucket (“моно-ведро”). Кессон устанавливается на морское дно, а потом из него выкачивают воздух, в ходе этого он устанавливается абсолютно горизонтально к морскому дну. Такой технологический принцип давно применяется в офшорной добыче нефти и газа, но в ветроэнергетике ранее не применялся. Такой фундамент требует на 25% меньше стали по сравнению с моно-свайей, что позволяет сделать его установку абсолютно бесшумным мероприятием. После окончания срока службы данный вид фундамента очень легко демонтируется с помощью подачи в кессон сжатого воздуха.

В практике широко распространены плавучие конструкции. На глубине более 50 метров экономически невыгодно и тяжело в установке жесткое закрепление за грунт, поэтому была предложена идея плавучих сооружений. Такой корпус закрепляется к морскому дну с помощью тросов и якорных устройств. Данный вид фундамента широко используется в нефтедобывающей отрасли.

### **Заключение**

Офшорная ветроэнергетика является более выгодной относительно наземных ветроэнергетических установок, за счет более высокой скорости ветра в море, чем на суше, поэтому шельфовые ветряные электростанции вырабатывают больше электроэнергии на единицу установленной мощности. Такие станции являются более выгодными экологии, поскольку не оказывают большого влияния на людей и ландшафт. Прогнозируется, что морская ветроэнергетика будет приобретать все большее значение в будущем.

### **Литература**

1. Основания ветроэнергетических установок на шельфе и их защита от размыва [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://unistroy.spbstu.ru/userfiles/files/2015/7\(34\)/3\\_nesterov\\_34.pdf](https://unistroy.spbstu.ru/userfiles/files/2015/7(34)/3_nesterov_34.pdf) – Дата доступа: 08.07.2023
2. Морская энергия ветра [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://translated.turbopages.org/proxy\\_u/en-ru.ru.d9e39b52-65958434-0008d66c-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Offshore\\_wind\\_power](https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.d9e39b52-65958434-0008d66c-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Offshore_wind_power) – Дата доступа: 08.07.2023
3. Организация шельфовой ветряной электростанции [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.rlocman.ru/review/article.html?di=67528> – Дата доступа: 08.07.2023
4. Универсальный фундамент – прорыв в офшорной ветроэнергетике? [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://engineering.ru.livejournal.com/520673.html> – Дата доступа: 08.07.2023

УДК 621.165

**ЗАМЕНА СТАРОГО РОУ НА «ГРОДНО АЗОТ»  
REPLACEMENT OF THE OLD RCU WITH «GRODNO AZOT»**

М.С. Радкевич, К.Д. Сакович,  
Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
M. Radkevich, K. Sakovich,  
Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

*Аннотация:* сделан обзор проекта по замене РОУ 39/27 котельного цеха на “Гродно Азот”.

*Abstract:* an overview of the project to replace the RCU 39/27 of the boiler shop at “Grodno Azot” was made.

*Ключевые слова:* редукиционно охлаждающая установка, “Гродно Азот”, модернизация.

*Keywords:* reduction cooling plant, “Grodno Azot”, modernization.

**Введение**

Основными видами продукции, производимой ОАО «Гродно Азот», являются аммиак жидкий технический, азотные удобрения (карбамид, карбамидо-аммиачная смесь – КАС, сульфат аммония, аммиачная вода) и капролактамы. Кроме этого, выпускаются метанол, серная кислота и олеум, слабая азотная кислота, топливо биодизельное, диоксид углерода жидкий, а также различные товары народного потребления. В июле 2016 года была создана предпроектная документация “Модернизация схемы снабжения паром 2,7 Мпа цеха метанола с заменой РОУ 39/27 в корп. 251 котельного цеха”.

**Основная часть**

Редукиционно-охлаждающая установка (РОУ) используется для подготовки пара для технологических процессов, работающая на насыщенном или перегретом паре, параметры которого отличаются от параметров пара источника (котельной, ТЭЦ) по температуре и давлению. Подаваемый от энергетической установки пар охлаждается за счет впрыскивания пароводяной смеси, в результате вода охлаждает пар до необходимой температуры.

Для обеспечения нормального технологического режима цеха метанола требуются следующие параметры пара в точке подключения:

- давление пара 2,5–2,7 МПа;
- температура пара от 290 до 320 °С;
- расход пара от 15 до 53 т/ч.

Для обеспечения необходимых параметров пара проводится гидравлический расчет паропроводов, с целью определения диаметра трубопровода, толщины стенки трубопровода и количество теплоты, отдаваемой паром. Результат расчетов приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Гидравлический расчет трубопровода

Наименование параметра	Значение
Диаметр трубопровода	0,319 м
Толщина стенки трубопровода	0,037 м
Количество теплоты	0,7 МВт

Приоритетным параметром пара для цеха метанола является температура пара (минимальная температура пара должна быть не менее 290 °С) во всем допустимом диапазоне давления пара, при этом пар, поступающий на технологическую установку цеха метанола, далее редуцируется до давления не более 2,25 МПа.

### **Заключение**

Из проделанного анализа модернизации Гродно Азот, предприятие проводит удачный интеграционный план для свежего оснащения, улучшая совместную эффективность работы предприятия, при помощи подмены приборов, потерявших и отработавших рабочий ресурс.

### **Литература**

1. Гродно Азот [Электронный ресурс] / Гродно Азот. – Режим доступа: <https://azot.by/about/tekhnologii-i-innovatsii/> – Дата доступа: 22.07.2023.
2. РОУ 39/27 для реконструкции Гродно Азот (Республика Беларусь) [Электронный ресурс] / РОУ 39/27 для реконструкции Гродно Азот (Республика Беларусь). – Режим доступа: [http://armtek-msk.ru/redukcionno-ohladitelnye\\_ustanovki\\_rou\\_brou\\_ru\\_ou](http://armtek-msk.ru/redukcionno-ohladitelnye_ustanovki_rou_brou_ru_ou) – Дата доступа: 22.07.2023.

УДК 621.165

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ  
БЫСТРОСЪЕМНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ  
ДЛЯ РТС №1 МИНСКИЕ ТЕПЛОВЫЕ СЕТИ  
FEASIBILITY STUDY OF IMPLEMENTATION QUICK-DETACHABLE  
INSULATION OF STOP VALVES  
FOR RTS No. 1 MINSK HEAT NETWORKS**

К.О. Клименков, Д.В. Глинкин, Р.А. Тиунчик  
Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
K. Klimenkov, D. Glinkin, R. Tiunchik  
Supervisor – A. Bobich, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

*Аннотация:* сделан обзор проекта по внедрению быстросъемной изоляции запорной арматуры на РТС №1 Минские тепловые сети.

*Abstract:* a review of the project for the introduction of quick-detachable isolation of shut-off valves at RTS No. 1 Minsk Heat Networks was made.

*Ключевые слова:* запорная арматура, теплопотери, Минские тепловые сети.

*Keywords:* shutoff valves, heat losses, Minsk heating networks.

### Введение

Неизолированная запорная арматура трубопроводов является причиной заметных теплопотерь. Применение термочехлов (съемная теплоизоляция) позволяет снизить тепловые потери с поверхности запорной арматуры на 70-75%, что в конечном итоге, учитывая количество таких элементов, дает весьма ощутимый результат. Также это защита персонала предприятия от термических ожогов, обеспечивается температура на поверхности в пределах, предусмотренных СНиП. Чехлы обладают хорошей шумо- и теплоизоляцией, могут кратковременно выдержать температуру открытого пламени свыше 1000°C.

### Основная часть

Передача тепла от горячего теплоносителя в окружающую среду для неизолированного трубопровода осуществляется посредством трёх механизмов: теплопроводности через цилиндрическую стенку трубопровода, конвекции и излучения с наружной поверхности трубопровода.

Расчет коэффициента теплоотдачи с наружной поверхности трубы (арматуры):

$$\alpha_{\text{нар}} = \alpha_{\text{лучист}} + \alpha_{\text{конв}}, \quad (1)$$

где  $\alpha_{\text{конв}} = 10 + 6 \cdot \sqrt{W}$ ,  $\left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}\right)$  – упрощенный расчет коэффициента конвективной теплоотдачи.



$$\alpha_{\text{лучистое}} = \frac{C_0 \cdot \varepsilon_{\text{п}} \cdot \left( \left( \frac{t_{\text{пов}} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_{\text{нар}} + 273}{100} \right)^4 \right)}{t_{\text{пов}} - t_{\text{нар}}}, \quad (2)$$

где  $\alpha_{\text{лучист}}$  – коэффициент лучистой теплопередачи,  $\frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})}$ .

Тепловой поток через металлическую стенку неизолированной трубы длиной  $L$  определяется как:

$$Q = \frac{\pi \cdot (t_{\text{пов}} - t_{\text{нар}}) \cdot L}{\frac{\ln\left(\frac{d + 2\delta}{d}\right)}{2\lambda} + \frac{1}{\alpha_{\text{нар}} \cdot (d + 2\delta)}}. \quad (3)$$

Тепловой поток через изоляцию изолированной трубы длиной  $L$  определяется как:

$$Q = \frac{\pi \cdot (t_{\text{внут}} - t_{\text{нар}}) \cdot L}{\frac{\ln\left(\frac{d + 2\delta}{d}\right)}{2\lambda} + \frac{\ln\left(\frac{d + 2\delta + 2\delta_{\text{из}}}{d + 2\delta}\right)}{2\lambda_{\text{из}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{нар}} \cdot (d + 2\delta + 2\delta_{\text{из}})}}. \quad (4)$$

где  $t_{\text{внутр}}$  – равна температуре теплоносителя,  
 $t_{\text{нар}}$  – температура окружающего воздуха, (°C).

Годовая экономия тепловой энергии определяется как:

$$\Delta Q = N \cdot T \cdot (Q - Q_{\text{изол}}) \cdot 0,86 \cdot 10^{-6}, \quad (5)$$

где  $0,86 \cdot 10^{-6}$  – переводной коэффициент из Вт в Гкал;

$N$  – количество участков трубопровода (единиц запорной арматуры) одного типоразмера и режима эксплуатации;

$T$ , часов – годовая часовая продолжительность работы трубопровода (арматуры).

Подбор толщины и расчет площади изоляции:

Подбор толщины изоляции при модернизации производится исходя из норм плотности теплового потока на 1 м длины трубопровода (по таблицам 2, 3, 4, 5 ТКП45-4.02.323-2018), но не менее 20мм (пункт 6.13 данного ТКП).

Расчет площади изоляции осуществляется по формуле:

$$S = \pi \cdot (d + 2 \cdot \delta + 2 \cdot \delta_{\text{из}}) \cdot L \cdot 10^{-3}, \quad (6)$$

Расчет экономии топлива осуществляется по формуле:

$$\Delta B_{\text{тэ}} = \Delta Q \cdot \left( 1 + \frac{k_{\text{пот}}}{100} \right) \cdot b_{\text{тэ}} \cdot 10^{-3} + \Delta Q \cdot \varepsilon_{\text{сн}} \cdot \left( 1 + \frac{k_{\text{пот}}^{\varepsilon}}{100} \right) \cdot b_{\text{ээ}} \cdot 10^{-6}, \quad (7)$$

где  $b_{\text{тэ}}$   $\left( \frac{\text{кг.у.т.}}{\text{Гкал}} \right)$  – удельный расход топлива на отпуск теплоэнергии на теплоисточнике, обеспечивающем теплоснабжение объекта;

$k_{\text{пот}}$  (%) – потери на транспортировку тепловой энергии;

$\varepsilon_{\text{сн}} \left( \frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{Гкал}} \right)$  – удельный расход электроэнергии на производство и транспорт тепловой энергии от теплоисточника;

$b_{\text{ээ}} \left( \frac{\text{кг}\cdot\text{у.т.}}{\text{Гкал}} \right)$  – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии от Лукомльской ГРЭС;

$k_{\text{пот}}^{\text{э}}$  (%) – потери электроэнергии в электрических сетях ГПО «Белэнерго».

Расчет капиталовложений и простого срока окупаемости

Расчет капиталовложений осуществляется по формуле:

$$K = N \cdot C \cdot S \cdot (1,25 \dots 1,3), \quad (8)$$

где 1,25...1,3 – коэффициент, учитывающий затраты на монтаж (25-30%);

$N$  – количество участков трубопровода (единиц запорной арматуры) одного типоразмера и режима эксплуатации;

$S$  – расчетная площадь изоляции 1 элемента.

Расчет срока окупаемости осуществляется по формуле:

$$Cp_{\text{ок}} = \frac{K}{(\Delta B_{\text{тэ}} \cdot C_{\text{топл}})}, \quad (9)$$

где  $C_{\text{топл}}$  – стоимость 1 тонны условного топлива.

Расчет обоснования внедрения быстросъемной изоляции на запорной арматуре диаметров 57, 108, 159 и 219 мм РТС №1 Минские тепловые сети сведен в Таблицу 1.

Таблица 1– Результаты расчётов

Наименование	Ед. изм.	Значение			
		1	13	4	2
Количество задвижек	шт.	1	13	4	2
Диаметр задвижки	м	0,046	0,108	0,159	0,219
Внутренний диаметр трубопровода	м	0,04	0,1	0,15	0,203
Толщина стенки трубопровода	м	0,003	0,004	0,0045	0,008
Теплопроводность материала трубопровода	Вт/(м·град)	50	50	50	50
Температура воздуха в КТЦ	°С	22	22	22	22
Температура задвижки без изоляции	°С	165	165	165	165
Температура задвижки с изоляцией	°С	35	35	35	35
Толщина изоляционного материала	м	0,05	0,05	0,05	0,05
Теплопроводность изоляционного материала	Вт/(м·град)	0,033	0,033	0,033	0,033
Скорость ветра	м/с	0	0	0	0
Коэффициент излучения материала поверхности		0,85	0,85	0,85	0,85
Коэффициент излучения «абсолютно черного тела»	Вт/м <sup>2</sup> К <sup>4</sup>	5,67	5,67	5,67	5,67

Окончание Таблицы 1

Наименование	Ед. изм.	Значение			
Число часов работы котельного оборудования	ч	4237	4237	4237	4237
Расчет коэффициента теплоотдачи с наружной поверхности трубы	Вт/м <sup>2</sup> град	19,9	19,9	19,9	19,9
Упрощенный расчет коэффициента конвективной теплоотдачи	Вт/м <sup>2</sup> град	10,0	10	10	10
Коэффициент лучистой теплопередачи	Вт/м <sup>2</sup> град	9,9	9,9	9,9	9,9
Тепловой поток через металлическую стенку неизолированной трубы	Вт	18,9	104,1	225,6	427,4
Тепловой поток через изоляцию изолированной трубы	Вт	1,0	4,4	8,9	15,6
Сокращение потерь тепловой энергии	Гкал	0,1	4,7	3,2	3,0
Расчет площади изоляции	м <sup>2</sup>	0,02	0,92	0,52	0,44
Экономия топлива	т у.т. тыс. руб.	0,02	0,90	0,61	0,57
		0,01	0,46	0,31	0,29
Удельная стоимость 1 м <sup>2</sup> изоляции	руб./м <sup>2</sup>	400			
Общая площадь задвижек	м <sup>2</sup>	1,9			
Стоимость изоляции	руб./м <sup>2</sup>	760			
Капитальные вложения с учетом затрат на монтаж оборудования	руб.	1026			
Срок окупаемости	лет	1,0			

### Заключение

Анализ результатов расчёта позволяет заключить, что внедрение быстросъемной изоляции запорной арматуры на РТС №1 Минские тепловые сети окупится за 1 год, снизит потери тепловой энергии и следовательно уменьшит затраты на топливо.

### Литература

1. Энергетический аудит пиковых водогрейных котельных филиала «Минские тепловые сети» РУП «Минскэнерго» за период 2019-2021 гг.
2. Справочное пособие теплоэнергетика электрических станций. - Мн.: «Беларусь», 1974.
3. Правила технической эксплуатации электростанций и сетей Республики Беларусь. Мн., ГПО «Белэнерго», 2018

УДК 621.039.548

**ЗАМКНУТЫЙ ЯДЕРНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ  
CLOSED NUCLEAR FUEL CYCLE**

М.В. Рынкевич, А.В. Казейка

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

M. Rynkevich, A. Kazeika

Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** в данной статье будет рассмотрен замкнутый ядерный топливный цикл, реактор на быстрых нейтронах и МОКС-топливо. Данные термины в совокупности выводят ядерную энергетику на новый этап.

**Abstract:** this article will consider a closed nuclear fuel cycle, a fast neutron reactor and MOX fuel. These terms together bring nuclear power to a new stage.

**Ключевые слова:** замкнутый ядерный топливный цикл, быстрые нейтроны, МОКС-топливо, плутоний, уран, отработанное ядерное топливо.

**Keywords:** closed nuclear fuel cycle, fast neutrons, MOX fuel, plutonium, uranium, spent nuclear fuel.

**Введение**

Цепная ядерная реакция создается, когда сталкивается нейтрон с атомным ядром обогащенного урана. Так происходит ядерная реакция с выделением тепла, новых нейтронов и продуктов деления. Тепловые (медленные) нейтроны – это нейтроны кинетическая энергия которых равна средней кинетической энергии молекулы газа при комнатной температуре. Нейтроны, которые образуются при ядерной реакции после нескольких столкновений с ядрами вещества теряют свою кинетическую энергию и становятся тепловыми. Если поместить между ядрами атомов воду, то они более эффективно будут захватывать нейтроны. Быстрые нейтроны, сталкиваясь с нуклонами воды замедляются, а медленный нейтрон не спеша подлетает к ядру и захватывается с помощью сильного взаимодействия. Чем медленнее нейтрон двигается, тем с большей легкостью возникает ядерная реакция. По такому принципу работают водо-водяные энергетические реакторы (ВВЭР).

Такие обычный реактор на тепловых нейтронах имеет ряд минусов:

- В качестве топлива используется дорогостоящий и редкий U-235. В природном уране содержится около 0,7% радиоактивного изотопа урана с атомарным весом 235 (U-235), на остальные 99,3% приходится изотоп урана 238 (U-238).
- Использование открытого топливного цикла. В открытом топливном цикле отработанное топливо поступает на хранение или захоронение.
- Большая стоимость хранилищ и полигонов для захоронения. Завершается открытый цикл тем, что ядерное топливо перестает поддерживать цепную реакцию деления, поскольку в нём остается слишком мало обогащенного U-235 и накапливается большое количество

продуктов деления. Отработанное топливо отправляют на хранение, где оно со временем теряет свою радиоактивность, чтобы в последствии его можно было окончательно захоронить. Этот процесс приводит к постоянному увеличению отработанного топлива и это вызывает серьезный экологический вопрос.

Эти проблемы решает реактор на быстрых нейтронах, работающий по замкнутому циклу, и МОКС-топливо [1].

### **Основная часть**

Замкнутый топливный цикл – это усовершенствованный топливный цикл. Его целью является снижение радиотоксичности конечных отходов и улучшения использования. В настоящее время исследуются различные типы усовершенствованных топливных циклов, но большинство из них основано на использовании усовершенствованных ядерных реакторах и переработке топлива [2].

Реактор на быстрых нейтронах – ядерный реактор, в котором цепная реакция деления поддерживается быстрыми нейтронами. Это означает, что замедлитель нейтронов в таких реакторах нежелателен. В этом ключевое преимущество быстрых реакторов, поскольку быстрые реакторы имеют значительный избыток нейтронов из-за низкого паразитного поглощения, в отличие от ВВЭР.

МОКС-топливо – смешанное оксидное топливо. В ВВЭР кроме реакции деления U-235, происходит превращение U-238 в изотоп плутония (Pu-239) в результате захвата избыточных нейтронов. Pu-239, так же, как и U-235 является делящимся материалом и может служить топливом для ядерного реактора. Выброшенное топливо содержит около 0,8% плутония и около 1% урана 235.

Таким образом, для использования своего энергетического потенциала отработанное ядерное топливо должно быть подвергнуто серии химических процессов, известных как переработка. Следовательно, стратегия замкнутого цикла предполагает, что отработанное ядерное топливо будет перерабатываться для извлечения урана и плутония, которые могут быть переработаны в качестве свежего ядерного топлива для использования в ядерном реакторе, адаптированном к этому типу топлива.

Тепловыделяющие сборки после облучения хранятся в бассейнах отработавшего топлива на площадке реактора в течение начального периода охлаждения. Со временем, когда отработанное топливо хранится в бассейне, оно становится холоднее по мере того, как радиоактивность спадает. По прошествии нескольких лет (более 5 лет) теплота распада снижается до установленных пределов, так что отработавшее топливо можно транспортировать на установку по переработке, где уран и плутоний отделяются от минорных актиноидов и продуктов деления. Извлеченные уран и плутоний могут быть переработаны в МОКС-топливо для использования в качестве ядерного топлива [3].

В результате осуществления такого замкнутого цикла конечный объем высокоактивных отходов сокращается примерно на 80%, их радиотоксичность снижается примерно на 90%, а теплота их распада снижается по сравнению с

однократным циклом. Это связано с тем, что отработанное топливо содержит более 96% U и Pu.

### **Заключение**

Использование замкнутого цикла имеет ряд преимуществ, связанных с сокращением радио токсичности и уменьшения высокоактивных отходов. Переработка отработанного ядерного топлива позволяет получить МОКС-топливо, которое будет использоваться в качестве ядерного топлива.

### **Литература**

1. Closed Fuel Cycle [Электронный ресурс] / Closed Fuel Cycle – Режим доступа: <https://www.nuclear-power.com/nuclear-power-plant/nuclear-fuel/nuclear-fuel-cycle/closed-fuel-cycle/> – Дата доступа: 05.07.2023.
2. Ядерный рециклинг [Электронный ресурс] / Ядерный рециклинг: переработка отработавшего топлива – Режим доступа: <https://spec.tass.ru/recycling/#:~:text=Замкнутый%20ядерный%20топливный%20цикл%2C%20ЗЯТЦ,загружается%20в%20реактор%20атомной%20станции> – Дата доступа: 05.07.2023.
3. Closed Fuel Cycle [Электронный ресурс] / Closed Fuel Cycle | New Nuclear Energy – Режим доступа: <https://newnuclearenergy.wordpress.com/nuclear-cycle-2/closed-fuel-cycle/> – Дата доступа: 05.07.2023.



УДК 621.187

**ХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ПАРОВЫХ И ГАЗОВЫХ ТУРБИН  
CHEMICAL CLEANING OF STEAM AND GAS TURBINES**

М.А. Заруба

Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

M. Zaruba

Supervisor – A. Bobich, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** в статье затрагивается тема химической очистки паровых и газовых турбин. В статье изложен принцип действия и основные преимущества и недостатки данного способа.

**Annotation:** the article touches upon the topic of chemical cleaning of steam and gas turbines. The article describes the principle of operation and the main advantages and disadvantages of this method.

**Ключевые слова:** турбина, предотвращение, очистка.

**Keywords:** turbine, prevention, cleaning.

**Введение**

С развитием энергопотребления к электроэнергетической отрасли предъявляются все более высокие требования. Увеличивается важность таких параметров электростанции как генерируемая мощность, производительность и универсальность к используемому топливу.

Совокупность основного и вспомогательного оборудования на электростанциях сильно влияет на эффективность работы станций, но особо важным являются турбогенераторы, к которым предъявляются повышенные требования к эксплуатации.

Сроки на проведение технического обслуживания и ремонта основного оборудования, тем более внепланового, сказываются на ритмичной работе предприятия.

Существует проблема отложений в турбинах и трубопроводах. Затраты на очистку и ремонт загрязненного оборудования очень значительны. Наилучшим способом избежать проблем с отложениями в турбоагрегате является предотвращение их образования в ходе её работы путем регулярной очистки систем трубопроводов.

Современный метод технического обслуживания дающий ощутимый результат – химическая пенная очистка.

**Основная часть**

Отложения в турбоагрегатах чаще всего возникают на электростанциях, в которых пароводяные системы состоят из медных сплавов (в рекуперативных теплообменниках и конденсаторах). Эти отложения образуются в процессе эксплуатации, когда оксиды меди растворяются в котловой воде и распределяются по контуру. Вымываемая медь может накапливаться как в металлическом виде, так и в виде фосфатов и других солей. Такое загрязнение

влияет на интенсивность прохождения пара через турбину, что приводит к его уменьшению. Медь, осажденная в металлической форме на стальных элементах, может ускорить коррозию. Вещества, используемые для удаления соединений меди, обычно основаны на HCl, хелатах и щелочных оксидах. При окислении пенистого раствора чистым кислородом или перекисью водорода металлическая медь окисляется до оксида меди, который можно растворить [1].

Процесс химической очистки производится при остывании турбины до температуры 65-75<sup>0</sup>С и занимает от 24 до 36 часов. Он состоит из следующих этапов: подключение пенного блока к турбине, промывку активной пеной, промывку нейтрализующей пеной и промывку паром. После остывания турбины до пределов 65-75<sup>0</sup>С, пена впрыскивается непосредственно в сопловую коробку через демонтированные регулирующие клапаны паровой турбины. После удаления медных соединений из турбины в нее вводят водную пену (вода + пенообразователь) для смывания остатков активных реагентов. Затем турбина промывается низкотемпературным насыщенным паром до тех пор, пока количество конденсата после турбины не будет равно количеству пара, подаваемого на турбину.

Показатели чистоты определяются химическими анализами, проводимыми персоналом химического цеха станции. Время достижения необходимых параметров не более 24 часов.

### **Заключение**

Значительная экономичность химической чистки активной пеной, по сравнению с другими методами, заключается в том, что она не требует разборки оборудования. Этот способ применяется в основном при проведении плановых ремонтов, но его преимущества гораздо лучше проявляются при восстановлении номинальных параметров турбины в процессе эксплуатации, что увеличивает срок эксплуатации турбины в штатном режиме работы за счет увеличения межремонтных периодов работы и поддержания постоянной производительности турбины.

Метод химической чистки с активной пеной – это быстрый, эффективный способ восстановления работоспособности турбины, а также менее финансово и трудозатратный [2].

### **Литература**

1. Combined cycle power plants [Электронный ресурс] / Combined cycle power plants. – Режим доступа: <https://www.ge.com/gas-power/resources/education/combined-cycle-power-plants>. – Дата доступа 12.07.2023.
2. Чистка химической пеной роторов турбин и роторного оборудования [Электронный ресурс] / Чистка химической пеной роторов турбин и роторного оборудования. – Режим доступа: <https://www.ecol.com.pl/ru/>. – Дата доступа 12.07.2023.

УДК 004.94

**ЭКОНОМИЧНОСТЬ РАЗЛИЧНОГО ВИДА ОТОПЛЕНИЯ  
В ЖИЛЫХ ДОМАХ  
EFFICIENCY OF VARIOUS TYPES OF HEATING  
IN RESIDENTIAL BUILDINGS**

И.О. Аликевич, Н.О. Соловьёв

Научный руководитель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

I. Alikevich, M. Salauoyu

Supervisor – I. Prokopenya, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** В данной работе мы разобрали разницу между разными видами отопления и выявили самый экономичный из них.*

***Abstract:** In this paper, we have analyzed the difference between different types of heating and identified the most economical of them.*

***Ключевые слова:** Отопление, газ, дрова, трубопровод, насос, смешение.*

***Keywords:** Heating, gas, firewood, pipeline, pump, mixing.*

### **Введение**

Проблема отопления – одна из самых явных проблем настоящего времени. За всю историю набралось уже тысячу вариантов, чем же можно отопить то или иное помещение. Основной целью отопления является установление максимального теплового комфорта в помещении для благоприятной работы человека.

### **Основная часть**

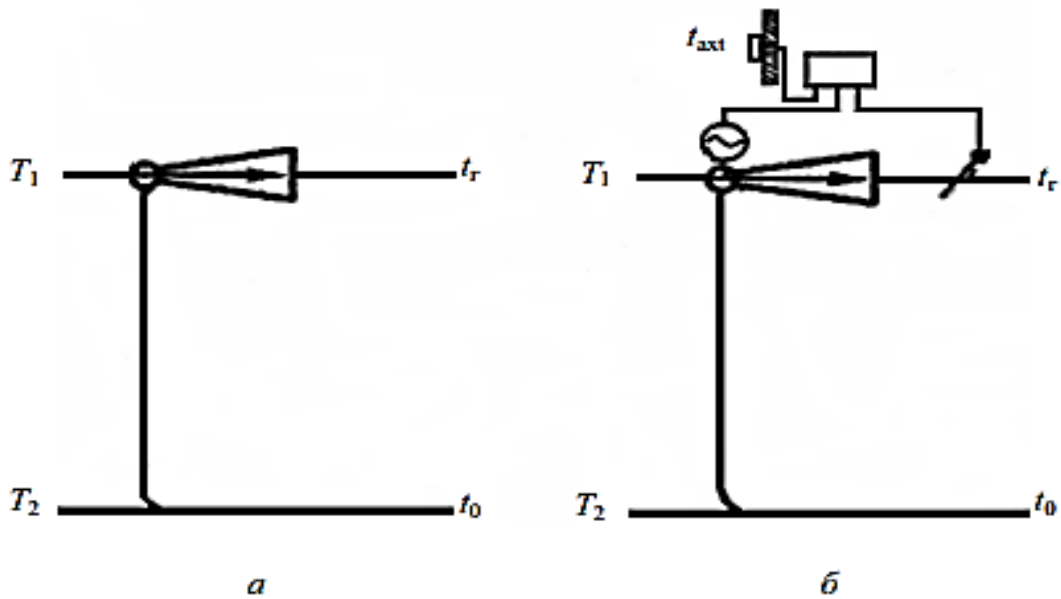
Существует несколько вариантов подключения абонентов к сети водо- и теплоснабжения:

- Зависимая схема без смешения воды;
- Зависимая схема со смешением воды;
- Независимые.

Каждая из данных систем предназначена для подачи в помещение необходимого количества теплоты в любое время отопительного сезона.

Наиболее простым и удобным в эксплуатации является зависимое присоединение без смешения воды. Применяется при центральном качественном регулировании воды, а также при совпадении температур теплоносителя в системе отопления и в системе теплоснабжения. Чаще всего используется для отопления промпредприятий.

Наибольшая часть жилых зданий подключается по зависимой схеме со смешением теплоносителя. Раньше для этого использовались водоструйные насосы[1].

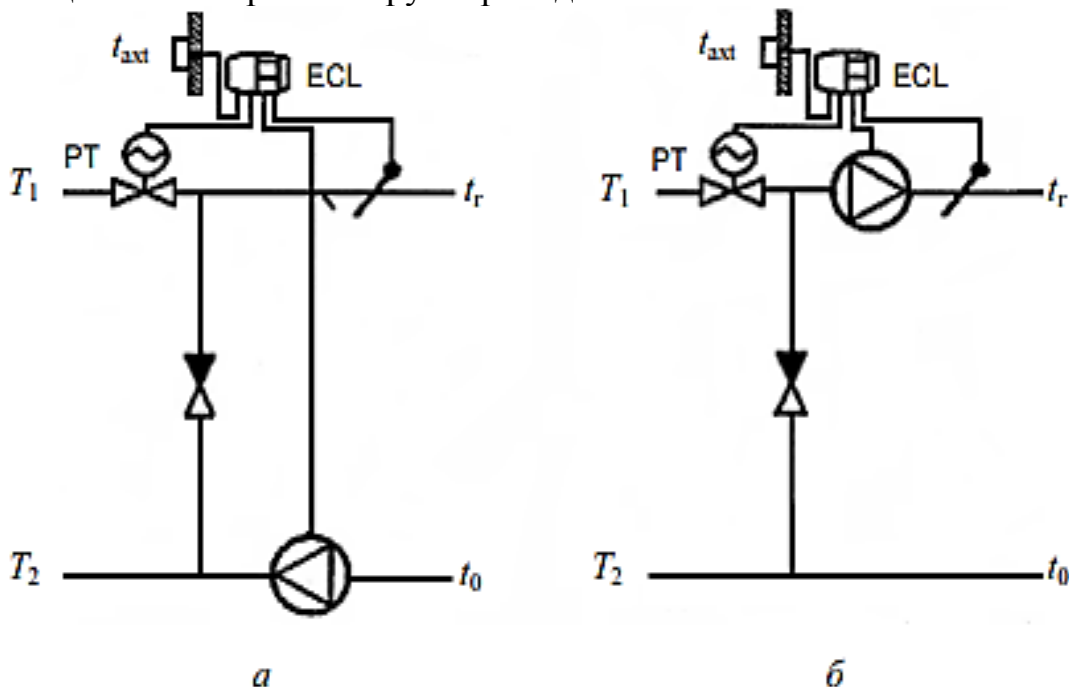


*a* – нерегулируемым насосом; *б* – регулируемым насосом.

Рисунок 1 – Смешение теплоносителя в тепловом пункте (ТП) при зависимом присоединении абонента

В связи с малой работоспособностью и неэффективностью водоструйных насосов в двухтрубных системах отопления стали широко использоваться схемы с насосным смешением.

Наиболее известной схемой смешения является схема с размещением насоса на подающем либо обратном трубопроводе.

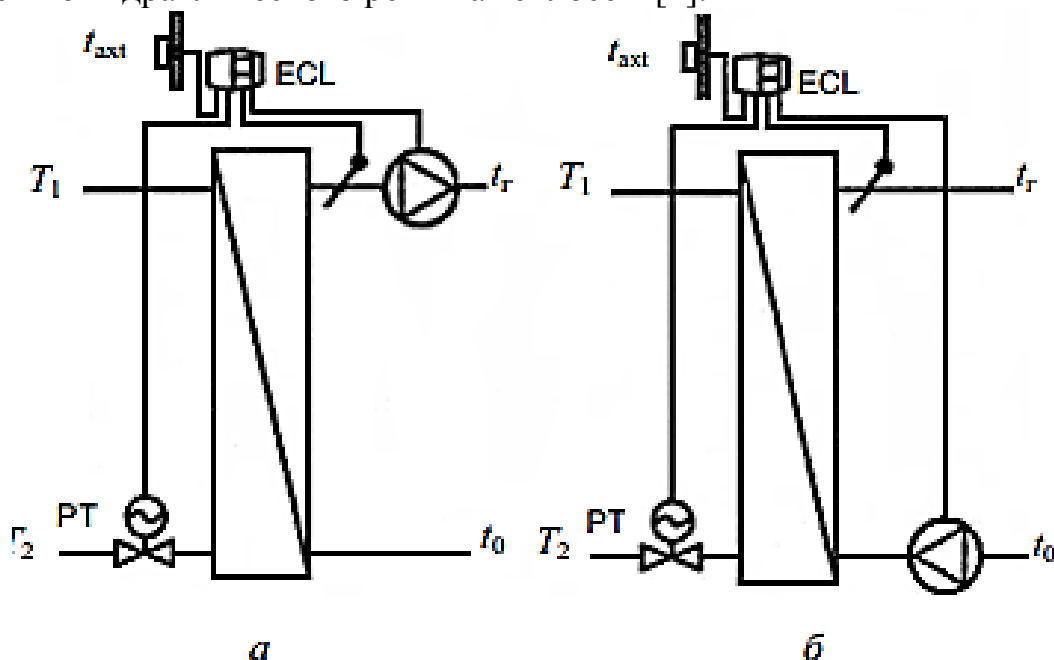


*a* – насос на обратной магистрали и регулятор потока с клапаном; *б* – насос на подающей магистрали и регулятором потока с клапаном.

Рисунок 2 – Смешение теплоносителя в ТП при зависимой схеме присоединения

Независимое присоединение системы отопления применяют для наибольшей гидравлической и тепловой устойчивости путём установки пластинчатых теплообменников.

Преимуществом является то, что система отопления не подвержена изменению гидравлического режима теплосети[2].



а – насос на подающей магистрали; б – насос на обратной магистрали  
Рисунок 3 – Независимое присоединение системы отопления

Вернемся в изначальному вопросу про экономичность разного вида отопления жилых помещений. Где попробуем рассчитать примерные затраты и экономию топлива для 3-х комнатной квартиры площадью 81,21 м<sup>2</sup>.

Описание опыта:

- Площадь и объем помещения 81,21 м<sup>2</sup> и 209,07 м<sup>3</sup> соответственно,
- Масса воздуха (где ρ воздуха=1,29 кг/м<sup>3</sup>) равна 262.34 кг,
- Внутренняя энергия – 492,25·10<sup>5</sup> Дж,
- Количество теплоты – 6 424 852 Дж,

Таблица 1 – Масса топлива

Способ отопления	Удельная теплота сгорания q, Дж/кг	Масса топлива за 1 день, если топить 2 раза в день, кг	Масса топлива за 180 дней (6 мес.), кг
Каменный уголь	2,9*10 <sup>7</sup>	3,80	684
Газ	4*10 <sup>7</sup>	2,78	500
Дрова	1,3*10 <sup>7</sup>	8,56	1541

Таблица 2 – Стоимость топлива

Способ отопления	Стоимость за 1 кг топлива, руб.	За 1 день, руб.	За месяц, руб.	За отопительный сезон, руб
Каменный уголь	9	34,2	1026	6156
Газ	7,85	21,8	655	3930
Дрова	4,4	37,66	1130	6780
Коммунальная квартира	-	-	1300	7800

Пусть 100% - стоимость самого экономичного вида отопления(газа), тогда результаты выведем в таблицу:

Таблица 3 – Переплаты за отопление.

Виды топлива	Процент переплаты за отопление, %
Газ	100
Каменный уголь	157
Дрова	173
Коммунальная квартира	198

### Заключение

Наиболее экономичным видом топлива является газ, он используется в частных домах, где люди в любой момент могут как включить, так и выключить отопление.

Проживающие в многоэтажных домах переплачивают за отопление почти в 2,5 раза.

Отопление дровами или углём обходится в 2,5-2,7 раза больше.

### Литература

1. Анализ систем отопления и перспективы автоматизации [Электронный ресурс] – Режим доступа: - <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sistem-otopleniya-i-perspektivu-avtomatizatsii> – Дата доступа: 09.07.2023
2. Экономичность различных видов отопления в жилых помещениях [Электронный ресурс] – Режим доступа: - <https://nsportal.ru/ap/library/nauchno-tekhnicheskoe-tvorchestvo/2014/04/02/nauchno-issledovatel'skaya-tvorcheskaya-rabota> – Дата доступа: 10.07.2023



УДК 621.57

**ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА НТЦ-23.63**  
**LABORATORY INSTALLATION NTC-23.63**

А.Д. Астренков, Д.Д. Толкачев, Н.В. Авдеюк  
Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
A. Astrenkov, D. Tolkachev, N. Avdeyuk  
Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** Описание и принцип работы лабораторной установки НТЦ.23-63  
**Abstract:** Description and principle of operation of the laboratory installation NTC-23.63

**Ключевые слова:** Холодильная установка, НТЦ-23.63, лабораторный стенд, холодильный коэффициент, обратный тепловой цикл.

**Keywords:** Refrigeration installation, NTC-23.63, laboratory stand, refrigeration coefficient, reverse heat cycle.

**Введение**

Холодильная установка – комплекс оборудования, служащий для получения и поддержания в охлаждаемых помещениях (холодильных камерах, морозильных камерах, камерах шоковой заморозки), телах или веществах температур, ниже температуры окружающей среды. Установки могут использоваться для режимов хранения, охлаждения и заморозки продукции и поддерживать, согласно техническому заданию, необходимую температуру в охлаждаемом объеме от +15 до -40 °С (в зависимости от типа установки и используемого холодильного агента). [1]

Основные применения холодильных установок: для хранения продукции, для охлаждения продукции, для замораживания продукции, для шоковой заморозки.

Модельный ряд холодильных установок имеет широкий температурный диапазон работы (температура окружающей среды до +40 °С), холодопроизводительности (мощности по холоду), могут использоваться для работы на различных холодильных агентах, комплектуются приборами автоматики и контроля.

Холодильные установки в совокупности с холодильными камерами, камерами шоковой заморозки, морозильными камерами предназначаются для производителей мясомолочной продукции и полуфабрикатов, мясо и рыбоперерабатывающих предприятий, продовольственных складов и хранилищ, хладокомбинатов, фармацевтических предприятий и складов, средних и крупных хлебопекарен и кулинарий. Также, данные холодильные машины используются в продовольственных магазинах и супермаркетах для работы на холодильные камеры и выносное холодильное торговое оборудование.

В Лабораторных работах с установкой НТЦ-23.63 основными целями изучения являются:

- типы холодильных установок;
- конструкция стенда и холодильной установки НТЦ-23.63;
- обратный тепловой цикл;
- графики охлаждения;
- холодильный коэффициент;
- P-h диаграмма хладагента R404.

### Основная часть

Конструктивно стенд НТЦ-23.63 состоит из установки для испытаний и стенда управления и измерения. Так же стенд можно использовать в комбинации с ЭВМ.



Рисунок 1 – Холодильная установка НТЦ-23.63

В систему измерения стенда входят счётчик электроэнергии и цифровые приборы, отображающие текущее давление на входе и выходе компрессора, температуру на входе и выходе конденсатора и испарителя, температуру в сдвижном коробе со стенками из поликарбоната (охлаждаемый объем).

Датчики давления и температуры вмонтированы в контур движения хладагента. На панели стенда управления и измерения для связи с ПК установлен

разъем USB. Информация, отображаемая на приборах стенда, может быть выведена и обработана на ПК. [2]

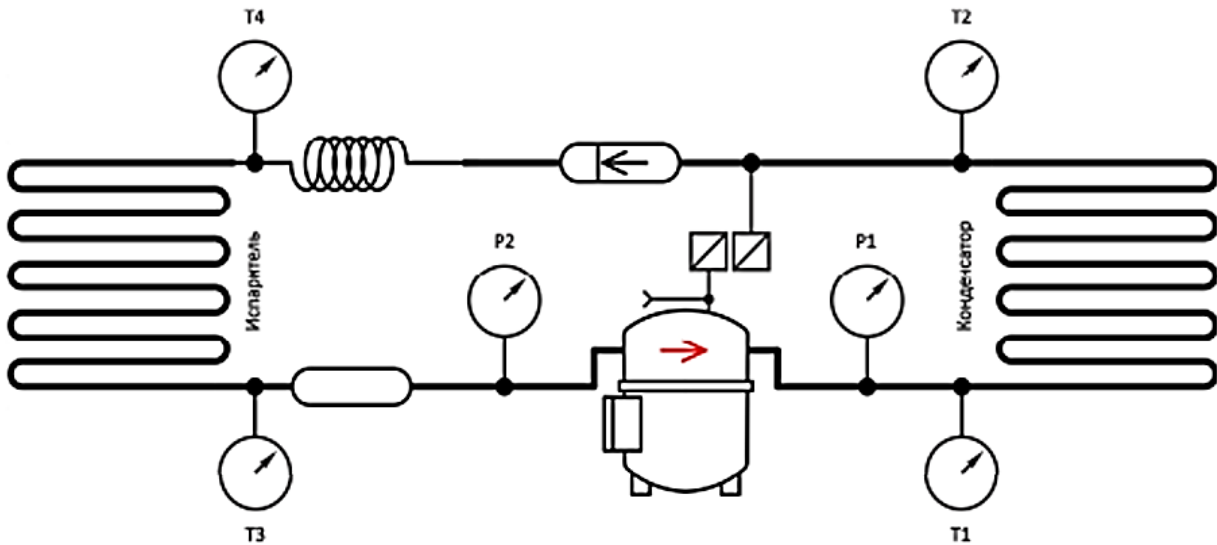


Рисунок 2 – Схема движения хладагента и контрольные приборы

Из испарителя рабочее тело в виде влажного пара поступает в компрессор, где сжимается по адиабате. После сжатия пар будет перегретым (процесс 1-2) или сухим насыщенным (процесс 1-5). Из компрессора пар направляется в конденсатор, в котором превращается в жидкость за счет отдачи теплоты парообразования охлаждающему телу (воздуху или воде). Процесс конденсации пара 2-3 изобарный, на участке 5-3 он является одновременно изотермическим. Из конденсатора жидкость поступает в редукционный вентиль (дрессель), где она дросселируется с понижением давления и температуры (процесс 3-4). В результате дросселирования 3-4 энтальпия рабочего тела остается постоянной  $h_3 = h_4$ .

Полученный влажный насыщенный пар с низкой температурой, поступает в испаритель, расположенный в холодильной камере, где отбирает теплоту от охлаждаемого объекта, и подсушивается при постоянных давлении и температуре по линии 4-1, чем завершается цикл.

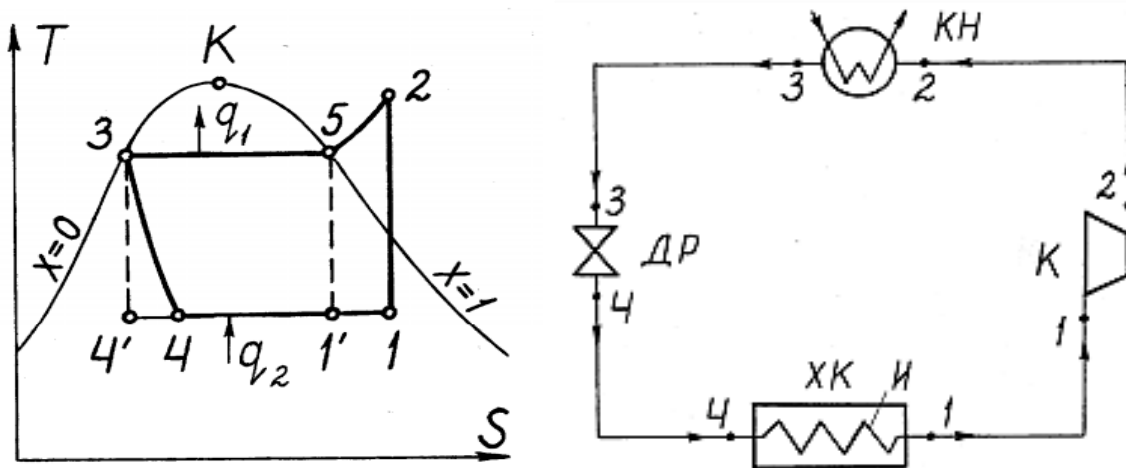


Рисунок 3 – Цикл (T-S) холодильной установки

К стенду прилагается комплект методической и технической документации, предназначенной для преподавательского состава, на теоретической базе которых ведутся лабораторные испытания стенда.

Энергетическим показателем любой холодильной машины служит холодильный коэффициент  $\varepsilon$  показывающий отношение выработанного холода к затраченной энергии – является интерпретацией коэффициента полезного действия, но в холодильной технике. Рассчитывается как:

$$\varepsilon = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  – холодильный коэффициент;

$h_1, h_2, h_3, h_4$  – энтальпии в точках цикла холодильной установки.

### Заключение

Данная лабораторная установка создана специально для студентов технических вузов в область изучения которых входят такие дисциплины как «Техническая термодинамика и теплотехника», «Тепломассообмен», «Промышленные тепломассообменные и холодильные установки», «Низкотемпературная техника» и т.д.

Холодильная установка НТЦ-23.63 позволяет дополнительно понять, как устроена холодильная техника, изучить основные процессы, которые протекают в них, конструкцию стенда и за счет чего происходит охлаждение в холодильной камере. [3]

### Литература

1. Хрусталева Б.М. Техническая термодинамика: учебник. В 2 частях. Часть 2. / Б.М. Хрусталева, А.П. Несенчук, В.Н. Романюк. – Мн.: Уп «Технопринт», 2004 – 560 с.

1. НТЦ-23.63 “Изучение холодильной установки с МПСО” [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ntpcentr.com/ru/catalog/holodilnoe-oborudovanie/ntc-23-63-izuchenie-holodilnoj-ustanovki-s-mpso/> – Дата доступа: 13.08.2023.

2. Холодильная установка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Холодильная\\_установка](https://ru.wikipedia.org/wiki/Холодильная_установка) – Дата доступа: 15.08.2023.

УДК 621.161

**РЕКОНСТРУКЦИЯ КОТЕЛЬНОЙ «ЦЕНТРАЛЬНАЯ» Г. ЛЕПЕЛЯ С  
ЗАМЕНОЙ ПАРОВОГО КОТЛА ДКВР-10/13 НА ВОДОГРЕЙНЫЙ  
КОТЕЛ ВА-6000**

**RECONSTRUCTION OF THE BOILER HOUSE «CENTRAL» IN THE CITY  
OF LEPEL WITH THE REPLACEMENT OF THE STEAM BOILER  
DKVR-10/13 WITH THE WATER BOILER VA-6000**

В.С. Махнис

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Makhnis

Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

*Аннотация:* сделан обзор проекта по замене котла на лепельской котельной «Центральная».

*Abstract:* an overview of the project to replace the boiler at the Lepel boiler house «Central» was made.

*Ключевые слова:* котёл, котельная «Центральная», реконструкция.

*Keywords:* boiler, boiler house «Central», reconstruction.

### Введение

Установленная мощность теплогенерирующего оборудования: 25,3 Гкал/час

Подключенная тепловая нагрузка потребителей 33,5 Гкал/час, в том числе:

- Отопление – 24,6 Гкал/час
- Горячее водоснабжение – 8,9 Гкал/час.

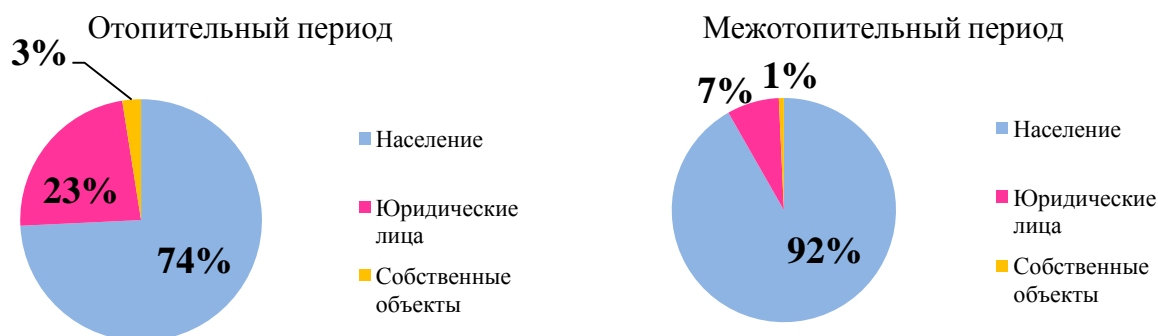


Рисунок 1 – Структура потребления тепловой энергии

Годовая выработка тепловой энергии: 52 104 Гкал.

Потери тепловой энергии при транспортировке в тепловых сетях: 6,2%.

Годовой объем потребления топлива для производства тепловой энергии:

- природный газ – 5,08 млн. м<sup>3</sup>;
- щепа – 16,7 тыс. пл.м<sup>3</sup>.

Себестоимость производства 1 Гкал тепловой энергии (по данным 2022 года) на Центральной котельной г. Лепель составляет 110,17 руб.



**Основная часть**

Паровой котел ДКВР 10/13 представляет собой вертикально-водотрубный котёл с экранированной топочной камерой и кипяtilьным пучком, выполненным по конструктивной схеме «D» с боковым расположением конвективной части котла относительно топочной камеры в кирпичной обмуровке.

Таблица 1 – Характеристики парового котла ДКВР 10/13 (производитель – «Бийский котельный завод», 1983 год выпуска)

Параметр	Ед. изм.	Значение
Паропроизводительность	т/ч	10
Рабочее (избыточное) давление теплоносителя на выходе	МПа	1,3
Расчетный КПД	%	87

Таблица 2 – Характеристики водогрейного котла ВА-6000 (производитель – НПП «Белкотломаш», 2004 год выпуска)

Параметр	Ед. изм.	Значение
Мощность	кВт	6000
Рабочее давление	МПа	1,0
Температура воды на выходе не более	°С	95
Температура воды на входе в котел	°С	70
Гидравлическое сопротивление	кПа	30
Температура уходящих газов	°С	170
Водяной объем котла	М <sup>3</sup>	16,1
Топочный объем котла	М <sup>3</sup>	7,36
КПД	%	92
Тип горелки	-	UNIGAS P1025

Экономические показатели объекта строительства:

- Общие капиталовложения: 340114 рублей;
- Срок окупаемости 2,5 года;
- Ориентировочная годовая экономия 134220 рублей.

Таблица 3 – Техничко-экономические показатели проекта

Техничко-экономические показатели	Ед. изм.	До реконструкции	После реконструкции	Сравнение
Подключенная нагрузка котельной	Гкал/ч	33,5	33,5	
Установленная мощность котельной	Гкал/ч	25,3	30,46	+5,16
Годовая выработка тепла котельной, в т.ч.	Гкал	68067,5	68067,5	
- ГПУ		6544	6544	
- Котлом на МВТ		27174,4	27174,4	
- Газовыми котлами		34349,1	34349,1	
Годовая выработка электрической энергии ГПУ	тыс. кВт·ч	6000	6000	
- условного	т у.т.	12585	12368	-217
- природный газ, в т.ч.	тыс.нм <sup>3</sup>	6494,22	6305,12	-189,1



## Продолжение таблицы 3

ГПУ		1638,12	1638,12	
ДЕ 25/14		3756,1	1372	
ДЕ 10/14		1100	1100	
ВА-6000		-	2195	
- щепы	т н.т.	15122,1	15122,1	
Годовое число часов использования установленной производительности	ч	2204	2926	+722
Удельный расход условного топлива на отпуск электроэнергии	г у.т./кВт·ч	163,8	163,8	
Удельный расход условного топлива на 1Гкал отпущенного тепла	кг у.т./кал	186,5	183,4	-3,1
Годовой расход электроэнергии	тыс. кВт·ч	2939,2	2921,0	-18,2

**Заключение**

Замена парового котла ДКВР-10/13, не пригодного к дальнейшей эксплуатации, на водогрейный котел ВА-6000 улучшит показатели работы котельной в части уменьшения удельного расхода топлива и объемов потребления электрической энергии.

**Литература**

1. Положение о порядке организации и проведения энергетических обследований (энергоаудитов). - Утв. Пост.СМ РБ 18.03.2016 № 216.
2. Методические рекомендации по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий. – Минск, 2017
3. СНБ 4.02.01-03 "Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха"
4. СНБ 2.04.02-2000 "Строительная климатология "

УДК 621.644.07

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ТРУБОПРОВОДОВ  
DESIGN AND CONSTRUCTION OF PIPELINES**

М.И. Веропотвельян, А.Н. Жданович

Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

M. Veropotveliyan, A. Zhdanovich

Supervisor – A. Bobich, Candidate of Technical Sciences, Docent

Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** В статье представлены технические и экономические расчеты, макеты, чертежи, иные материалы, информирующие о планируемом возведении новых или ремонте функционирующих систем данной категории.

**Abstract:** It should contain technical and economic calculations, models, drawings, other materials informing about the planned construction of new or repair of functioning systems of this category.

**Ключевые слова:** трубопровод, теплоноситель, компрессор, транспортировка.

**Keywords:** pipeline, coolant, compressor, transportation.

**Введение**

Проектирование трубопроводов необходимо для правильного выбора материала, способа соединения труб. А так же важна характеристика теплоносителя.

**Основная часть**

С точки зрения проектирования, трубопровод представляет собой техническое сооружение и единую конструкцию из труб, соединенных в секции различными способами. Обычно элементы собираются в систему при помощи:

- сварки – используются шовные соединения;
- фланцев;
- специального оборудования для насечки резьбы;
- отводов;
- переходов;
- тройников, пр.

В технологическом смысле трубопроводная система является магистралью, которая функционирует по заданным параметрам и имеет такие характеристики:

**Сфера использования**

Комплекс может транспортировать среды разных видов, в том числе:

- пар, который на теплоэлектростанциях и АЭС обозначается как рабочее тело;
- теплоноситель, то есть воду, горячий пар;
- масло;
- кислоты, щелочи, используемые в системах обратного осмоса для химической водоочистки на предприятиях;
- топливо, например, дизель, мазут, иные продукты нефтепереработки;

– газы, в том числе кислород.



Рисунок 1 – Общий вид технологических трубопроводов

#### *Рабочее давление*

При проектировании трубопроводов закладывают данный показатель в пределах 0,1–25 МПа. За нагнетание давления отвечают компрессоры или насосное оборудование.

#### *Температура*

Внутреннее пространство системы может быть нагрето от +5 °С до +580 °С.

#### *Протяженность транспортировки*

При помощи трубопровода продукты могут доставляться на расстояния от метра до 4 километров – конкретные цифры определяются типом соединений, материалом труб, особенностями проекта.

При проектировании трубопровода специалисты принимают во внимание все названные особенности, а в расчетах опираются на такие характеристики:

- Химические и физико-механические особенности рабочей среды. От них зависит марка стали для труб, поскольку водопроводы изготавливают из металла, стойкого к коррозии, а для магистралей перегонки кислот требуются кислотоупорные сплавы.
- Давление. Определяет материал и необходимую толщину стенки трубы.
- Расстояние транспортировки и температура среды. От этих показателей зависит общая нагрузка на систему, что нужно учитывать, выбирая сталь, разновидность опор, способ соединения секций.

Грамотное проектирование подобного комплекса невозможно без точного расчета характеристик компенсатора. Специалистов интересуют следующие качества:

- Работоспособность – показатель для нормальной работы устройства составляет 0,999.



- Безотказность – норма 095 свидетельствует о вероятности аварии при расчете не более 5 %.
- Сохраняемость – минимальный срок хранения компенсатора составляет 5 лет.
- Долговечность – на данный момент при проектировании трубопроводов выбирают компенсаторы со сроком эксплуатации не менее 30 лет.

#### Элементы трубопровода

При проектировании и монтаже трубопроводов важно учитывать, что подобная система включает в себя целый ряд составляющих:

- трубы, которые для нормального функционирования должны быть герметично скреплены между собой;
- крепежи, соединяющие детали, такие как прокладки, колена;
- приборы для регулировки подачи и перекрытия потока транспортируемого вещества;
- аппараты, обеспечивающие контроль, измерение;
- устройства, отвечающие за автоматизацию работы системы, обнаружение ошибок и сбоев;
- опоры и подвески, используемые для крепления;
- изоляционные, утеплительные материалы, грунтовка и другие составы, призванные защитить металл от коррозии, влаги, обеспечить системе устойчивость к воздействию отрицательной температуры.



Рисунок 2 – Основные элементы технологических трубопроводов

Особенности проектирования трубопроводов определяются длиной, конфигурацией, сферой, сроками и условиями использования. В процессе подготовки проекта необходимо определить, каким именно воздействиям со стороны окружающей среды будет подвержена система. К ним может относиться

повышенная влажность, изменения температуры, образование наледи, механические повреждения, давление, иные факторы.

При проектировании учитывают:

- используемые материалы;
- диаметр и толщину стенок труб;
- способ прокладки коммуникаций – они могут находиться под землей, на или над ее поверхностью;
- особенности конфигурации – иногда достаточно линейных конструкций, тогда как в других случаях не обойтись без сложных узлов;
- число точек доступа, входных/выходных отверстий;
- наличие либо отсутствие устройств, позволяющих контролировать, регулировать систему и производить с ней иные манипуляции.

### **Заключение**

Попытки сэкономить на проектировании трубопроводов нередко приводят к нештатным ситуациям во время пуска только что построенной или реконструированной системы.

### **Литература**

1. Проектирование трубопроводов: задачи, этапы, особенности. 2014. doi:10.1017/s0021932006001337
2. Бабин А.А., Григоренко П. Н. Типовые расчеты при сооружении трубопроводов. – М.: Недра, 1995г.-245 с.

УДК 621.311.22

**АНАЛИЗ КОТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ИХ ОСНОВНЫХ  
ХАРАКТЕРИСТИК НА МОЗЫРСКОЙ ТЭЦ  
ANALYSIS OF BOILER EQUIPMENT AND THEIR MAIN  
CHARACTERISTICS AT THE MOZYR HEAT AND POWER PLANTS**

А.А. Кекух, Е.О. Данилюк

Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

А. Kekukh, E. Danilyuk

Supervisor – A. Bobich, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** краткое описание котельного оборудования Мозырской ТЭЦ, их основных характеристик.*

***Abstract:** a brief description of the boiler equipment of the Mozyr combined heat and power plant, their main characteristics.*

***Ключевые слова:** котлоагрегат, мощность, нагрузка, производительность, давление, температура, расход, температурный график.*

***Keywords:** boiler unit, power, load, performance, pressure, temperature, flow rate, temperature graph.*

### **Введение**

Мозырская теплоэлектроцентраль входит в состав производственного объединения энергетики и электрификации «Гомельэнерго» и включена в единую энергосистему Республики Беларусь.

Строительство теплоэлектроцентрали в городе Мозырь предусматривалось для обеспечения тепловой, а также электрической энергией строящегося НПЗ и иных предприятий промышленного узла.

### **Основная часть**

Котельное оборудование. Паровые котлы ТГМ-84Б № 1, 2, 3, 4. Котельные агрегаты типа Е-420/140 ГМ № 1, 2, 3, 4 однобарабанные с естественной циркуляцией, выполненные по П-образной схеме с параметрами пара за котлом 420 т/ч, 14 МПа, 560°С, смонтированные в 1974-1975 гг. Пароперегреватель котла выполнен радиационно-конвективным, двухпоточным, четырёхступенчатым, с трехступенчатым регулированием температуры перегретого пара впрыском «собственного» конденсата.

В 2006-2007 гг. котлоагрегаты № 1, 2, 3 переведены на сжигание природного газа, резервным топливом служит мазут. Также осуществлен перевод на управление технологическим процессом от АСУ ТП.

Котлоагрегат № 4 работает на сжигании мазута и не управляется от АСУ ТП. Используется как резервный в отопительный период и работает крайне редко.

Главными характеристиками маневренности котла считаются кроме того допустимая скорость нагружения и разгружения. В соответствии с указаниями по эксплуатации темп снижения и роста нагрузки на котле не должен быть более 30 т/ч за минуту.



Организация регулировки котлов создана таким способом, что один из работающих котлов функционирует в «режиме основного регулятора», поддерживая заданное давление в одной из 3-х секций главной паровой магистрали в соответствии с требованиями, другие котлы работают в «базовом» режиме, поддерживая установленное потребление газа на котел и давление в барабане. При изменениях нагрузки на турбине сначала меняется давление в главной паровой магистрали, после в барабане котлов, поэтому котлоагрегат, установленный в «режиме главного регулятора», меняет нагрузку первым.

По результатам наладочных работ на котлоагрегатах № 1, 2, 3 при набросе электрической нагрузки (возмущений) на турбине в размере 10-15 МВт наибольшее падение давления в главной паровой магистрали составило 0,2-0,3 МПа, регулятор плавно восстановил давление в главном паровом паропроводе до первоначального в течение 10 минут.

Основные ограничивающие факторы, влияющие на набор нагрузки теплоэлектроцентрали, считаются:

- низкий расход производственного отбора,
- недостаточный отпуск пара в производственный отбор приводит к естественному росту давления в П-отборе турбины,
- недостаточная пропускная способность циркуляционных водоводов,
- недостаточная пропускная способность циркуляционных водоводов в летний сезон вместе с низким уровнем производственного отбора при взаимной работе 2-х турбоагрегатов приводят к ограничению мощности на турбоагрегате ПТ-135/165-130/15 от 4 до 49 МВт.

Состояние градирен № 1, 2. Градирня №1 в настоящее время ожидаются плановые ремонтные работы из-за проблем с несущей конструкцией. Градирня №2 в настоящий момент в эксплуатацию не введена, так как находится в ремонте из-за наличия крена и проблем с несущей конструкцией.

Главным сдерживающим условием, оказывающее влияние на снижение нагрузки теплоэлектроцентрали является зависимость электронагрузки от температурного графика отпуска тепловой энергии.

### **Заключение**

Устранение указанных проблем позволит осуществлять глубокую разгрузку энергоблоков на Мозырской ТЭЦ и при этом осуществлять энерго- и теплоснабжение потребителю первой категории «Мозырский НПЗ».

### **Литература**

1. Мозырская ТЭЦ | История, основные характеристики. – [Электронный ресурс]. Режим доступа: Википедия: Мозырская ТЭЦ (ТЭЦ-24) / – Дата доступа 15.07.2023;
2. Паровой котел ТГМ-84 | Описание и технические характеристики котла. – [Электронный ресурс]. Режим доступа: Описание и технические характеристики котла ТГМ-84/ – Дата доступа 15.07.2023;
3. О режимах работы Мозырской ТЭЦ | Режимы работы Мозырской ТЭЦ, характеристики основного оборудования. – [Электронный ресурс]. Режим доступа: Котельное оборудование Мозырской ТЭЦ/ – Дата доступа 15.07.2023.

УДК 697.7

**ВОДЯНОЕ ЛУЧИСТОЕ ОТОПЛЕНИЕ  
В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЦЕХАХ  
RADIANT WATER HEATING IN INDUSTRIAL PREMISES**

Б.Г. Гварамадзе, П.Д. Кагочкин

Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

B. Gvaramadze; P. Kagochkin

Supervisor – A. Bobich, Candidate of Technical Sciences, Docent

Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** В данной статье описаны преимущества использования и принцип действия водяного лучистого отопления по сравнению с использованием водяных воздухонагревателей.

**Abstract:** This article describes the advantages of using and the principle of operation of a watery radiant heating system in comparison with the use of water heaters.

**Ключевые слова:** водяное лучистое отопление, инфракрасные панели, энергоэффективность, экономия энергоресурсов.

**Keywords:** watery radiant heating, infrared panels, energy efficiency, saving energy resources.

### Введение

Водяное лучистое отопление позволяет достичь комфортного климата в производственных помещениях, цехах, позволяет экономить энергию благодаря особому эффекту при лучистом теплообмене при аналогичных температурных режимах с использованием традиционных конвективных систем отопления.

### Основная часть

На данный момент существующий способ обогрева производственных помещений, цехов на предприятии ОАО «БЕЛАЗ» является воздушно-водяное отопление, представляющее собой водяной калорифер, в который воздух подается с помощью вентилятора из помещения, и систему разветвленных воздухопроводов, по которым воздух направляется в рабочую зону в виде направленного воздушного потока через распределительные узлы.

Теплоснабжение производственных цехов является сложной задачей, т.к. они занимают большие площади до нескольких десятков тысяч квадратных метров и имеют высоту до 25 м и должны соответствовать требованиям по санитарии, взрыво- и пожароопасности. Сама рабочая зона производственных зданий составляет примерно 20-30% от общего объема, высотой не более 2 м. Именно в этой зоне требуется создать и поддерживать комфортные условия, которые влияют на работоспособность персонала, их здоровье и, в конечном счете, на результат труда всего персонала; защита оборудования от перепадов температур и последующей поломки, а также для создания правильных условий хранения на складских помещениях, чтобы изготовленная продукция не теряла свои свойства. Нагрев воздуха над рабочей зоной относится к прямым потерям.

Удерживать теплый воздух в рабочей зоне невозможно, что является недостатком, т.к. нагретый теплый воздух устремляется вверх, и температура его от пола к потолку возрастает на 1,5-2 °С в расчете на метр высоты.

Отопить производственные помещения таких габаритов с помощью воздушно-водяной системы очень сложно, для чего необходимо разместить в цехах десятки километров трубопроводов, обеспечить гидравлическую устойчивость работы этих сетей, и учитывать электрохимические коррозии отопительных сетей, что делает такой подход слишком сложным и дорогостоящим. Недостатком системы являются и теплофизические свойства воздуха в качестве теплоносителя, который имеет весьма низкую теплоемкостью, что, в сравнении с водой в четыре раза меньше, и, следовательно, для переноса значительных тепловых нагрузок требуется перемещение внушительных масс воздуха, а это затраты электроэнергии на привод вентиляторов и расходы на обслуживание.

Применение системы отопления, представленной в виде водяных лучистых панелей, позволяет эффективно решать недостатки воздушно-водяного отопления. Систему водяного лучистого отопления сложно назвать новой технологией. Использовалась она еще 60 лет назад. Подобные панели были разработаны в СССР, но дешевые на то время энергоносители не позволили широкомасштабно применить данную энергоэффективную технологию раздачи тепла. Зато такие системы успешно эксплуатируют в Европе, где они считаются самыми энергоэффективными для отопления помещений с высокими потолками. [1]

Принцип действия системы отопления на базе водяных лучистых (инфракрасных) излучателей состоит в том, что теплота, отводимая от нагретого экрана в результате циркуляции горячей воды по трубам в панелях, подается в рабочую зону направленным потоком теплового излучения. При этом воздух считается прозрачным для инфракрасного излучения, лишь рассеивая его, и энергия от инфракрасных излучателей аккумулируется на приповерхностных слоях облученных поверхностей (пол, предметы, человеческое тело, оборудование и т.д.), и затем формирует конвективные потоки, нагревающие воздух в рабочей зоне [2]. Воздух при этом не перегревается, что исключает образование воздушной «тепловой подушки» под потолком. Данные особенности указывают на принципиальное отличие от конвективных систем отопления и ведут к повышению энергоэффективности. Речь идет о волнах, характеризующихся разными частотами: самыми физиологическими и естественными электромагнитными волнами, излучаемыми человеческим телом. Если быть более точным, то речь идет об инфракрасных лучах низкой частоты, которые испускаются с поверхностей при температурах, типичных для биологических организмов.

Отопительными приборами в данной системе являются излучающие панели (рисунок 1) или излучающие профили, а теплоносителем – горячая вода с температурой от 40 °С до 150 °С.

Панели водяного лучистого отопления имеют следующие преимущества: легкие и компактные, панели легко установить, сам монтаж прост, быстр и экономичен. Панели могут монтироваться на стенах, потолке или быть свободно висящими. Нагревательная поверхность излучающей панели могут сильно нагреваться при эксплуатации, т.е. небезопасно на ощупь, что может привести к ожогу. Основное достоинство системы – обогрев.



Рисунок 1 – Потолочные водяные инфракрасные панели

Инфракрасные излучатели воздействуют на любые предметы, находящиеся внутри цеха, при этом не затрагивают воздух и не влияют на движение воздушных масс, что исключает возможность появления конвекционных сквозняков и циркуляции воздуха, ведущих к перемещению пыли, мелких частиц и других негативных факторов, которые способны повлиять как на здоровье персонала, избежать простудных и аллергических реакций, так и загрязнений дорогостоящего оборудования, что позволяет использовать данную систему в цехах производства с выделением вредных веществ, не допуская перемешивания вредных веществ с помощью тепловентиляторов.

На территории предприятия ОАО «БЕЛАЗ» имеется три блока производственных цехов (БПЦ), склады, корпус вспомогательных цехов (КВЙ). Один БПЦ-2 насчитывает свыше 120 тыс. кв. м. производственных площадей. Для обогрева складов, цехов, используется настенные водяные вентиляторы различной мощности от 10 до 120 кВт, производительностью от 1000 м<sup>3</sup>/ч до 8000 м<sup>3</sup>/ч, подключаемые как к однофазной электросети напряжением 220 В, так и трехфазной сети напряжением 380 В, что при монтаже требуется подключение каждого устройства к электрической сети с затратами на проводку, шкафное оборудование, и трансформаторную. Количество варьируется от 1 до 20 шт. в зависимости от требуемой тепловой нагрузки в конкретном цеху или участке. Данный способ отопления приводит к значительным затратам на электроэнергию, потребляемую воздушно-отопительными агрегатами, что нельзя сказать про водяные лучистые панели, которые электроэнергию не потребляют из-за отсутствия конструктивных элементов, для работы которых нужна электроэнергия, что позволяет экономить до 50% затрат на отопление и на расходах на профилактику и обслуживание. Данная особенность является одним из главных достоинств такой системы отопления. При монтаже водяных

воздухонагревателей потребуются подведение подающего и обратного трубопровода системы отопления. Водяные инфракрасные панели же сами являются водопроводящей системой.

Снижение энергозатрат с использованием водяного потолочного лучистого отопления достигается и за счет уменьшения теплопотерь из-за исключения перегрева воздуха под потолком, за счет меньшего температурного градиента по высоте помещения. Максимальная экономия достигается при помощи дополнительного комплекта автоматики, который автоматически поддерживает заданную температуру в течение рабочего дня, снижая её в нерабочие часы.

### **Заключение**

Применение водяных инфракрасных панелей, в основе работы, которых лежит принцип лучистого отопления, является одним из самых перспективных способов повышения энергоэффективности производственных помещений большого объема, а по сравнению с существующими традиционными конвективными системами отопления позволяет создать в рабочей зоне необходимый тепловой комфорт при этом существенно экономить энергоресурсы.

### **Литература**

1. Обоснование применения лучистых систем отопления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://project-ray.ru/upload/doc.pdf>. – Дата доступа: 10.07.2023.
2. Energy efficiency of radiant heating systems based on water emitting profiles [Электронный ресурс]. – Режим доступа: 10402.pdf (spbstu.ru). – Дата доступа: 10.07.2023.



УДК 628.477

**УТИЛИЗАЦИЯ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ДЛЯ ПИКОВЫХ-РЕЗЕРВНЫХ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ  
RECYCLING FLUE GASES FOR PEAK-RESERVE ENERGY SOURCES**

К.А.Галишева, Д.С. Шулепов

Научный руководитель – В.А. Седнин, д.т.н., профессор  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

K. Galisheva, D. Shulepov

Supervisor – V. Sednin, Doctor of Technical Sciences, Professor  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** В данной работе были рассмотрены способы утилизации дымовых газов для реализации систем теплоснабжения города Полоцка.

**Abstract:** In this paper, methods for recycling flue gases for the implementation of heat supply systems in the city of Polotsk were considered.

**Ключевые слова:** дымовые газы, котёл-утилизатор, экономайзер.

**Keywords:** flue gases, recovery boiler, economizer.

**Введение**

Для объединенной энергосистемы Республики Беларусь проводится строительство четырёх пиково-резервных энергетических источников (далее ПРЭИ) [1]. Один из них размещается на Новополоцкой ТЭЦ с суммарной мощностью газотурбинных установок 100 МВт. Нами рассмотрено два вида утилизации дымовых газов для обеспечения горячим водоснабжением и отоплением города Полоцка [2].

**Основная часть**

Для того чтобы обеспечить теплоснабжением город Полоцк необходимо утилизировать дымовые газы после газотурбинных установок. За турбиной возможна установка котла-утилизатора или экономайзера (рисунок 1).

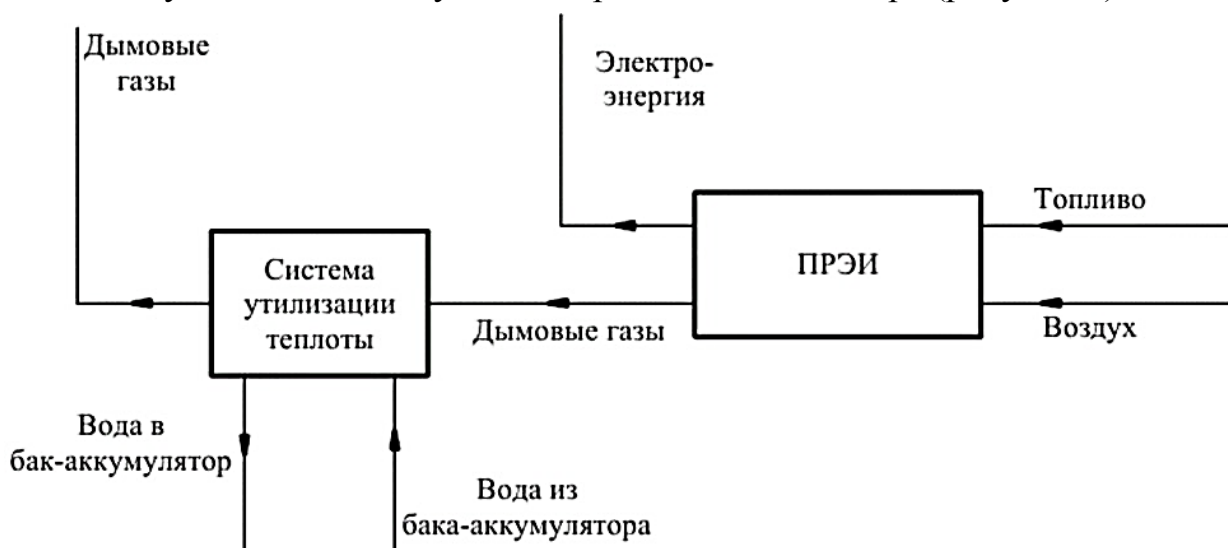


Рисунок 1 – Структурная схема ПРЭИ с утилизацией дымовых газов



Котёл-утилизатор необходим для нагрева воды за счёт теплоты уходящих дымовых газов и используемой в качестве промежуточного теплоносителя для отопления и горячего водоснабжения города (рисунок 2). Главная особенность котлов-утилизаторов заключается в том, что они не требуют дополнительного топлива и оборудования [3].

Преимущества котлов-утилизаторов:

- мгновенное начало выработки горячей воды;
- системы безопасности позволяют эксплуатировать котел-утилизатор, не влияя на турбину;
- возможность подключения нескольких установок к одному котлу-утилизатору;
- система утилизации позволяет использовать 85 % теплоты уходящих газов турбины и повысить общий КПД установки до 90 %.

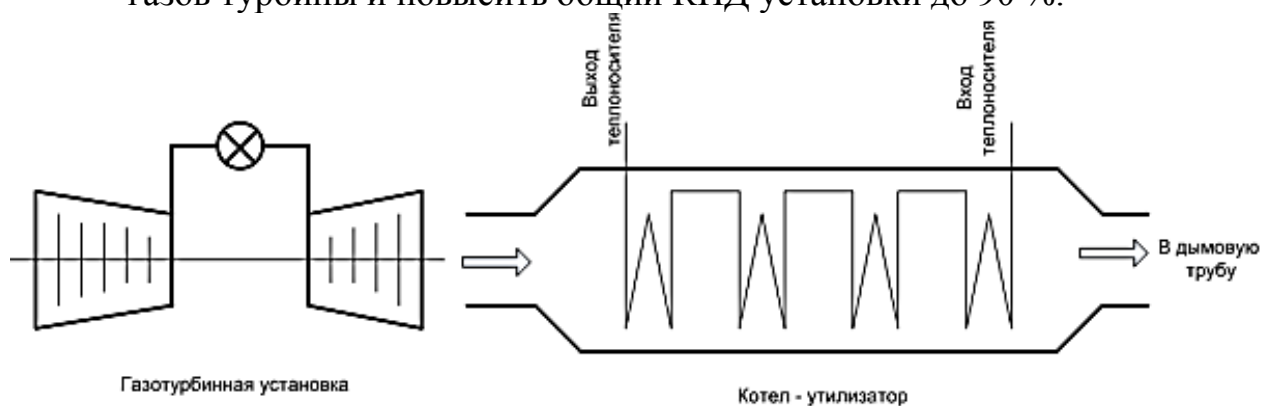


Рисунок 2 – Принципиальная схема ГТУ с котлом-утилизатором

Для теплоснабжения потребителя, после газовой турбины устанавливается экономайзер. Экономайзер – это теплообменный аппарат рекуперативного типа, в котором происходит передача тепла от дымовых газов к холодному теплоносителю. В утилизационной системе холодным теплоносителем является вода, которую после подогрева можно использовать в системе теплоснабжения города (рисунок 3). Это позволяет снизить расход топлива, улучшить энергетическую эффективность и снизить выбросы парниковых газов [4].

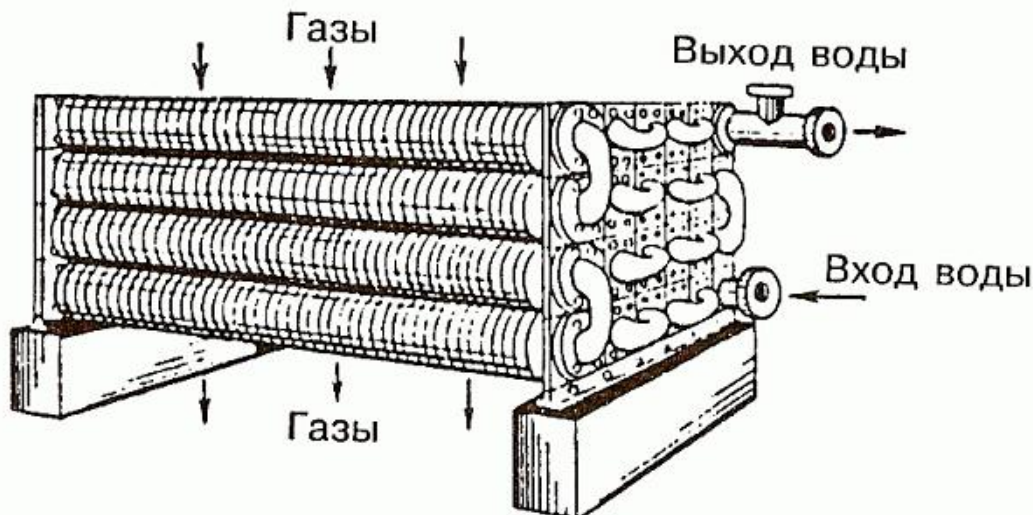


Рисунок 3 – Принцип работы экономайзера

## Заключение

Использование теплоты дымовых газов приводит к увеличению коэффициента использования теплоты, а также снижает выбросы в окружающую среду.

## Литература

1. Шулепов, Д. С. Пиково-резервный энергетический источник = Peak-backup energy source / Д. С. Шулепов ; науч. рук. Т. А. Петровская // Актуальные проблемы энергетики - 2022 [Электронный ресурс] : материалы студенческой научно-технической конференции / сост.: И. Н. Прокопеня, Т. А. Петровская ; редкол.: Е. Г. Пономаренко (пред.) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2022. – С. 120-122.
2. Инвестпроект Новополоцкой ТЭЦ [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.novaya.by/2021/03/03/investproekt-novopolockoj-tec/>. – Дата доступа: 24.10.2023
3. Котлы-утилизаторы [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://gskb.by/articles/kotly-utilizatory/>. – Дата доступа: 24.10.2023
4. Экономайзеры для утилизации тепла уходящих газов [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://1-engineer.ru/schitaem-ekonomiyu-ekonomajzery-dlya-utilizacii-tepla-uhodyashhih-gazov/>. – Дата доступа: 24.10.2023

УДК 662.612.2

**АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО  
ЦЕХА И ИХ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НА МТЗ  
ANALYSIS OF THERMAL SHOP POWER EQUIPMENT AND THEIR  
MAIN CHARACTERISTICS AT MTZ**

А.В. Жигар, О.В. Вичис

Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Zhigar, O. Vichys  
Supervisor – A. Bobich, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** краткое описание энергетического оборудования термического цеха МТЗ, их основных характеристик.*

***Abstract:** a brief description of the power equipment of the thermal power plant, their main characteristics.*

***Ключевые слова:** котлоагрегат, мощность, нагрузка, надежность, экономичность.*

***Keywords:** boiler unit, power, load, reliability, efficiency.*

### **Введение**

Минский тракторный завод (МТЗ) – это одно из крупнейших предприятий в Республике Беларусь по производству сельскохозяйственной техники и тракторов. Он был основан в 1946 году и с тех пор стал одним из лидеров в своей отрасли.

МТЗ производит широкий ассортимент тракторов, комбайнов, сеялок, плугов и другой сельскохозяйственной техники. Компания также занимается производством запасных частей и комплектующих для своей продукции.

Завод имеет несколько производственных площадок в Беларуси и за ее пределами, включая Россию, Украину, Казахстан и другие страны. МТЗ является одним из крупнейших экспортеров сельскохозяйственной техники в мире и поставляет свою продукцию во многие страны мира.

### **Основная часть**

Энергетическое оборудование термического цеха предназначено для предоставления тепла и энергии, необходимых для выполнения процессов нагрева и переработки различных веществ. Оно обеспечивает поддержание требуемой температуры, давления и других параметров внутри процессов.

Описание основных видов энергетического оборудования термического цеха:

- Котлы: это основное оборудование, используемое для генерации пара или горячей воды. Котлы могут работать на различных видах топлива, включая природный газ, дизельное топливо, уголь и древесные отходы. Они обеспечивают нагрев пара или воды до требуемой температуры и давления.

- Теплообменные устройства: они используются для передачи тепла между двумя различными субстанциями. Теплообменники могут быть пластинчатыми, трубчатыми или комбинированными. Они играют важную роль в обмене теплом между различными средами, такими как вода, пар, воздух или нефтепродукты.
- Горелки: они служат для сжигания топлива в котлах или других системах, где требуется высокая температура. Горелки могут быть различных типов, включая газовые, нефтяные или твердотопливные. Они обеспечивают эффективное сжигание топлива и получение необходимой мощности.

В термическом цехе обычно используются несколько разновидностей горелок, в зависимости от конкретной задачи и требований процесса. Вот некоторые из них:

- Газовая горелка: использует горение газообразного топлива (например, природного газа или пропана). Газовые горелки обычно имеют высокую эффективность и точность регулировки тепловой мощности. Они широко используются в различных термических процессах, таких как нагрев печей или котлов.
- Мазутная горелка: использует топливо на основе сырой нефти - мазут. Мазутные горелки обычно имеют низкую стоимость топлива, но требуют более сложной системы подачи и сгорания топлива. Они часто применяются в промышленных процессах, требующих высокой тепловой мощности.
- Электрическая горелка: использует электрическую энергию для нагрева рабочей среды. Электрические горелки могут быть более безопасными и экологически чистыми в использовании. Они обычно требуют меньше обслуживания, но могут быть менее эффективными по сравнению с газовыми или мазутными горелками.
- Насосы: они используются для передачи теплоносителя или других жидкостей через систему вентиляции или трубопроводы. Насосы создают давление, необходимое для перемещения жидкостей по системе. Они могут быть центробежными, винтовыми, поршневыми или других типов, в зависимости от требуемой производительности и условий работы.

Ключевые характеристики энергетического оборудования термического цеха включают мощность, эффективность, надежность, компактность, автоматизацию и безопасность. Выбор определенного оборудования зависит от требований процессов, экономических факторов, доступности топлива и других факторов. Энергетическое оборудование должно быть спроектировано и эксплуатировано с соблюдением соответствующих норм и правил безопасности.

### **Заключение**

В заключение, термический цех играет важную роль в промышленном производстве, обеспечивая термическую обработку различных материалов и изделий. Он является неотъемлемой частью многих отраслей, таких как

автомобильное производство, металлургия, электроника и другие. Термический цех обеспечивает оптимальные условия для термической обработки, включая нагрев, охлаждение и контроль параметров процесса. Благодаря своей высокой эффективности и точности, термический цех способствует увеличению производительности и качества продукции, а также снижению затрат на производство. Он также играет ключевую роль в обеспечении безопасности и соблюдении стандартов качества. Однако, для эффективной работы термического цеха необходимо учитывать регулярное обслуживание и обновление оборудования, а также квалификацию персонала. В целом, термический цех является важным звеном в промышленной сфере и играет ключевую роль в обеспечении эффективности и качества производства.

### Литература

1. МТЗ |История, основные характеристики. – [Электронный ресурс]. Режим доступа: Википедия: МТЗ/ – Дата доступа: 19.07.2023
2. Горелки| Описание и характеристика горелок. – [Электронный ресурс]. Режим доступа: Описание и характеристика горелок/ – Дата доступа: 19.07.2023 года.
3. Описание термического цеха – [Электронный ресурс]. Режим доступа: Термический цех/ – Дата доступа: 19.07.2023 года.

УДК 621.311

**ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ КЛАПАНОВ НЕПРЕРЫВНОЙ  
ПРОДУВКИ КОТЛОВ ТИПА DFG300  
BASIC PRINCIPLES OF OPERATION OF CONTINUOUS PURGE VALVES  
OF BOILERS OF TYPE DFG300**

О.С. Святогор

Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

O. Svyatogor

Supervisor – A. Bobich, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** В данной статье рассмотрены основные принципы работы клапанов непрерывной продувки котлов типа DFG300. Кратко описаны отличия клапанов типа DFG300A и DFG300M и правила безопасной эксплуатации данных клапанов.*

***Abstract:** This article discusses the basic principles of operation of continuous purge valves for boilers of the DFG300 type. The differences between valves of type DFG300A and DFG300M and the rules of safe operation of these valves are briefly described.*

***Ключевые слова:** Клапан, DFG300, DFG300A, DFG300M, безопасность.*

***Keywords:** Valve, DFG300, DFG300A, DFG300M, Safety.*

### **Введение**

Клапан DFG300 предназначен специально для удаления из котла шлама и солей (нижней продувки). Данный клапан поставляется с ручным приводом или приводом, приводимым в действие сжатым воздухом или водой под давлением. Клапан DFG300 с приводом дополнительно может оснащаться рычагом для ручного управления.

Клапаном управляет таймер продувки, обеспечивающий заданный цикл продувки с минимальными потерями тепла с продувочной водой.

DFG300 также оснащается механическим датчиком положения, который может быть соединен с таймером продувок или системой управления котлом.

### **Основная часть**

Рассмотрены клапаны нижней продувки типа DFG300A и DFG300M, которые используются на предприятии Филиал «Лепельский молочно – консервный комбинат» ОАО «Витебский мясокомбинат», г. Лепель.

Отличительной чертой между двумя типами клапанов, а именно DFG300A и DFG300M является то, что клапан нижней продувки котлов типа DFG300A приводится в действие за счет сжатого воздуха или воды, а клапан нижней продувки типа DFG300M приводится в действие за счет ручного привода, которым является рычаг или шаровой кран.

При эксплуатации данного оборудования существуют множество правил безопасности:

- Обеспечение свободного доступа к клапану для его обслуживания.



- Обеспечение достаточной освещенности в месте монтажа и обслуживания клапана.
- Соблюдение правил пожарной безопасности при проведении работ в пожарно – взрывоопасных зонах.
- Соблюдение температурного режима клапана.
- Использование специальной защитной одежды и защитных очков.
- Допуск к работам по обслуживанию и монтажу квалифицированного персонала. Перед работами персонал должен получить допуск к данному виду работ.

### **Заключение**

Рассмотрены клапаны нижней продувки типа DFG300. Данные клапаны являются вспомогательным оборудованием для теплогенерирующих источников, которые необходимы для поддержания высокого качества пара.

### **Литература**

1. Клапаны серии DFG300 для системы автоматической нижней продувки котла [Электронный ресурс]/ клапаны серии DFG300 для системы автоматической нижней продувки котла – Режим доступа: <https://oep.by/product/spirax-serie-dfg300/> – Дата доступа: 13.08.2023.

2. Клапаны DFG300A и DFG300M для системы автоматической нижней продувки котла [Электронный ресурс]/ Клапаны DFG300A и DFG300M для системы автоматической нижней продувки котла – Режим доступа: [https://stimexeng.com/download/SpiraxSarco/Котельное%20оборудование/Система%20нижней%20продувки%20котла/Техническая%20информация/p405\\_37\\_v2.pdf](https://stimexeng.com/download/SpiraxSarco/Котельное%20оборудование/Система%20нижней%20продувки%20котла/Техническая%20информация/p405_37_v2.pdf) – Дата доступа: 13.08.2023.

УДК 528.526.6

**ВОДОРОДНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ ТУРБОГЕНЕРАТОРА  
HYDROGEN COOLING OF THE TURBO GENERATOR**

Ф.Д. Башура

Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

F. Bashura

Supervisor – A. Bobich, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** Водородное охлаждение турбогенератора является одним из передовых методов охлаждения, применяемых в энергетической отрасли. В данном докладе рассматривается принцип работы системы водородного охлаждения, его преимущества по сравнению с традиционными охлаждающими средами, такими как вода или воздух, а также технические аспекты его применения. Исследования показывают, что водородное охлаждение способно обеспечить более эффективную работу турбогенератора, повышение его мощности и продлить срок его службы.

**Abstract:** Hydrogen cooling of a turbo generator is one of the advanced cooling methods used in the energy industry. This report examines the principle of operation of the hydrogen cooling system, its advantages over traditional cooling media such as water or air, as well as technical aspects of its application. Studies show that hydrogen cooling can provide more efficient operation of the turbo generator, increase its power and extend its service life.

**Ключевые слова:** водородное охлаждение, турбогенератор, энергетическая отрасль.

**Key words:** hydrogen cooling, turbo generator, energy industry.

**Введение**

Турбогенераторы играют важную роль в производстве электроэнергии и энергетической инфраструктуре. Один из главных вызовов, с которыми сталкиваются инженеры, – это обеспечение эффективного охлаждения турбогенераторов. Традиционные методы охлаждения, такие как охлаждение водой или воздухом, имеют свои ограничения, связанные с тепловыми характеристиками и плотностью охлаждающего потока. В этой связи, водородное охлаждение турбогенератора становится предметом все большего внимания исследователей и инженеров.

Водородное охлаждение основано на передаче тепла от горячих обмоток генератора к холодному водороду. Водород используется в качестве охлаждающей среды, которая циркулирует по системе, удаляя тепло и поддерживая оптимальную рабочую температуру обмоток. Применение водородного охлаждения позволяет повысить эффективность работы турбогенератора, поскольку водород обладает высокой теплопроводностью и низким тепловым сопротивлением. Это позволяет эффективно отводить тепло и

предотвращать перегрев обмоток, что ведет к повышению эффективности процесса преобразования энергии.

Одним из ключевых преимуществ водородного охлаждения является его способность снизить износ и повысить надежность турбогенератора. Водородная среда предотвращает коррозию и окисление обмоток, что способствует увеличению их срока службы. Кроме того, использование водорода позволяет снизить энергопотребление компрессоров, так как водород имеет низкую плотность и сопротивление гидродинамического трения. Это обеспечивает экономическую эффективность системы водородного охлаждения в долгосрочной перспективе.

В данном докладе мы рассмотрим принципы работы системы водородного охлаждения турбогенератора, его преимущества и технические аспекты применения. Обсуждение этих факторов поможет нам лучше понять потенциал водородного охлаждения и его влияние на повышение эффективности энергетической отрасли.

### **Основная часть**

Внутреннее охлаждение ротора турбогенератора является важным аспектом его работы и обеспечивает оптимальные условия эксплуатации. Для этой цели применяются различные методы и системы, обеспечивающие эффективное охлаждение и предотвращающие перегрев обмоток ротора.

Первый способ - это аксиальное охлаждение. В этом случае проводники обмотки ротора имеют корытообразную форму и образуют прямоугольные вентиляционные каналы. Охлаждающий газ поступает в эти каналы, эффективно охлаждая проводники. Второй способ - это охлаждение с использованием косых вентиляционных каналов. При этом охлаждающий газ забирается из зазора машины и проходит через косые вентиляционные каналы в пазу ротора, а затем выбрасывается обратно в зазор. Оба способа обеспечивают эффективное охлаждение проводников обмотки ротора, предотвращая их перегрев.

Для поддержания оптимальных условий охлаждения ротора необходимо контролировать давление охлаждающего газа в корпусе. Обычно давление поддерживается в пределах от 2 до 3 кгс/см<sup>2</sup> (0,2–0,3 МПа). Это важно для обеспечения надежной работы системы охлаждения и предотвращения возможных проблем, связанных с избытком или недостатком давления.

Важно отметить, что генераторы с внутренним водородным охлаждением не могут работать на воздушном охлаждении, так как охлаждение водородом является оптимальным для их работы. Поэтому при обнаружении утечек водорода, необходимо аварийно разгрузить и отключить генератор от сети.

Помимо водородного охлаждения, применяется также внутреннее жидкостное охлаждение генератора. Для этого используется дистиллированная вода или трансформаторное масло, которые обладают высокой теплоотводящей способностью. Вода или масло циркулируют по обмотке статора, эффективно охлаждая проводники. Дистиллированная вода обычно предпочтительнее, так как она обладает лучшими теплоотводящими свойствами, пожаробезопасностью и сохраняет обычную изоляцию обмоток.

Охлаждение ротора турбогенератора с использованием воды представляет некоторые технические сложности, особенно в части подачи воды к вращающемуся ротору. Однако современные разработки и оптимизация систем охлаждения позволяют эффективно решать эти проблемы, обеспечивая надежное функционирование генераторов различных мощностей.

### **Заключение**

Водородное охлаждение турбогенератора является перспективным направлением развития в области энергетической техники. Оно позволяет повысить эффективность работы турбогенератора, снизить износ и повысить надежность его работы. Однако необходимо учитывать технические и безопасные аспекты при проектировании и эксплуатации системы водородного охлаждения. Дальнейшие исследования и разработки в этой области будут способствовать развитию энергетической инфраструктуры и повышению эффективности производства электроэнергии.

### **Литература**

1. Электрооборудование тэс - системы охлаждения турбогенераторов [Электронный ресурс]/ – Режим доступа: <https://leg.co.ua/arhiv/generaciya/elektrooborudovanie-tes/Page-6.html?ysclid=lk8qtm2mch788341186> – Дата доступа: 13.08.2023
2. Системы охлаждения [Электронный ресурс]/ – Режим доступа: [https://studopedia.ru/5\\_76383\\_sistemi-ohlazhdeniya.html](https://studopedia.ru/5_76383_sistemi-ohlazhdeniya.html) – Дата доступа: 13.08.2023
3. Для чего водородное охлаждение генераторов [Электронный ресурс]/ – Режим доступа: <https://dmsht.ru/dlya-chego-vodorodnoe-ohlazhdenie-generatorov-2/?ysclid=lk8r3bmhen277501836> – Дата доступа: 13.08.2023
4. Системы охлаждения генераторов [Электронный ресурс]/ – Режим доступа: [https://gigavat.com/generator\\_sistemi\\_ohlagheniya.php?ysclid=lk8r2p8bff671834973](https://gigavat.com/generator_sistemi_ohlagheniya.php?ysclid=lk8r2p8bff671834973) – Дата доступа: 13.08.2023

УДК 662.612.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕЧНОГО БЫТОВОГО ТОПЛИВА В КАЧЕСТВЕ  
РЕЗЕРВНОГО НА РК «ЧЕРНИГОВСКАЯ»  
THE USE OF DOMESTIC STOVE FUEL AS A BACKUP  
FOR THE RK «CHERNIHOVSKAYA»

А.В. Липницкий

Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

А. Lipnitski

Supervisor – A. Bobich, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

*Аннотация:* целесообразность использования печного бытового топлива в качестве резервного на РК «Черниговская».

*Abstract:* the expediency of using domestic stove fuel as a backup for the RK «Chernihovskaya».

*Ключевые слова:* печное бытовое топливо, ПЧТ, мазут, топливное хозяйство.

*Keywords:* domestic stove fuel, DSF, fuel oil, fuel economy.

### Введение

Районная котельная «Черниговская» входит в состав Южного района тепловых сетей филиала «Гомельские тепловые сети» РУП «Гомельэнерго» и является источником тепловой энергии для нужд отопления и горячего водоснабжения части Новобелицкого района г. Гомеля.

Основной задачей РК «Черниговская» является надежное бесперебойное теплоснабжение подключенных потребителей Южного района тепловых сетей тепловой энергией необходимых параметров.

### Основная часть

Целью работы является анализ эффективности планируемых мероприятий по реконструкции топливного хозяйства с мазутного на печное бытовое топливоснабжение в качестве резервного.

На мазутном хозяйстве РК «Черниговская» установлено два металлических надземных резервуара емкостью 1000 м<sup>3</sup>, площадь наружной поверхности которого равна 685,2 м<sup>2</sup>. В резервуарах постоянно должен подогреваться мазут до температуры около 70°C.

В настоящее время мазутное хозяйство давно не эксплуатировалось, однако по требованиям надежности теплоснабжения на котельной необходимо иметь резервное топливо.

В целях экономии считается целесообразным переход на печное бытовое топливо (ПБТ) в качестве резервного.

Мазут в сравнении с ПБТ имеет большую зольность, что приводит к загрязнению оборудования и негативно сказывается на эффективности нагрева. Для хранения печного бытового топлива не требуется особых температурных и влажностных условий, однако необходимо обеспечение хорошей вентиляции. В отличие от мазута, печное бытовое топливо не требует подогрева при

нахождении в холодном и горячем резерве и при использовании. При закупке печного топлива в качестве резерва, при сжигании выделяется гораздо меньше серы, чем при сжигании мазута (содержание серы в мазуте М-100 2,5-3 % от общей массы при максимальном содержании серы в печном топливе 0,5 %). Кроме того, вязкость мазута при температуре 100 °С может достигать 50 мм<sup>2</sup>/с, при этом вязкость печного топлива не более 15 мм<sup>2</sup>/с при температуре 20 °С, что при сжигании приводит к меньшему расходу электроэнергии на перекачку топлива.

Также важным фактом является то, что, технологически, переход с мазута на печное бытовое топливо не влечет за собой существенного технического перевооружения существующего топливного хозяйства. Например, в качестве топливоиспользующего оборудования на котельной возможно задействовать два водогрейных котла ПТВМ-30М, которые уже имеются в мазутном хозяйстве данной котельной, что позволяет значительно сэкономить финансовые и технические ресурсы на переоснащение котельной при реконструкции топливного хозяйства. Кроме того, возможно использование существующих мазутных резервуаров для хранения ПБТ.

### **Заключение**

Смена резервного топлива с мазута на печное бытовое является чрезвычайно актуальным, как в рамках решения вопросов энергоэффективности производства тепловой энергии, так и в экономическом и экологическом аспектах функционирования топливного хозяйства.

### **Литература**

1. Морозова, О. Ю. Эффективность мероприятий по переводу источников теплоснабжения РУП "Гомельэнерго" с резервного топлива мазут на печное бытовое топливо: дис. на соиск. академ. степ. магистра техн. наук / О. Ю. Морозова; Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель, 2021. – 57 с.



УДК 553.981

ГАЗ-ЛУЧШЕЕ ПРИРОДНОЕ ТОПЛИВО. ОАО «ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ  
БЕЛАРУСЬ» ФИЛИАЛ ОРШАНСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ  
МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ  
GAS IS THE BEST NATURAL FUEL. «GAZPROM TRANSGAZ BELARUS  
«OJSC BRANCH ORSHA DEPARTMENT OF MAIN GAS PIPELINES

В.В. Панцырев

Научный руководитель – А. А. Бобич, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

U. Pantsyrau

Supervisor – A. Bobych, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

*Аннотация:* краткое описание использования, добычи и транспортировки газа.

*Abstract:* a brief description of the use, production and transportation of gas.

*Ключевые слова:* газ, добыча, экология, энергетика.

*Keywords:* gas, production, ecology, energy.

### Введение

В начале нам нужно определиться с понятием слова «топливо». Есть множество понятий данного слова, такие как:

- Топливо – вещество которое вступает в экзотермические реакции, которые выгодны в данный момент;
- Топливо – это вещество, способное выделять энергию в ходе определённых процессов, которую можно использовать для технических целей.

Но верно определение звучит так:

Топливо – вещество которое, вступая в реакцию с окислителем, выделяет теплоту, которую выгодно использовать для нужд.

Для основы классификации разделим топливо по агрегатному состоянию.

Так же в твердых топливах классификация будет вестись от наиболее долгих по времени процессах образования к наиболее коротким. В жидких топливах разделим нефть на продукты из неё происходящие. Сведем эти данные в схему, приведенную на рисунке 1.

В этом тезисе мы разберем причины, по которым газ – это из добываемых, так же рассмотрим процесс его добычи из недр Земли, процесс транспортировки по газопроводам и использование в энергетике.

### Основная часть

Природный газ – смесь углеводородов, преимущественно метана, с небольшими примесями других газов, добываемая из осадочных горных пород Земли. Газ с начала 20 века стал одним из самых важных природных ресурсов. Он широко используется в энергетике, как топливо для промышленности, а также на химических заводах, при переработке, как сырье. В местах залегания газ находится в газообразном состоянии в пустотах. Так же он находится в растворенном виде в добываемой нефти или природной воде.

Первым продуктом перегонки нефти при её нагреве до 20°С является газ. Газ – нельзя определить по запаху или по цвету. Поэтому при транспортировке, для его обнаружения, добавляют специальные вещества – которые придают крайне острый запах. Природный газ – наименее вреден из всех ископаемых ресурсов, поскольку выбросы CO<sub>2</sub> намного меньше на единицу получаемой энергии, а также он дает меньше выбросов по ядовитым веществам. Важным плюсом является то, что газ сжигается полностью, а избыток или недостаток воздуха можно определить по цвету пламени. Газ легче воздуха поэтому при утечках в закрытых помещениях он скапливается под потолком.

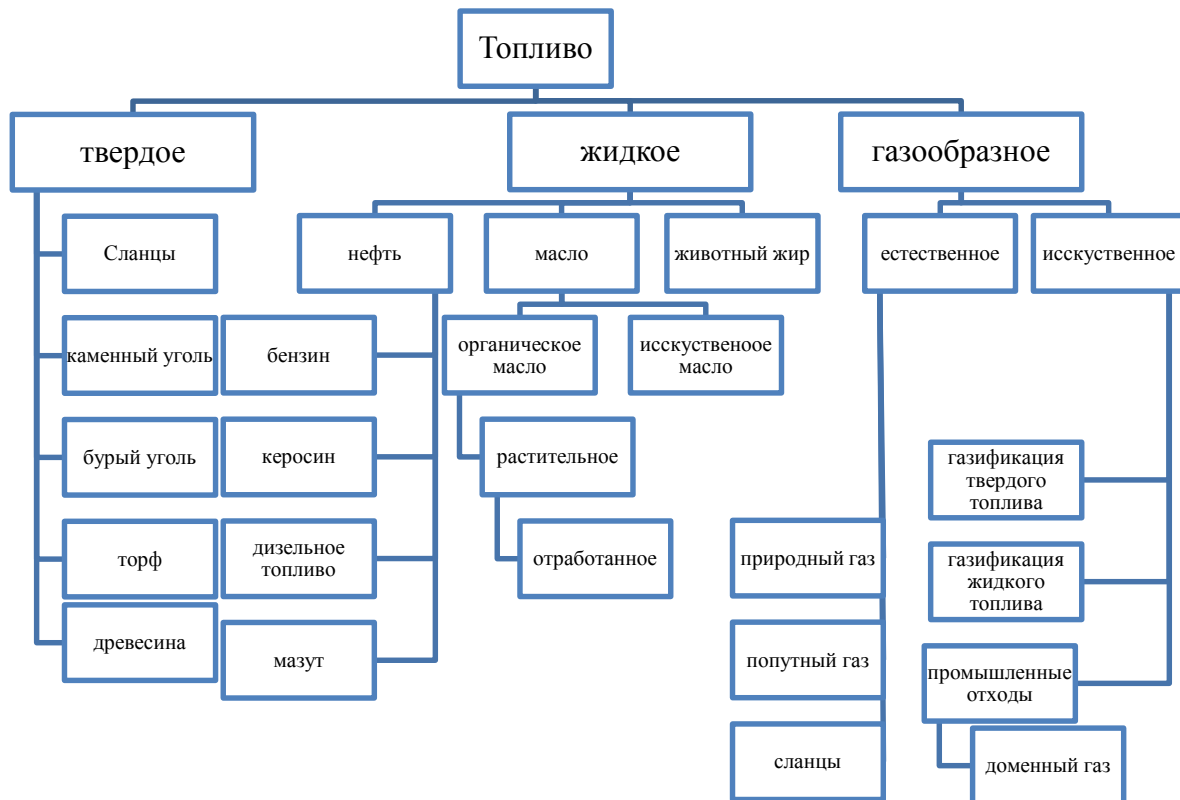


Рисунок 1 – Основные виды топлива

Газ образуется по причине разложения органики при очень высоких делениях и температурах. По этому их месторождения находятся ниже чем месторождения нефти. Самые крупные залежи находятся в России, США, странах Персидского залива, Канаде. Месторождения классифицируются по степени информативности (знания об их объемах):

- Категория А – более 70 %;
- Категория В – более 50%;
- Категория С1 – более 10 %;
- Категория С2 – понимание того, что запасы есть.

Газ находится обычно на глубине от тысячи метров до более чем шести тысяч метров. Залегаёт он в очень маленьких пустотах соединённых микроскопическими каналами. Добыча осуществляется с благодаря скважинам под действием разности давлений в месторождении и на поверхности Земли.

В основном от месторождения газа до его потребителя лежит очень большое расстояние. Для его транспортировки предусматриваются магистральные газопроводы. Перед отправкой газ проходит очистку через фильтры от загрязнителей. Так как газ движется по трубе, он теряет потенциальную энергию из-за трения о стенки, следовательно, снижается давление внутри трубы. Чтобы это компенсировать на определенных расстояниях устанавливают компрессорные станции, под действием которых повышается давление на магистральном трубопроводе.

Хоть газ и самый экологически чистый вид добываемого топлива, есть и свои недостатки. Одним из продуктов сжигания газа является углекислый газ и NOx. Что ведет к опасности парникового эффекта и как следствие повышения температуры на поверхности Земли. Для Республики Беларусь предельно допустимые концентрации составляют:

- Углекислого газа – менее 120 мг/кВт·ч;
- Оксидов азота – не более 170 мг/кВт·ч.

Но так как газ является чище то его применяют не только в промышленности и для домашнего пользования. А также выпускают или переоборудуют автомобили и городской транспорт для работы на газе.

### **Заключение**

На данный момент времени использование газа ведется в качестве топлива для многих задач. Для отопления, подогрева и перегрева воды, приготовления пищи. Газ используют как топливо на котельных, ТЭЦ и техники. Газ является одним из основных топлив в Республике Беларусь. Нельзя отрицать того что продукты его сгорания загрязняют атмосферу, но он чище чем остальные виды добываемого топлива. Его преимущества заключаются в:

- Полном его сжигание;
- Удобностью бесперебойной доставки;
- Экономические и энергетические показатели.

### **Литература**

1. Открытое акционерное общество «Газпром трансгаз Беларусь» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://belarus-tr.gazprom.ru>. – Дата доступа: 15.07.2023.
2. Газоснабжение: [учеб. пособие] / Н. В. Колпакова, А. С. Колпаков; [науч. ред. Н. П. Ширяева] ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 200 с.

УДК 528.526.6

**ЦИРКУЛЯЦИЯ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ  
COOLING SYSTEM CIRCULATION**

М. Грушко, В. Воропай

Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

M. Grushko. V.Voropai

Supervisor – A. Bobich, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** *Статья описывает циркуляцию систем отопления, разные ее виды, принципы, и рассматривает виды естественной и принудительной циркуляции.*

**Abstract:** *The article describes the circulation of heating systems, its different types, principles, and considers the types of natural and forced circulation.*

**Ключевые слова:** *циркуляция, естественная, принудительная, конвекция, теплоноситель.*

**Key words:** *circulation, natural, forced, convection, coolant.*

**Введение**

Циркуляция системы охлаждения – это важный процесс, используемый в различных системах для поддержания оптимальной температуры оборудования или системы в целом. Она обеспечивает постоянный поток охлаждающей среды, такой как вода или воздух, чтобы эффективно отводить накопленное тепло. Системы охлаждения применяются во множестве технических приложений, включая электроэнергетику, промышленность, автомобильное производство, компьютеры и электронику. Они играют ключевую роль в предотвращении перегрева и повышении надежности работы оборудования.

Циркуляция системы охлаждения обеспечивает эффективное охлаждение оборудования, предотвращает перегрев и способствует его надежной работе. Оптимальный дизайн и правильная эксплуатация системы охлаждения критически важны для обеспечения эффективности, долговечности и безопасности технических систем, особенно в условиях высокой тепловой нагрузки.

**Основная часть**

Принцип циркуляции системы охлаждения включает в себя следующие элементы:

- Охлаждающая среда: Это может быть вода, воздух, специальные охлаждающие жидкости или газы, которые принимают на себя тепло, нагреваемое оборудованием.
- Насосы или вентиляторы: Они отвечают за создание потока охлаждающей среды и поддержание его циркуляции через систему охлаждения. В случае жидкостных систем это насосы, а в случае воздушных систем - вентиляторы.
- Теплообменники: Это компоненты системы, которые обеспечивают

передачу тепла между оборудованием и охлаждающей средой. Они могут быть радиаторами, конденсаторами, испарителями или другими типами теплообменников.

- Трубопроводы или каналы: Они служат для направления потока охлаждающей среды от источника охлаждения к теплообменникам и обратно.

В системах отопления существуют различные виды циркуляции, которые определяют способ передачи тепла от источника тепла к отапливаемым помещениям. Ниже перечислены некоторые из основных видов циркуляции в системах отопления:

- Естественная циркуляция: В этом типе циркуляции тепло передается по принципу конвекции. Горячая вода или воздух, нагретые источником тепла, становятся легче и поднимаются вверх, а вместо них более холодная вода или воздух перемещаются к источнику тепла для повторного нагрева. Естественная циркуляция часто используется в системах отопления с гравитационным потоком, где отопительный прибор расположен выше отапливаемых помещений.
- Принудительная циркуляция: В этом случае для перемещения теплоносителя (обычно воды) по системе отопления используется циркуляционный насос. Насос подает теплоноситель от источника тепла к радиаторам или другим теплообменным устройствам, а затем возвращается обратно к источнику тепла для повторного нагрева. Принудительная циркуляция позволяет увеличить скорость перемещения
- Закрытая циркуляция: В этом виде циркуляции используется замкнутая система, в которой теплоноситель циркулирует по замкнутому контуру. Такие системы часто включают расширительный бак для компенсации изменений объема теплоносителя при изменении его температуры.
- Открытая циркуляция: В этом случае система отопления имеет открытую связь с водоснабжением. Теплоноситель циркулирует по системе и затем возвращается обратно в водоснабжение. Открытая циркуляция может использоваться, например, в системах отопления с горячей водой.

Вкратце рассмотрим естественную циркуляцию систем отопления ТЭС.

В тепловых электростанциях (ТЭС) естественная циркуляция может быть использована в системе отопления, особенно для отапливаемых помещений, расположенных ниже уровня источника тепла, такого как котельная или котловой отдел.

Принцип естественной циркуляции в системе отопления на примере ТЭС основан на разности плотностей и тепловых градиентах. Горячая вода, нагретая в котле ТЭС, становится легче и поднимается по вертикальным трубопроводам к радиаторам или теплообменным устройствам в отапливаемых помещениях. Затем охлажденная вода снова опускается вниз по возвращающим трубам к котельной для повторного нагрева.

Естественная циркуляция в таких системах осуществляется без использования циркуляционных насосов. Вместо этого, гидравлическое движение воды обусловлено разностью плотностей и тепловыми воздействиями.

Преимущества естественной циркуляции в системах отопления в ТЭС включают экономию энергии, поскольку не требуется электроэнергия для работы циркуляционных насосов. Кроме того, такие системы могут быть просты в конструкции и монтаже.

Однако, естественная циркуляция имеет свои ограничения. Она ограничена по высоте и не всегда может обеспечить достаточное равномерное распределение тепла во всех отапливаемых помещениях. Эффективность естественной циркуляции также зависит от факторов, таких как разность температур и геометрия системы.

В целом, естественная циркуляция в системах отопления в ТЭС может быть применена в определенных условиях, особенно для небольших систем отопления, где различие в высотах отапливаемых помещений и источника тепла не является существенным.

Приведем примеры принудительной циркуляции:

- Котельная: В котельной устанавливается котел или теплогенератор, который нагревает теплоноситель, обычно воду. Котел оснащен циркуляционным насосом, который подает горячую воду в систему отопления.
- Трубопроводы: Горячая вода поступает из котельной в трубопроводы, которые распределены по всему зданию или системе отопления. Трубопроводы обычно проходят через стены, полы или потолки, доставляя тепло в различные отапливаемые помещения.
- Радиаторы или теплообменники: В каждом отапливаемом помещении устанавливаются радиаторы или теплообменники. Циркуляционный насос обеспечивает движение горячего теплоносителя через радиаторы, где тепло передается в помещение, а затем охлажденный теплоноситель возвращается обратно в котельную для повторного нагрева.

### **Заключение**

Выбор оптимального типа циркуляции зависит от множества факторов, включая размер и конфигурацию системы отопления, требования к комфорту, энергоэффективности и долговечности. Важно учитывать также баланс между эффективностью и экономичностью системы. Правильная реализация циркуляции в системах отопления позволяет обеспечить эффективное отопление, равномерное распределение тепла, экономию энергии и повышение комфорта для пользователей системы. Проектирование и эксплуатация системы с учетом особенностей циркуляции являются важными аспектами для достижения эффективного и надежного функционирования системы отопления.



### Литература

1. Система отопления с естественной циркуляцией [Электронный ресурс] / – Режим доступа: [https://teh-dom.ru/sistema\\_otopleniya\\_s\\_estestvennoy\\_cirkulyaciey](https://teh-dom.ru/sistema_otopleniya_s_estestvennoy_cirkulyaciey) – Дата доступа: 17.07.2023.
2. Система отопления с принудительной циркуляцией [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ogint.ru/forced-circulation/> – Дата доступа: 17.07.2023.

УДК 621.311

**ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ МИКРОВОЛНАМИ ДЛЯ  
ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦЕЛЛЮЛОЗНОГО  
ПРОИЗВОДСТВА****TECHNOLOGY OF WOOD PROCESSING BY MICROWAVES TO  
INCREASE THE EFFICIENCY OF PULP PRODUCTION**

А.С. Шенец

Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Shenets

Supervisor – A. Bobich, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** В данной статье рассмотрен принцип обработки древесины микроволнами. Описаны преимущества использования данного метода обработки, его технология и применение.*

***Abstract:** This article discusses the principle of wood processing with microwaves. The advantages of using this processing method, its technology and application are described.*

***Ключевые слова:** микроволны, древесина, целлюлозное производство, повышение эффективности.*

***Keywords:** microwaves, wood, pulp production, efficiency improvement.*

**Введение**

Данный метод заключается в обработке древесины микроволнами, которая используется для материала в виде щепы, отдельных кусков или бревен на действующих предприятиях по производству целлюлозы.

Улучшения, которые требует целлюлозное производство: уменьшение расхода химических веществ; повышение производительности; сокращение расходуемой энергии; увеличение выхода и улучшение качества целлюлозы; уменьшение ущерба для окружающей среды.

**Основная часть**

Исследования показывают, что микроволны могут использоваться для изменения микроструктуры древесины для повышения проницаемости материала.

Под действием микроволн в древесине создаются микро- и макропоры с сохранением прочности волокон. При этом увеличивается проницаемость древесины в нескольких тысяч раз в сравнении с натуральными свойствами древесины, что позволяет жидкости быстро проникать в структуру (рисунок 1).

Интенсивное воздействие микроволн на влажную древесину создаёт высокое давления пара в клетках древесины. Под влиянием высокого внутреннего давления мембраны пор клеток, мембраны сосудов и слабые лучевые клетки разрываются, образуя каналы для распределения жидкостей и газов. Улучшение проницаемости древесины в несколько тысяч раз в

радиальном и продольном направлении гарантировано для пород, которые до обработки являлись непроницаемыми для жидкостей и газов.

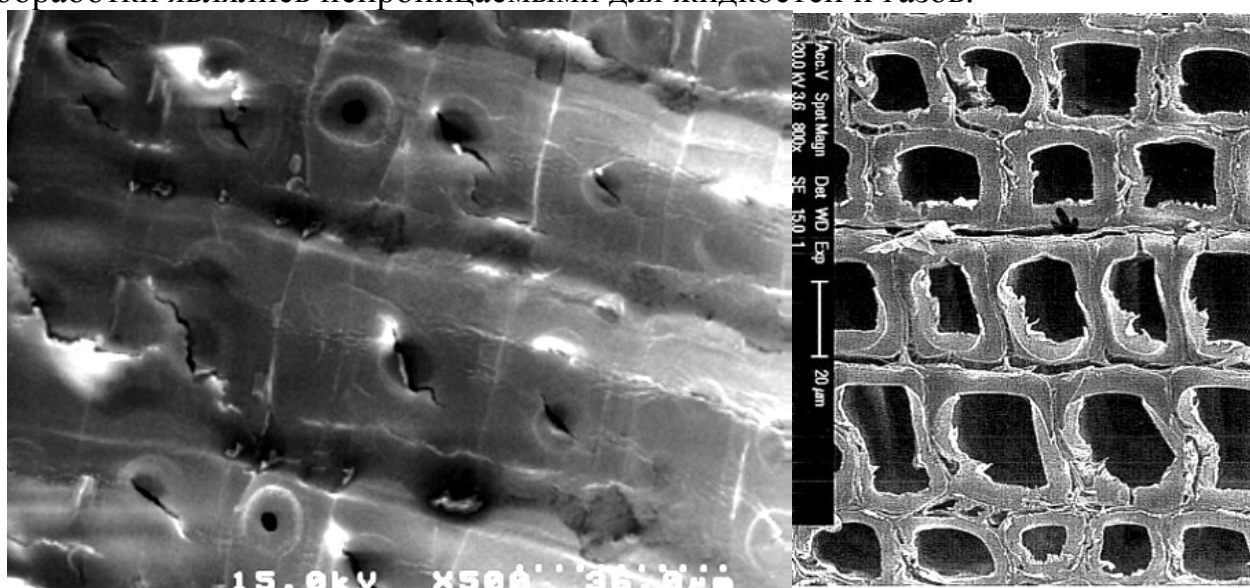


Рисунок 1 – Изменение структуры древесины после воздействия микроволн

Подразумевается, что оборудование по микроволновой обработке будет внедряться в существующие технологические линии предприятий по производству целлюлозной продукции. Это потребует незначительного изменения существующих процессов и небольших площадей для установки микроволнового оборудования.

Микроволновое технологическое оборудование для преобразования древесины было разработано и испытано в университете Мельбурна.

Предлагаемая схема технологического процесса представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Схема технологического процесса

Любая установка для обработки древесины микроволнами содержит следующие 4 подсистемы:

- Подсистема микроволнового оборудования (заключается в эффективной обработке материала микроволнами, включает генераторы и специальные аппликаторы для обработки древесины).
- Подсистема подачи материала (использует механизмы для движения материала через аппликатор с необходимой скоростью).
- Аэродинамическая подсистема (применяется для удаления паров, воды и частиц древесины из аппликатора, предотвращает конденсацию пара на внутренних поверхностях аппликатора).
- Операционная и контролирующая подсистема (осуществляет

генерирование команд для других подсистем, обеспечивая эффективный контроль процесса обработки древесины).

Расход химических веществ в ходе производства целлюлозы уменьшается на 25-45% за счет эффективного использования специальных химикатов для варки. Следовательно, исчезает потребность переработки химических веществ, что позволяет сократить затраты энергии и повысить эффективность процесса восстановления химикатов. Кроме того, снижается требуемый объем вспомогательных химикатов. Сокращение количества химических веществ создает сокращение величины химических отходов, что благоприятно сказывается для защиты окружающей среды.

Улучшение проницаемости древесины позволяет обеспечивать более быстрый контакт между химическим веществом и структурой древесины, при этом повышая скорость реакции. В результате увеличения скорости варки происходит уменьшение времени обработки в варочном котле, что способствует повышению эффективности производства целлюлозы с сохранением характеристик специального оборудования и целлюлозы.

В конечном итоге, из-за повышения скорости реакции варки для древесины, подверженной воздействию микроволн, происходит снижение расхода требуемого количества энергии. Для отбеливаемой целлюлозы обеспечивается уменьшение расхода энергии на 32-50%. Сокращение необходимости переработки химических веществ позволяет экономить энергию до 33%.

### **Заключение**

Использование метода обработки древесины микроволнами гарантирует сокращение расхода химических веществ, энергии и сырья для производства одной тонны целлюлозы. Поэтому происходит значительное снижение уровня загрязнения окружающей среды.

Внедрение данной технологии на существующих предприятиях по производству целлюлозы наиболее просто осуществимо, так как в этом деле введение в действие требует небольшого объема капиталовложений и при этом обеспечивает наглядные результаты.

Применение микроволновой обработки древесины для новых предприятий может послужить гарантией для революционной модернизации целлюлозной промышленности, вплоть до глубокого упрощения варочного оборудования.

### **Литература**

1. Торговников, Г., Винден, П. Технология микроволновой модификации древесины и ее применение//Журнал «Лесные товары», 2010. Том 60, № 2. С. 173-182.
2. Способ микроволновой обработки древесины [Электронный ресурс]/ способ микроволновой обработки древесины. – Режим доступа: <https://findpatent.ru/patent/228/2285875.html>. – Дата доступа: 18.07.2023.

УДК 620.92.002.68

**АБТН В БЕЛАРУСИ – ОБЩИЕ ДАННЫЕ**  
**ABSORPTION HEAT PUMPS IN BELARUS – GENERAL DATE**

А.В. Шунькевич, А.И. Тишкова

Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Shunkevich, A. Tishkova

Supervisor – A. Bobich, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

*Аннотация:* в данной статье рассматривается принципиальная схема АБТН, оценка её работы, достоинств, устройство и места эксплуатации.

*Abstract:* this article discusses the circuit diagram of ABTN, an assessment of its operation, advantages, design and places of operation

*Ключевые слова:* АБТН, отопительный коэффициент, чиллер, теплообменник, диаграмма Сэнки.

*Keywords:* ABTN, heating coefficient, chiller, heat exchangers, diagram Senkey.

**Введение**

В настоящее время на территории Республики Беларусь есть большой потенциал для развития тепловой эффективности на предприятиях, поскольку около 30 % сбросных побочных тепловых потоков имеют температуру до 50 °С, что, во всех случаях, достаточно большая величина. Эти низкотемпературные потоки можно эффективно использовать при установке на предприятии АБТН, которые способны подогревать сетевую воду и технологические потоки до 85 °С для города и промышленных предприятий соответственно.

Абсорбционный бромисто-литиевый тепловой насос (АБТН) это устройство непрерывного действия, предназначенное для передачи тепловой энергии от источника с низкой температурой к источнику с более высокой температурой. Подводимой энергией привода для АБТН является тепловая энергия.

**Основная часть**

АБТН предназначены для утилизации низкотемпературных потоков с температурой (16-55°С) и получения тепловой энергии для нагрева сетевой воды и иных потоков, например, в условиях теплогенерирующих источников систем централизованного теплоснабжения до температур 70 – 85 °С потока сетевой воды, что получает широкое распространение в разных странах, в том числе странах Восточной Европы.

В Беларуси АБТН установлен на ОАО «Светлогорское химволокно» кроме того, их полные аналоги, которыми являются абсорбционные бромисто-литиевые холодильные машины (АБХМ), в стране успешно используются более десяти лет в количестве нескольких десятков на многих предприятиях, например, ОАО «Гроднохимволокно», РУП ПО «Беларуснефть», торговый центр «Корона» и др., на рисунке 1 приведём общий вид чиллера АБТН в составе теплонасосной установки.





Рисунок 1 – Общий вид чиллера АБТН в составе теплонасосной установки

Для оценки работы АБТН применяется энергетический КПД, получивший название отопительного коэффициента ( $\mu$ ) или, в западном варианте, коэффициента преобразования ( $COP_h$ ), рисунок 2.

Величина отопительного коэффициента зависят от комплекса факторов, из которых определяющими являются:

- Соотношение температур утилизируемого и нагреваемого потоков: чем они ближе, тем выше показатели;
- Температурный уровень потока теплоты, используемого для привода работы данной ТНУ.

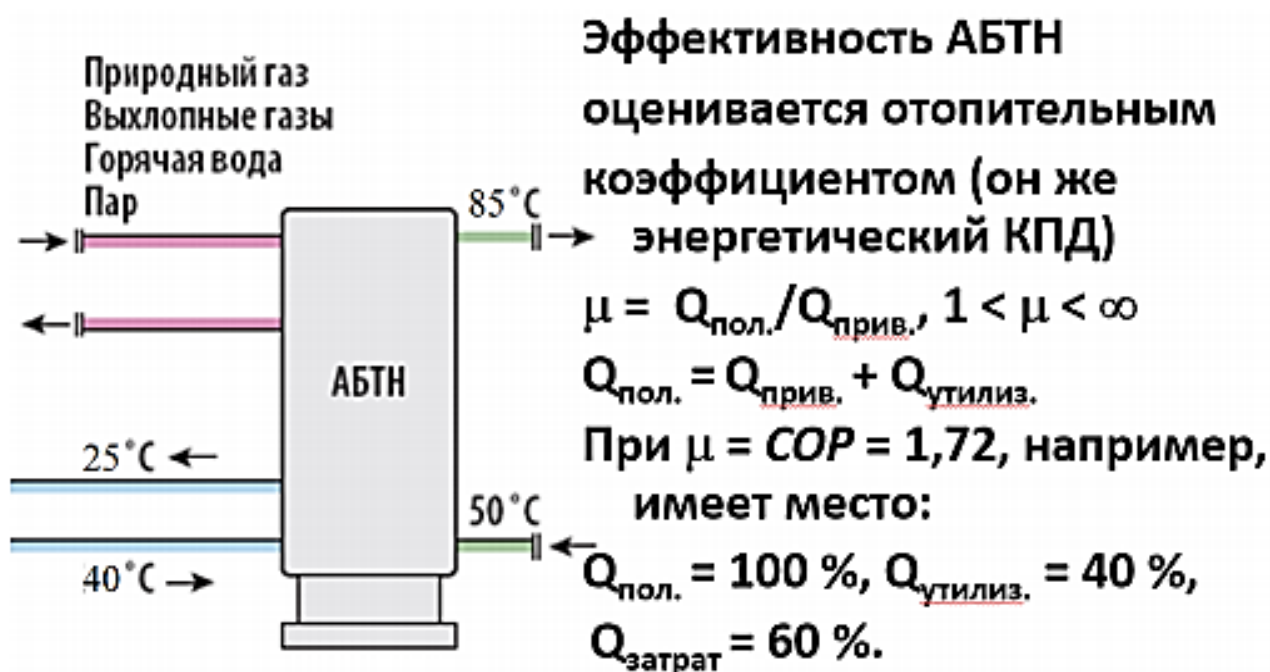


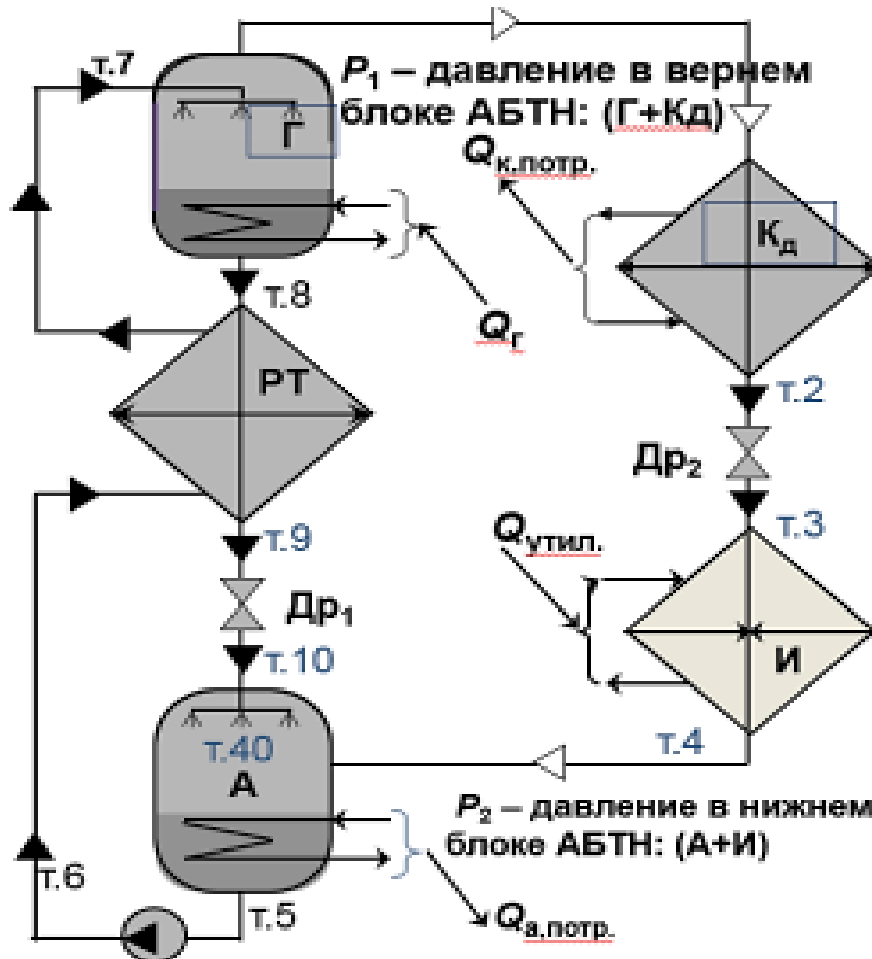
Рисунок 2 – Энергетические показатели работы АБТН

На данном рисунке рассмотрен случай, когда на привод АБТН будет использоваться влажный пар котельной давлением 6,5 – 8 ати, будет иметь место показатели, приведенные на рисунке 2.



АБТН поставляется в виде чиллера полной заводской сборки (рисунок 1), к которому на месте установки подводятся трубопроводы: пара или сетевой воды соответствующего температурного уровня для привода ТНУ; сетевой воды, нагреваемой в ТНУ; утилизируемого потока среды.

Чиллер объединяет четыре теплообменника, расположенных в двух корпусах: в одном собраны трубные пучки кипятильника и конденсатора, а другом – испарителя и абсорбера, на рисунке 3 приведена принципиальная схема АБТН.



*Г* – генератор (кипятильник); *Кд* – конденсатор; *И* – испаритель; *А* – абсорбер;  
*РТ* – регенеративный теплообменник; *Др* – дроссель; *Н* – насос.

Рисунок 3 – Принципиальная схема АБТН

Давление в первом корпусе составляет до 150 кПа (1,5 ата), во втором корпусе – 0,7 кПа. Теплота, подводимая к раствору в генераторе от греющего теплоносителя  $Q_g$ ; теплота, отводимая в испарителе от утилизируемого источника в АБТН  $Q_{утил}$ ; теплота, подводимая к потоку сетевой воды соответственно в абсорбере и конденсаторе  $Q_{a,потр}$ ,  $Q_{k,потр}$ . В состав АБТН может входить теплообменник, осуществляющий регенеративный теплообмен между потоками, пересекающимися из одного корпуса в другой. При паровом приводе АБТН имеется теплообменник охлаждения конденсата, поступающего из генератора.

Очевидно, что в целом АБТН, изображённый на рисунке 4, представлен сугубо теплообменным оборудованием, небольшим насосом перекачки раствора

из абсорбера в кипятильник, контроллером полного автоматического управления работой, небольшим вакуумным насосом, поставляемым комплектно и используемым периодически (раз в неделю) для поддержания вакуума в корпусе.

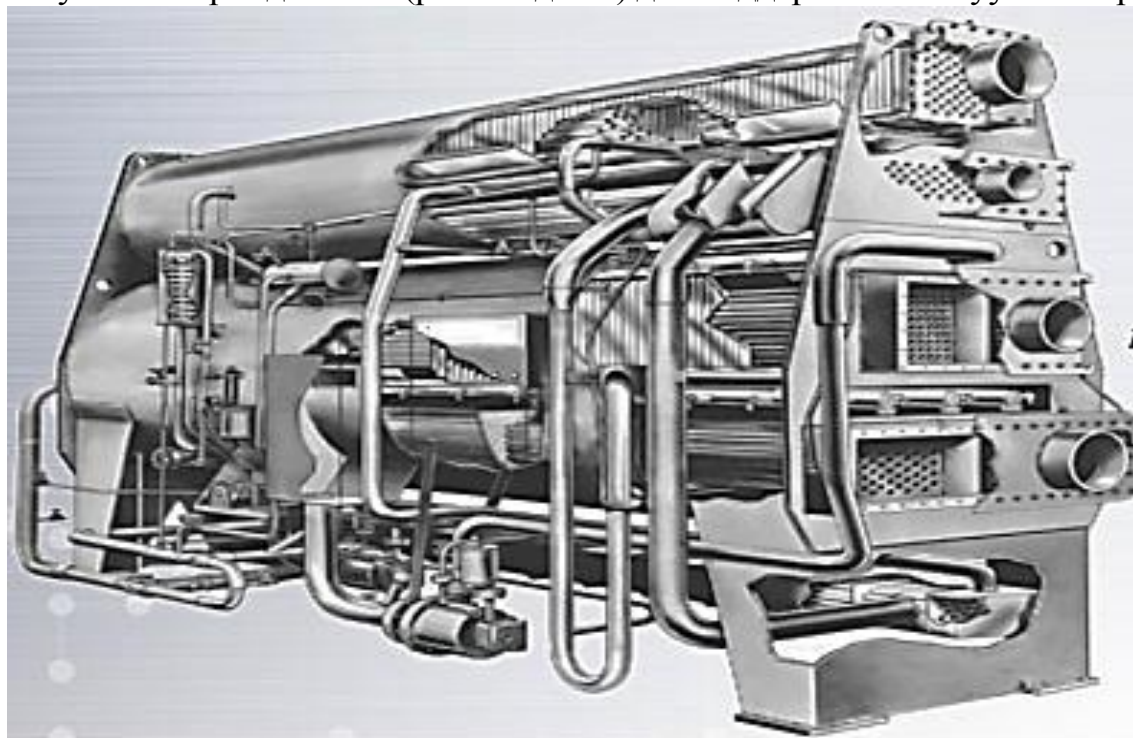


Рисунок 4 – Общий вид АБТН с разрезами по корпусу

На рисунке 5 в виде полосовой диаграммы Сэнки приведен энергобаланс абсорбционных бромисто-литиевых тепловых насосов, а поскольку и поток привода, и поток потребителя ТНУ представлены потоком теплоты, рассматривать в котлах преобразование первичной энергии в тепловую не требуется.

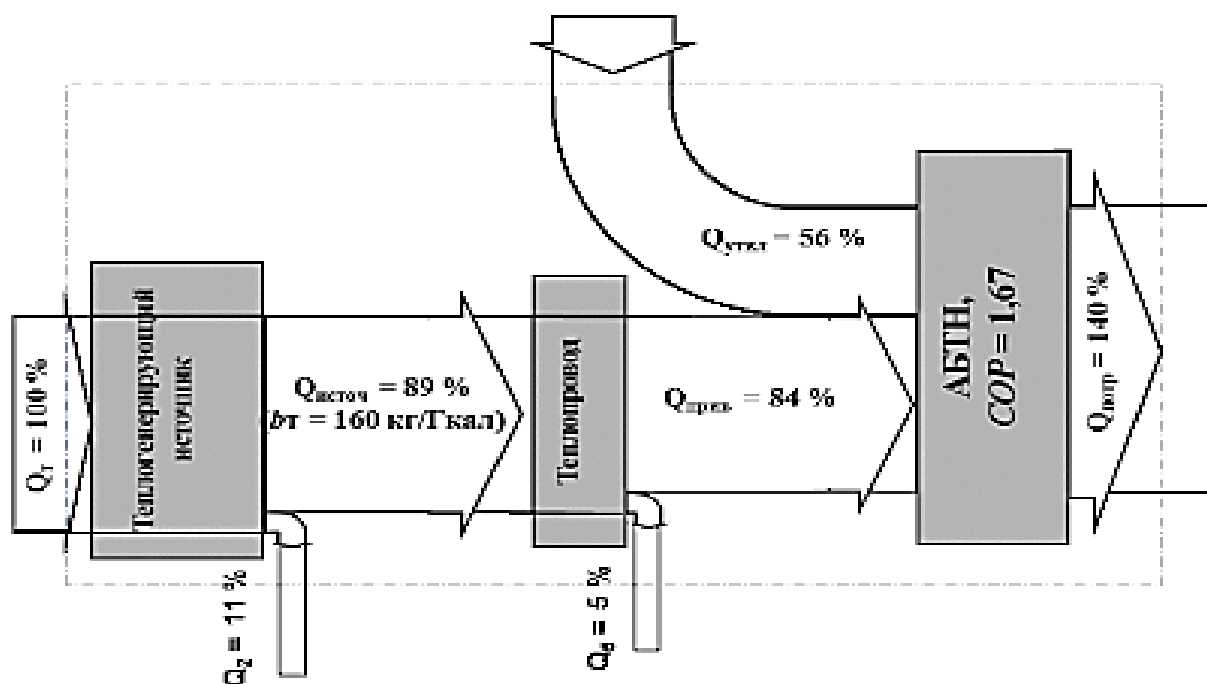


Рисунок 5 – Преобразование потоков тепловой энергии в абсорбционных бромисто-литиевых тепловых насосах

Их приведенного энергобаланса теплоты следует, что во всех случаях, независимо от характеристик теплогенерирующего источника, той же отопительно-производственной котельной, отпускающей пар на привод АБТН и сетевую воду на теплоснабжение, будет иметь место экономия первичного энергоресурса, определяемая отопительным коэффициентом, который для АБТН в условиях предприятия имеет величину, принадлежащую диапазону 1,7 – 2,2.

Обратимся к рассмотрению более важного для предприятий финансового благополучия, связанного с использованием конкретной установки, рассмотрим соотношение затрат ( $D_{зтр}$ ) на покупку теплоты требуемой для привода АБТН, и выручки от продажи бестопливного потока теплоты ( $D_{прд}$ )

$$\frac{D_{прд}}{D_{зтр}} = \frac{Q_{зтр} \cdot COP_{hp} \cdot T_{тэ}}{Q_{зтр} \cdot T_{тэ}} = COP_{hp}, \quad (1)$$

где  $Q_{зтр}$  – потребление тепловой энергии на привод АБТН, кВт·ч (или Гкал);

$COP_{hp}$  – отопительный коэффициент АБТН, доли;

$T_{тэ}$  – тариф на покупку и продажу тепловой энергии от ТНУ, руб./кВт·ч (или руб./Гкал).

Очевидно, что соотношение выручки и затрат, исходя из данной формулы всегда больше единицы, поскольку отопительный коэффициент ТНУ всегда больше единицы и в данном случае оценивается величиной 1,5 – 2,2.

Абсорбционные бромисто-литиевые тепловые насосы характеризует:

- Малая шумность в работе;
- Возможность изменения нагрузки в диапазоне 20 – 110%;
- Отсутствие динамических нагрузок;
- Отсутствие потери ресурса при остановках, пусках, изменениях режима работы;
- Сохранение энергетических характеристик на различных нагрузках.

### Заключение

Энергосбережение, потенциал которого для теплотехнических среднетемпературных процессов оценивается до 40%. И эта величина значима для снижения энергетической составляющей себестоимости выпускаемой продукции на предприятии, поскольку снижение себестоимости продукции, необходимо для обеспечения конкурентоспособности на внешних и внутренних рынках. При установке на предприятии АБТН можно значительно улучшить энергосбережение, поскольку окупаемость инвестиций по утилизации тепловых низкотемпературных потоков отвечает современным требованиям, простой срок окупаемости на уровне 4-х лет, но из-за большой суммы инвестиции, в первом приближении составляет до 2-х млрд USD, не все предприятия готовы к установке АБТН.

### Литература

1. СТБ 1770-2009 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ Основные термины и определения. – Минск: Госстандарт. – 2009. – 12 с.

2. Романюк, В.Н. Развитие энергосбережения на котельных за счёт утилизации низкотемпературных тепловых потоков охлаждения уходящих дымовых газов / В.Н. Романюк, А.А. Бобич // Энергоэффективность. – 2020. – №8. – С. 26-31.

3. Хрусталеv, Б.М. Системы производства и распределения энергоносителей промышленных предприятий: учеб.: в 2 ч. / Б.М. Хрусталеv, В.А. Седнин, В.Д. Акельев, В.Н Романюк и др.; под общ. ред. проф. А.П. Несенчука. – Минск: УП «Технопринт», 2005. – Ч. 1. – 544 с.

УДК 621.311

**ПРИНЦИП РАБОТЫ РАЗЪЕДИНИТЕЛЕЙ ТИПА РВ И РВЗ  
THE PRINCIPLE OF OPERATION OF DISCONNECTORS  
OF THE RV AND RVZ TYPE**

О.И. Новогран

Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

O. Novogran

Supervisor – A. Bobich, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

*Аннотация:* В данной статье рассмотрены основные принципы работы разъединителей и описаны их отличия.

*Abstract:* This article discusses the basic principles of disconnectors and describes their differences.

*Ключевые слова:* Разъединитель, РВ, РВЗ.

*Keywords:* Disconnector, RV, RVZ.

**Введение**

Разъединитель является коммутационным аппаратом, предназначенным для включения либо отключения электрической сети без либо с незначительной нагрузкой (до 15А). Разъединители типа РВЗ позволяют заземлять отключённый участок.

**Основная часть**

Рассмотрены разъединители типа РВ и РВЗ, которые используются на предприятии «Полоцкие электрические сети», «Лепельский РЭС», РУП «Витебскэнерго», г. Лепель.

Разъединитель представляет собой три полюса, расположенных на одной стальной раме. У каждого полюса имеется один подвижный и один неподвижный контакт. Подвижные контакты каждого из трех полюсов соединены через фарфоровые тяговые изоляторы с общим валом, который в свою очередь соединен с рычагом привода аппарата. То есть при оперировании приводом коммутационного аппарата одновременно включаются или отключаются (в зависимости от выполняемой операции) три ножа.

Главное отличие разъединителей в том, что РВЗ имеет заземляющие ножи, в то время как РВ их не имеет.

Разъединители не имеют дугогасительного устройства, поэтому отключать ими токи нагрузки запрещается. Для отключения цепи под нагрузкой используются выключатели различных типов.

Для предотвращения отключения разъединителя при включенном выключателе предусмотрены механические блокировки. Также для предотвращения ошибочного или самопроизвольного включения или отключения коммутационного аппарата предусмотрены фиксаторы и механические замки.

### Заключение

Рассмотренные коммутационные аппараты, в виде разъединителей типа РВ и РВЗ, являются вспомогательным оборудованием и позволяют разрывать электрическую цепь.

### Литература

1. Разъединители внутренней установки РВ, РВФ, РВЗ, РВФЗ, РВО, РЛВОМ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.razrad.ru/cat/razediniteli-rv-rvf-rvz-rvfz-rvo-rlvom/?ysclid=lmemubhc33172546567> – Дата доступа: 17.08.2023.
2. Разъединители внутренней установки типа РВ и РВЗ [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://metz.by/wp-content/uploads/2018/12/rv\\_i\\_rvz-2.pdf?ysclid=lmemqkdkwt40475265](https://metz.by/wp-content/uploads/2018/12/rv_i_rvz-2.pdf?ysclid=lmemqkdkwt40475265) – Дата доступа: 17.08.2023.



УДК 621.316.542

**АНАЛИЗ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ  
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПОДСТАНЦИИ «МИТЬКИ» ФИЛИАЛ  
«МОЗЫРСКИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ»  
ANALYSIS AND TECHNICAL CHARACTERISTICS OF AC SWITCHES OF  
THE SUBSTATION "MITKI"  
BRANCH "MOZYR ELECTRIC NETWORKS"**

А.С. Семененко

Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Semenenko

Supervisor – A. Bobych, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** краткое описание выключателей переменного тока находящихся на подстанции, их основные характеристики и анализ актуальности их применения.*

***Abstract:** a brief description of the AC circuit breakers located at the substation, their main characteristics and an analysis of the relevance of their application.*

***Ключевые слова:** выключатели, номинальное напряжение, электрические цепи, ток.*

***Keywords:** switches, rated voltage, electrical circuits, current.*

### **Введение**

Выключатели, называемые коммутационными устройствами, устанавливаются на подстанциях для быстрого отключения и включения высоковольтных цепей в случае возникновения токов короткого замыкания или перегрузок, которые могут возникнуть в аварийной ситуации, а также при ненормальной работе энергосистемы. Их устанавливают в место разрыва фазного провода. Неисправность работы выключателя в случае аварии может привести к большим повреждениям и значительным материальным потерям. Поэтому главным требованием к работе выключателя является их функционирование в рабочем режиме. Отключение коммутационным устройством нагрузки не должно сопровождаться перенапряжениями, опасными для изоляции элементов системы.

В электрических установках применяются такие виды выключателей как:

- элегазовые коммутационные устройства: тип выключателей, в которых контакты размыкаются и замыкаются в элегазе;
- вакуумные коммутационные устройства: тип выключателей, контакты которых размыкаются и замыкаются в оболочке с высоким вакуумом;
- масляные коммутационные устройства: тип выключателей, в которых масло гасит дугу;
- воздушные коммутационные устройства: тип выключателей, в которых дуга образуется в потоке воздуха высокого давления.

### **Основная часть**

На подстанции «Митьки» относящейся к филиалу «Мозырские электрические сети» установлена 14 выключателей четырех типов: ММО-110, С-35М, ВК-10, СВМ-10.

Масляные выключатели были первыми выключателями для отключения больших токов. Однако в настоящее время они становятся все менее актуальными из-за ряда недостатков. Основное свойство выключателя - обеспечения безопасности в режиме эксплуатации, а дугогасительной средой в данных выключателях является масло, что и служит их основным недостатком. Уровень и качество масла нуждается в постоянном контроле, что является причиной высокой стоимости обслуживания, а уж о пожаробезопасности масла даже речи быть не может. Поэтому на смену масляным выключателям начали приходить элегазовые и вакуумные. Первые используются в сетях с высоким напряжением (110 кВ и выше), это связано с высокой электрической прочностью и теплопроводностью элегаза. В сетях среднего напряжения (6-35 кВ) используются вакуумные выключатели.

Важными характеристиками работы коммутационных аппаратов являются гарантия и коммутационный ресурс. В среднем гарантийный срок их работы 20-25 лет, после чего оборудование подлежит замене. Каждый выключатель рассчитан на определенное количество отключений, которые зависят от значения коммутируемых токов.

Дугогасящая камера с контактной системой вакуумного коммутационного аппарата не обслуживается, поэтому по истечению коммутационного ресурса он подлежит замене. Капитальный ремонт элегазовых выключателей производится по исчерпанию ресурса, при этом оценивается состояние выключателя и устанавливается возможность его дальнейшей эксплуатации. Масляные аппараты имеют более короткий межремонтный срок.

Зачастую их капитальный ремонт нужно проводить после 7-10 отключений токов короткого замыкания. Это связано прежде всего с тем, что масло, являющееся дугогасящей средой, теряет свои изоляционные, а также дугогасящие свойства и подлежит замене.

### **Заключение**

Ознакомившись более детально с коммутационными аппаратами, а также проанализировав их работу и надежность, можно сделать вывод, что масляные выключатели в настоящее время устарели и на их смену приходят элегазовые и вакуумные, которые обладают безопасностью при эксплуатации, а также большой надежностью.

### **Литература**

1. Вакуумные выключатели 35кВ «Самараэлектроцит» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.electroshield.ru/catalog/vakuumnie-vykluchteki/vvuseshch-35>. – Дата доступа: 25.06.2023.
2. ГОСТ 687-78 «Выключатели переменного тока на напряжение свыше 1000 В. Общие технические условия»
3. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов. 2-е изд., перераб. – М.: Энергия, 1980. – 600 с.

УДК 621.182

**УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ ЖАРОТРУБНОГО КОТЛА  
THE DEVICE AND THE PRINCIPLE OF OPERATION  
OF A FIRE-TUBE BOILER**

А.А. Телеш

Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Telesh

Supervisor – A. Bobich, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** краткое описание конструкции жаротрубного котла, принцип работы и область его применения.*

***Abstract:** a brief description of the design of the fire-tube boiler, the principle of operation and the scope of its application.*

***Ключевые слова:** топливо, котел, жаротрубный котел, теплообменник, вода, пар.*

***Keywords:** fuel, boiler, heat-tube boiler, heat exchanger, water, steam.*

**Введение**

С целью получения горячей воды применяются особые конструкции, которые в результате сжигания топлива вырабатывают теплоту - водогрейные котлы.

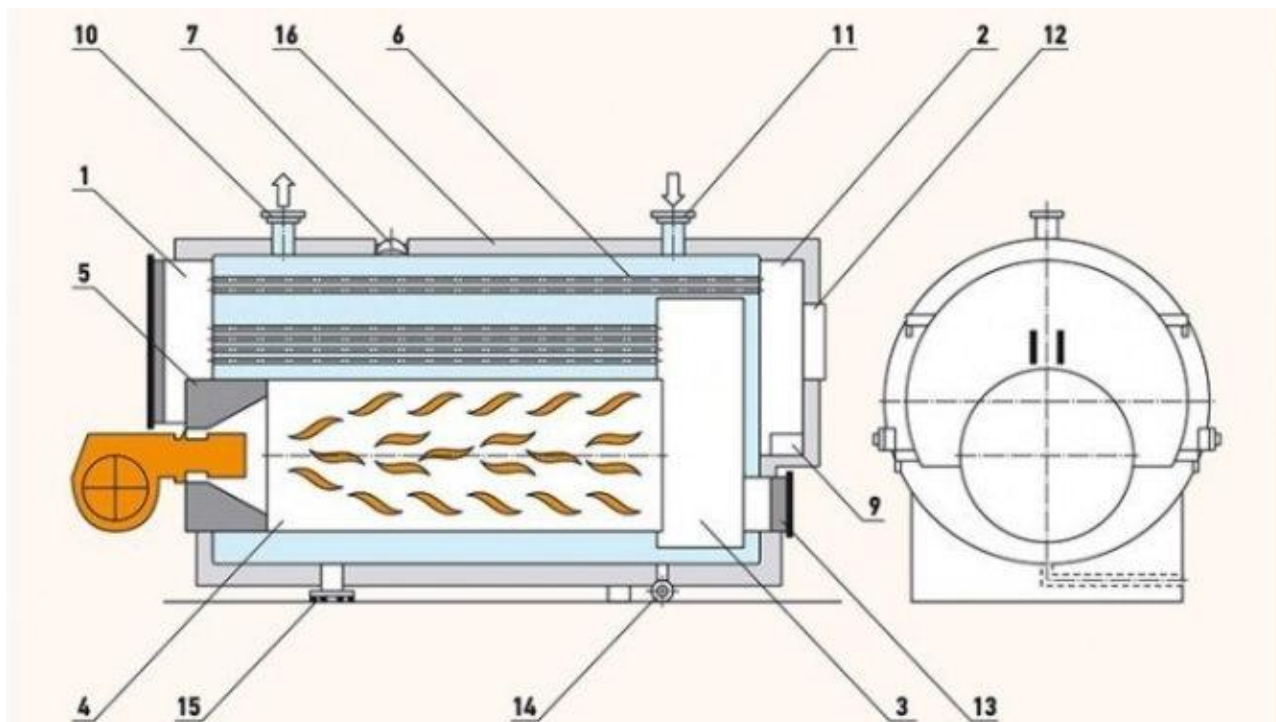
Водогрейный котел - это приспособление для нагрева воды под давлением. На сегодняшний день изготовление водогрейных котлов, а также изготовление поверхностей нагрева котлов приобрело активное применение в отопительных системах.

Одним из наиболее известных типов промышленного теплового оборудования считается жаротрубные котлы. Такие котлы характеризуются несложной конструкцией, долговечной работоспособностью и перспективой дооснащения.

При относительно малых размерах, они обладают большой теплоемкостью и при этом безопасны в эксплуатации. Существует множество вариантов моделей, различающихся дизайном, мощностью и расходом горючего.

**Основная часть**

Модель и внешний вид жаротрубных котлов может быть самой различной. Однако сейчас в производстве преобладают изделия цилиндрической формы. Жаротрубный котел достаточно прост в изготовлении из-за своей конструкции, состоящей из нескольких секций. Каждая из них размещена в металлическом корпусе. В одном краю корпуса расположена камера сгорания, а в другом, система для отведения продуктов сгорания. Горение топлива в жаротрубном котле происходит в результате принудительного дутья, при использовании специального аппарата.



1 – поворотная камера; 2 – коллекторная камера дымовых газов; 3 – отражательная печь; 4 – жаровая труба; 5 – горелочная плита с обмуровкой; 6 – дымогарные трубы; 7 – люк-лаз; 9 – люк для очистки; 10 – прямой патрубок; 11 – обратный патрубок; 12 – патрубок дымохода; 13 – взрывной люк; 14 – дренаж и циркуляция; 15 – стойки и передвижные ролики; 16 – изоляция.

Рисунок 1 – Схема жаротрубного котла с трехходовой системой движения теплоносителя

Над топкой установлены металлические теплообменники, забирающие часть тепла от канала, который отводит дым. Такое свойство дает возможность повысить эффективность жаротрубных котлов в несколько раз. Трубы небольшого диаметра служат для изготовления теплообменников котла. Под топкой находится лоток для очистки.

По принципу работы жаротрубный котел мало чем отличается от других видов паровых котлов. В топке, которая также служит в качестве теплообменника с водой, сжигается топливо. При взаимодействии с пламенем вода в теплообменнике нагревается, в результате чего расширяется, и начинает циркулировать по системе отопления. В ходе такой работы отопительного оборудования выделяется пар. Температура пара не поднимается выше 115 градусов Цельсия, а давление внутри составляет не более 0,07 МПа. Такой пар применяется для отопления частных домов или использования в производстве на промышленных предприятиях.

В настоящее время применение жаротрубных котлов не уступает любому другому виду котлов. Жаротрубные водогрейные котлы используются в котельных, для отопления частных домов, в промышленности и других сферах из-за их высокой эффективности нагрева и экономии при расходе топлива, прочности и простотой эксплуатации.

### Заключение

Жаротрубные котлы имеют высокую теплоотдачу. Это позволяет использовать данные котлы с высокой эффективностью для отопления. Средний КПД такого котла достигает более 90%. Срок службы такого котла может превышать 50 лет.

### Литература

1. Котельные установки и парогенераторы (конструкционные характеристики энергетических котельных агрегатов). Бойко Е. А., Шпиков А. А. КГТУ. Красноярск. 2003. – 230 с.
2. Производственные и отопительные котельные. Бузинников Е.Ф. Под ред. К.Ф. Роддатиса: Энергоатомиздат 2006, 488с.
3. Жаротрубный котел: принцип работы и особенности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fb.ru/article/379762/jarotrubnyiy-kotel-printsip-raboty-i-osobennosti/>. – Дата доступа: 08.08.2023.

УДК 624.016

**КОНСТРУКЦИИ И МАТЕРИАЛЫ ЗАПОЛНЕНИЯ  
СВЕТОВЫХ ПРОЕМОВ  
WINDOW OPENING CONSTRUCTIONS AND MATERIALS**

Е.Д. Нежиков, А.Н. Медведева

Научный руководитель – В.В. Янчук, ассистент

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

E. Nezhikov, A. Miadvedeva

Supervisor – V. Yanchuk, assistant

Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** в данной работе приведен обзор вариантов заполнений световых проемов. Описаны конструкции классических стеклопакетов, а также конструкции с использованием мембран ETFE. Приведены их характеристики, достоинства и недостатки.

**Abstract:** this paper gives an overview of the options for filling light openings. Designs of classical double-glazed units as well as designs using ETFE membranes are described. Their characteristics, advantages and disadvantages are given.

**Ключевые слова:** световой проем, стеклопакет, ETFE мембрана.

**Keywords:** window opening, glass unit, ETFE membrane.

**Введение**

При проектировании зданий требуется также подбирать конструкции, заполняющие световые проемы. Особенно в последние годы, когда заметна тенденция увеличения относительной площади последних. При этом необходимо выдерживать требуемые характеристики по теплоизоляции, звукоизоляции, светопропусканию, механической прочности и долговечности, а также эстетическому виду. С появлением новых материалов возможно получать более качественные решения в зависимости от назначения здания.

**Основная часть**

Современные окна из ПВХ называют также пластиковыми стеклопакетами, поскольку площадь стекла составляет 90% всей конструкции. Поэтому эта площадь является решающим фактором, определяющим тепло- и звукоизоляционные свойства окна. Стеклопакеты состоят из двух или более стекол, разделенных полостью, заполненной воздухом или инертным газом (аргоном) и герметично соединенных по контурам и через дистанционные рамки с осушителями. Выбор и подготовка строительного материала, а также качество герметизации стеклопакета являются определяющими условиями долговечной надежности стеклопакета. От качества стеклопакета во многом зависят общие эксплуатационные характеристики конструкции, в том числе внешний вид окна, комфорт внутри помещения, безопасность и затраты на отопление. Благодаря герметичности полостей оконного стекла влага и пыль не проникают внутрь и не ухудшают освещенность здания.

Двухкамерные стеклопакеты отличаются количеством зазоров между стеклами. Ранее в оконной промышленности использовались простые однокамерные стеклопакеты. Современные требования к техническим и



потребительским характеристикам привели к появлению двух-, трех- и однокамерных энергосберегающих стеклопакетов.

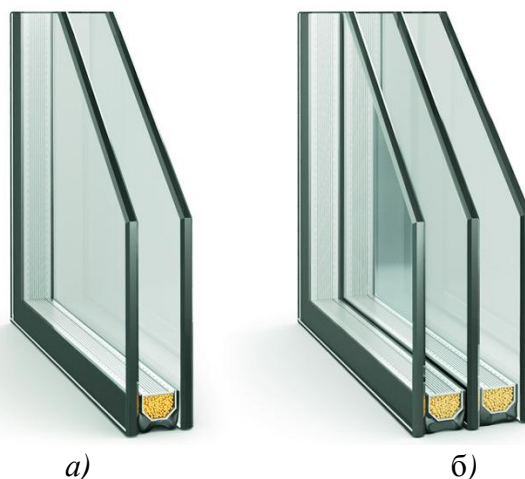
Одинарные стеклопакеты – это стеклопакеты, состоящие из двух стекол. Наиболее распространенная толщина стекла – 4–6 мм. Стекла отделены друг от друга на фиксированное расстояние специальной дистанционной рамкой. В наиболее распространенной формуле для однокамерных стеклопакетов толщина стекла равна 24 мм. Например, 4–16–4, т.е. по 4 мм – толщина стекол, а 16 – расстояние между ними. Теоретически расстояние между стеклами стеклопакета может быть достаточно большим, чтобы повлиять на стоимость однокамерного стеклопакета, но превышение оптимальной толщины стеклопакета не только не приведет к дальнейшему улучшению теплозащитных свойств, но, наоборот, снизит эти свойства за счет возникающих конвективных потоков. На рисунке 1 изображен одинарный стеклопакет.[10]



Рисунок 1 – Одинарный стеклопакет

По количеству внешних дистанционных рамок различают однокамерные и двухкамерные стеклопакеты: 1 – для однокамерных стеклопакетов и 2 – для двухкамерных. Если стеклопакет имеет черную полосу по внутреннему периметру, то это означает, что внутри находится еще один слой стекла и это двухкамерный стеклопакет, если нет – однокамерный стеклопакет.

Двойное остекление – это развитие обычного однокамерного стеклопакета, направленное на улучшение тепловых свойств и снижение уровня шума, проникающего в квартиру извне. Принцип работы стеклопакета заключается в том, что три стекла объединяются в единую герметичную систему с помощью двух рам. На рисунке 2 изображены виды стеклопакетов по числу камер. [9]



а) – однокамерный стеклопакет, б) – двухкамерный стеклопакет  
Рисунок 2 – Виды стеклопакетов по числу камер

Форма стеклопакета может быть различной. Толщина стекол варьируется от 4 до 6 мм, расстояние между стеклами может быть разным. Для наиболее эффективного снижения уровня шума расстояние между стеклами в едином блоке должно быть разным. Это означает, что ширина рам стеклопакетов должна быть разной. Наиболее распространенная формула для стеклопакета предполагает общую толщину 32 мм (4–10–4–10–4 или 6–8–4–10–4 для более высоких уровней звукоизоляции).

Однокамерные стеклопакеты больше подходят для южных широт. Там, где помещения отапливаются в зимнее время, устанавливать такие стеклопакеты не рекомендуется. Во-первых, они обладают очень низкими теплоизоляционными свойствами, что приводит к низкому показателю экономической эффективности, а во-вторых, одинарные стеклопакеты часто запотевают из-за конструктивных особенностей. В регионах средних широт, где не бывает суровых зим, используют один или два стеклопакета. В северных регионах, где морозы могут достигать  $-40^{\circ}\text{C}$ , лучше использовать три, четыре или даже шесть камер. [6]

ETFE (этилентетрафторэтилен) – современный полимерный материал, характеризующийся малым весом и высокой прочностью, а также являющийся отличным изолятором, ETFE благодаря своим эксплуатационным характеристикам широко используется в строительстве и инженерных проектах. Материал является экологически чистым, как и его сырье: ETFE изготавливается из полевого шпата. Он является отходом при добыче свинцовых и оловянных руд. Этилен, получаемый из нефтехимических продуктов или биоэтанола, добавляется к этому материалу путем сополимеризации.

Пленочные пакеты из ETFE требуют меньше стальных опор, чем традиционные системы остекления, что делает их более простыми в установке и зачастую более дешевыми. Многослойные системы состоят из заключённых в алюминиевые профили мембран-подушек, которые поддерживаются лёгкой несущей конструкцией. В пространство между слоями периодически поступает воздух под низким давлением, чтобы обеспечить нужный уровень теплоизоляции и сопротивляемости внешним нагрузкам элемента конструкции. Эта технология отлично подходит для использования в районах с высокими ветровыми и

снеговыми нагрузками, а также повышенной сейсмической активностью. Вес квадратного метра площади трехслойной воздушной мембранной конструкции составляет примерно 2–3 кг, или около 1 % от веса аналогичного структурного остекления. Масса вспомогательных силовых элементов также значительно меньше. На рисунке 3 изображены ограждающие конструкции или мембраны ETFE. [11]



Рисунок 3 – Ограждающие конструкции или мембраны ETFE

Помимо небольшой массы, еще одним важным преимуществом ETFE является его высокая прозрачность. Пропускающий до 95 % света, ETFE является наиболее предпочтительным материалом для таких проектов, как газонные стадионы, где для роста растений необходимо пропускать полный спектр естественного света и ультрафиолета. Слой ETFE толщиной 250 мкм пропускает около 98 % солнечного УФ-излучения [7]. Это свойство широко используется при строительстве теплиц, ботанических садов, оранжерей, бассейнов и аквапарков, позволяя принимать естественные солнечные ванны в любое время суток в любой климатической зоне мира. Если высокий уровень светопропускания не требуется, на пленку ETFE можно наносить печать или дифракцию для создания разнообразных рисунков, снижающих солнечную активность при сохранении прозрачности. При производстве многослойных пневмоэлементов аналогичные рисунки на разных слоях могут быть смещены относительно друг друга для достижения полного или частичного затемнения всей многослойной пленки. При приложении избыточного давления между двумя такими слоями рисунок смещается относительно друг друга, изменяя интенсивность светового потока и создавая эффект "жалюзи".

Толщина пленки ETFE составляет 50–300 мкм. При этом особая многослойная структура полимерной пленки не разрушается под воздействием солнечного света в ультрафиолетовом диапазоне длин волн благодаря инертным свойствам химических молекул материала, в отличие от поликарбоната, который под воздействием УФ-излучения "деградирует" (трескается, желтеет). [7]

Мембраны ETFE являются эластичными материалами и обладают высокими прочностными характеристиками при растяжении. Удлинение при разрыве варьируется в пределах 150–400%.

Еще одно преимущество этого материала – пожаробезопасность: ETFE-пленка относится к группе горючести Г1, не распространяет горение и не образует капель при плавлении. В случае пожара в пленке открывается большое отверстие, через которое выходят продукты горения, что приводит к резкому снижению температуры в зоне горения. В больших конструкциях (например, атриумах, куполах) электрические провода могут быть протянуты непосредственно под и над пленкой, и при срабатывании пожарной сигнализации провода подвергаются принудительному нагреву, разрезая мембрану. При этом в наружной стене быстро образуется большая щель для выхода дыма и газов в атмосферу.

Широкий диапазон рабочих температур позволяет использовать мембранную систему в экстремально жарких или экстремально холодных регионах, таких как пустыни, Арктика и Антарктида. Поверхность материала не растрескивается под воздействием высоких или низких температур.

Расчетный срок службы пленочных материалов ETFE и многослойных амортизирующих подсистем составляет более 50 лет. Это связано с постоянно растянутым напряженным состоянием пленки в надувной системе. Кроме того, стыки ячеек эластичны (нет трения и зазоров), что не ограничивает срок их службы. Например, срок службы резиновых уплотнителей в стеклопакетах составляет 10–15 лет.

Материал инертен к кислотам, щелочам и другим агрессивным средам. Поэтому его можно использовать как в городских условиях, так и в условиях промышленных зон, таких как химическое производство, угольные и минеральные месторождения.

Об энергоэффективности этого материала можно сказать следующее. Минимальное количество слоев материала в "подушке" – два. Чем больше слоев материала в системе воздушных мембран, тем выше сопротивление теплопередаче. Расходы на отопление, кондиционирование воздуха и освещение зданий с мембранной кровлей снижаются в несколько раз, по сравнению с традиционным остеклением. Также затраты энергии на компрессорную установку для поддержания избыточного давления воздуха между слоями мембранной системы составляют 100 Вт на 1000 м<sup>2</sup> поверхности оболочки.[7]

ETFE используется для изоляции электрических кабелей в автомобилях, самолетах и роботах, а также для покрытия контейнеров с высокоагрессивными жидкостями, ETFE применяется в аэрокосмической технике с 1972 г. Уникальные изоляционные и механические свойства ETFE, их стабильность в широком диапазоне температур оказались востребованными в этих областях человеческой деятельности. Материал обычно используется в строительстве для создания



прозрачных крыш, козырьков и фасадов. Он также используется при строительстве спортивных стадионов, аэропортов, торговых центров и других крупных сооружений. Кроме того, ETFE используется в различных промышленных и научных областях, где требуется химическая стойкость, высокая прочность на разрыв и прозрачность. [8]

Из недостатков пленок ETFE можно выделить опасность их повреждения острыми предметами, необходимость постоянной качественной инженерной поддержки для контроля заполнения панели воздухом.

### **Заключение**

Сравнивая традиционные системы остекления и пленочные, очевидно, что стеклопакеты ведут в части их многофункциональности (одно-, двухкамерные), а также по высшей устойчивости к потере тепла и шумоизоляции, но уступают в экономичности, количестве строительных материалов и пожаробезопасности.

Для каждого конкретного варианта строительства необходимо принимать решение индивидуально, так как для зданий разного назначения определяющими будут являться различные факторы (спектр, шумоизоляция, прозрачность и т.д.).

### **Литература**

1. Пленочные светопрозрачные конструкции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://airroof.ru/produksiya/architecture>. – Дата доступа 23.10.2023.
2. Современный строительный материал ETFE – пленка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ais.by/story/15124>. – Дата доступа: 25.10.2023.
3. Пленка ЭТФЭ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lommetex.ru/ru/etfe/>. – Дата доступа: 25.10.2023.
4. ETFE – Membrane [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nowofol.com/en/etfe-architecture/etfe-membrane/>. – Дата доступа: 24.10.2023.
5. ETFE Film [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ets-na.com/ets-materials/etfe-film/>. – Дата доступа: 24.10.2023.
6. Что такое однокамерный стеклопакет [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://otkroyokno.ru/%D1%87%>. – Дата доступа: 01.11.2023.
7. Пленки ЭТФЭ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://maistro.ru/katalog/fasady/kombinirovannyj-fasad/plyonki-etfe-membrannye-tehnologii-v-arhitecture-i-stroitelstve>. – Дата доступа: 01.11.2023.
8. Этилен – тетрафторэтилен – ЭТФЭ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://transcoolpolymers.ru/fluoropolymers-etfe>. – Дата доступа: 01.11.2023.
9. Однокамерный или двухкамерный стеклопакет [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elit-okna.by/odnokamernyj-ili-dvuhkamernyj-steklopaket/>. – Дата доступа: 02.11.2023.
10. Окна с одинарным остеклением [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.realbrest.by/novosti/brest-i-region/okna-s-odinarnym>. – Дата доступа: 02.11.2023.
11. What is ETFE and Why Has it Become Architecture's Favorite Polymer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.archdaily.com/784723>. – Дата доступа: 02.11.2023.

УДК 628.282

**ФОСФАТНАЯ И ГИДРАЗИНОВАЯ ПРОМЫВКА ТРУБ  
КОТЛОАГРЕГАТОВ  
PHOSPHATE AND HYDRAZINE WASHING OF BOILER PIPES**

Д.С.Шулепов, К.А. Галишева

Научный руководитель – В.А. Седнин, д.т.н., профессор  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

D. Shulepov, K. Galisheva

Supervisor – V. Sednin, Doctor of Technical Sciences, Professor  
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** В данной работе было рассмотрено два вида химической промывки труб котлоагрегатов.*

***Abstract:** In this paper research, two types of chemical cleaning of boiler tubes have been viewed phosphate and hydrazine.*

***Ключевые слова:** накипь, фосфатная промывка, гидразиновая промывка.*

***Keywords:** scale, phosphate wash, hydrazine wash.*

### **Введение**

В процессе эксплуатации котлоагрегатов образуется накипь, которая уменьшает эффективность работы оборудования и может привести к его поломке. Накипь обычно образуется из-за накопления солей кальция и магния, которые содержатся в воде. Кроме того, в котлоагрегатах также возможна коррозия металлических поверхностей, которая ведет к образованию отложений ржавчины и масляной пленки. Все это требует регулярной промывки оборудования. [1].

### **Основная часть**

Фосфатная промывка основана на использовании фосфатных соединений, которые обладают способностью растворять и удалять накипь и ржавчину. Этот метод обычно применяется в начальной стадии эксплуатации котлоагрегата или после его ремонта. Фосфаты, входящие в состав промывочного раствора, реагируют с накипью, образуя растворимые фосфатные соли, которые затем смываются водой. Они также образуют защитную пленку на внутренней поверхности труб, предотвращающую образование новых отложений. Фосфатная промывка обычно проводится при повышенной температуре и давлении, чтобы усилить эффект растворения накипи [2].

Гидразиновая промывка, в свою очередь, основана на использовании гидразина - химического соединения, которое является одним из самых эффективных препаратов для очистки котлов от накипи и коррозии. Гидразин действует таким образом, что разрушает молекулы кальция и магния, которые образуют накипь в котле. Кроме того, гидразин снижает коррозионные процессы и предотвращает образование отложений ржавчины и масляной пленки на металлических поверхностях котла.



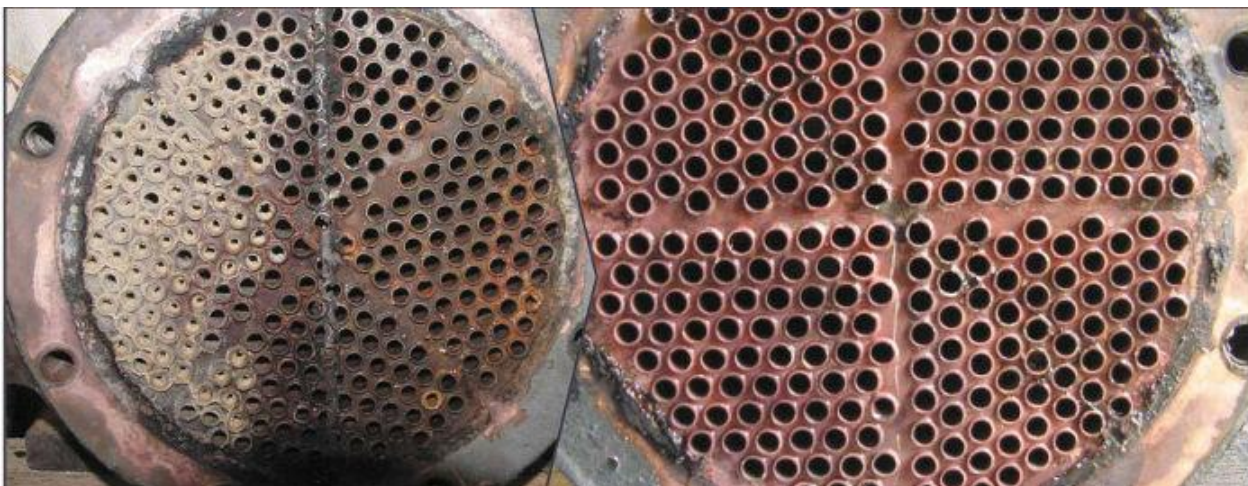


Рисунок 1 – Трубы котлоагрегата до и после промывки фосфатами

Процесс гидразиновой промывки котлоагрегатов начинается с подготовки препарата. Гидразин обычно продается в виде жидкости, которую нужно разбавить до нужной концентрации. Затем препарат подается в систему котла в виде раствора. Промывка обычно начинается с подачи небольшого количества раствора гидразина в котел, затем количественно его наращивают. Промывка длится около 8-10 часов. Затем котел промывают водой, чтобы удалить остатки раствора гидразина. Гидразиновая промывка обычно проводится при низкой температуре и давлении, чтобы предотвратить повреждение материала трубопроводов [3].

### **Заключение**

Оба метода имеют свои преимущества и ограничения. Фосфатная промывка эффективна при удалении накипи, особенно в начальной стадии эксплуатации системы, но может быть менее эффективной при более плотных отложениях. Гидразиновая промывка, с другой стороны, обладает более сильным растворяющим эффектом и может быть эффективной при более тяжелых загрязнениях.

### **Литература**

1. Химическая промывка котлов и технологического оборудования [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://diekos.by/himicheskaya-promyvka-kotlov-i-tehnologicheskogo-oborudovaniya>. – Дата доступа: 08.07.2023.
2. Фосфаты и их применение для промывки котлов [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/fosfaty-i-ih-primenenie-dlya-promyvki-kotlov/viewer>. – Дата доступа: 08.07.2023.
3. Гидразинно-кислотная промывка [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://mash-xxl.info/info/259166/> – Дата доступа: 08.07.2023.

УДК 620.92

**ПРИВЛЕЧЕНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ  
ATTRACTING RENEWABLE ENERGY SOURCES**

А.В. Чернушевич, Д.В. Ридель

Научный руководитель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Chernushevich, D. Ridel

Supervisor – I. Prokopenya, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** в этой статье исследуется, как возобновляемые источники энергии могут повлиять на размещение промышленных производств в будущем, а также какие факторы могут привести к этому.

**Abstract:** this article explores how renewable energy sources can affect the location of industrial production in the future, as well as what factors can lead to this.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, изменение климата.

**Keywords:** renewable energy sources, climate change.

**Введение**

Ограничение понижения средней глобальной температуры «значительно ниже 2°C» по сравнению с доиндустриальными уровнями, как это предусмотрено Парижским соглашением, потребует значительного сокращения выбросов в предстоящие годы и десятилетия. Ожидается, что страны по всему миру, стремясь помочь смягчить последствия изменения климата, будут проводить более жесткую политику по сокращению выбросов парниковых газов и расширению использования экологически чистых источников энергии.

**Основная часть**

Ожидается, что страны всего мира в своих усилиях по смягчению последствий изменения климата будут проводить более строгую политику по сокращению выбросов парниковых газов и увеличению использования чистых источников энергии. Это, несомненно, повлияет на промышленный сектор, на долю которого, по оценкам МГЭИК, в 2019 году пришлось примерно 24% общих чистых выбросов парниковых газов в мире. Эта доля увеличивается до 34 % – самой высокой доли среди всех секторов если включить в нее косвенные выбросы от производства электроэнергии и тепла. Недавние инициативы в странах по всему миру, такие как закон «Об ограничении выбросов парниковых газов» в России, закон «о сокращении выбросов» в США и план REPowerEU в ЕС стремятся ускорить расширение использования возобновляемых источников энергии в промышленности. Это может привести к тому, что возобновляемые источники энергии в регионе станут все более важным фактором при определении того, где энергоемкие отрасли размещают свое производство. Привлечение возобновляемых источников энергии может привести к региональным изменениям в промышленном производстве либо за счет перемещения существующих производственных мощностей, либо за счет изменения структуры инвестиций в новые производственные мощности.

Несомненно, эффект привлечения возобновляемых источников энергии до сих пор редко обсуждался или оценивался в научной литературе. Одним из объяснений может быть то, что даже в регионах с исключительными условиями использования возобновляемых источников энергии производство энергоемких продуктов или материалов с использованием ископаемого топлива, как правило, обходится дешевле, чем производство этих продуктов на основе возобновляемых источников энергии. Однако, поскольку затраты на производство электроэнергии из возобновляемых источников энергии продолжают снижаться, а затраты на выбросы углекислого газа растут, можно предположить, что в будущем затраты на производство продукции на основе возобновляемых источников энергии будут меньше. Потенциальная будущая значимость различий в стоимости возобновляемой энергии также подтверждается существующими эмпирическими исследованиями, которые выявили очевидное влияние как запасов энергии на ископаемом топливе, так и общих цен на энергию на решения о размещении энергоемких отраслей.

События, которые могут привести к тому, что эффект привлечения возобновляемых источников энергии станет актуальным. Эти события наблюдались в прошлом и, вероятно, станут все более актуальными в будущем:

- Рост стоимости использования ископаемого топлива может привести к тому, что промышленное производство на основе возобновляемых источников энергии станет конкурентоспособным по затратам в регионах с хорошими условиями использования возобновляемых источников энергии.
- Снижение затрат на использование возобновляемых источников энергии: например, посредством технических достижений, субсидий на использование возобновляемых источников энергии или других политических стимулов. Это может сделать возобновляемые источники энергии более экономичными, чем ископаемое топливо, в некоторых отраслях.
- Появление на рынках явный спрос на «зеленые» материалы или продукцию: например, «зеленые» продукты с низким выбросом углекислого газа могут стать уникальным аргументом в пользу продажи в растущих сегментах рынка

Следует отметить, что хотя любое из этих событий может привести к тому, что привлекательность возобновляемых источников энергии станет более значительной, вполне возможно, что все три события работают в сочетании, чтобы повысить будущую значимость возобновляемых источников энергии.

### **Заключение**

Мы думаем, что для борьбы с изменением климата в ближайшие годы страны всего мира примут более жесткую политику по сокращению выбросов парниковых газов и увеличению использования чистых источников энергии. Эта политика также затронет промышленный сектор, что означает, что промышленное производство, вероятно, будет постепенно переходить от источников ископаемого топлива, выделяющих углекислый газ к

возобновляемым источникам энергии. В результате возобновляемые энергетические ресурсы региона могут стать все более важным фактором в определении того, где энергоемкие отрасли размещают свое производство. Привлечение возобновляемых источников энергии может привести к перемещению части промышленного производства из-за региональных различий в предельной стоимости возобновляемых источников энергии.

#### Литература

1. Изменение климата [Электронный ресурс]/ изменение климата. - Режим доступа: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>. – Дата доступа: 31.10.2023.
2. Изменение климата [Электронный ресурс]/ изменение климата. - Режим доступа: <https://is.gd/hbcvIX>. – Дата доступа: 31.10.2023.

УДК 620.9

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ  
MODERN PROBLEMS OF THERMAL POWER ENGINEERING**

В.А. Колончук, П.О. Бондарев

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Kolonchuk, P. Bondarev

Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** в этой статье обсуждаются проблемы, которые стоят перед тепловой энергетикой Беларуси. Мы рассмотрим ключевые вопросы, такие как воздействие на окружающую среду, технологическая модернизация и энергоэффективность, и потенциальные решения.

**Abstract:** This article discusses the problems facing the thermal energy sector of Belarus. We will look at key issues such as environmental impact, technological upgrading and energy efficiency, and potential solutions.

**Ключевые слова:** современные проблемы теплоэнергетики.

**Keywords:** modern problems of thermal power engineering.

**Введение**

Тепловая энергия имеет жизненно важное значение для Беларуси, внося значительный вклад в обеспечение страны электроэнергией и теплом. Однако отрасль сталкивается с современными проблемами, требующими тщательного рассмотрения и стратегического планирования. Целью данной статьи является выявление и решение этих проблем, предлагая потенциальные пути устойчивого развития и повышения производительности в секторе тепловой энергетики.

**Основная часть**

Теплоэнергетический сектор Беларуси представляет собой серьезную экологическую проблему. Обычные тепловые электростанции являются основными источниками загрязнения воздуха и воды, создавая серьезные риски для здоровья населения и окружающей среды. Устранение этих последствий предполагает внедрение более чистых технологий, таких как современные системы очистки выхлопных газов, и изучение альтернативных источников топлива.

Технологическая модернизация является серьезной задачей для теплоэнергетической отрасли Беларуси. Устаревшая инфраструктура, оборудование и неэффективные процессы мешают отрасли удовлетворять современные энергетические потребности и экологические стандарты. Необходимые инвестиции в современные технологии включают системы когенерации (ТЭЦ), решения для интеллектуальных сетей и цифровизацию для повышения операционной эффективности и снижения воздействия на окружающую среду.

Повышение энергоэффективности является актуальной задачей для белорусских теплоэлектростанций. Неэффективность производства и



распределения энергии приводит к существенным потерям и снижению общей эффективности системы. Реализация энергосберегающих мер, оптимизация процессов производства тепла и электроэнергии, а также продвижение энергосберегающих технологий являются важнейшими стратегиями повышения эффективности и производительности тепловых электростанций.

Для решения проблем в секторе тепловой энергетики Беларусь должна интегрировать возобновляемые источники энергии в свою энергетическую структуру. Диверсификация энергетического портфеля за счет ветровой, солнечной энергии и биомассы предлагает устойчивый путь к снижению зависимости от ископаемого топлива и минимизации воздействия на окружающую среду. Кроме того, прогресс в технологиях хранения энергии может способствовать эффективной интеграции возобновляемых источников энергии в существующую энергетическую инфраструктуру.

Ключевые вопросы, требующие немедленного вмешательства со стороны политиков и доноров для повышения жизнеспособности и устойчивости услуг централизованного теплоснабжения, включают:

- Недостаток энергетического планирования: тепловой сектор должен быть интегрирован в повестку дня энергетической политики, например, путем включения городского теплоснабжения в планы развития районной энергетики и требований по подключению к системам централизованного теплоснабжения (там, где это возможно).
- Недостаток финансирования и инвестиций: улучшить общий деловой и инвестиционный климат для участия частного сектора, включая инвестиционные фонды и стимулы для повышения энергоэффективности и внедрения чистых технологий
- Недостаток опыта и местных знаний: необходимо рассмотреть критические ошибки в процессе реформирования теплового сектора, включая варианты приватизации, методы управления, инновационные механизмы финансирования, особенности рынка тепла по сравнению с рынками электроэнергии и газа, общие ошибки, которых следует избегать, и, самое главное, программы реструктуризации для практического применения.
- Неадекватные механизмы социальной защиты: отсутствие адресной социальной поддержки в сочетании с отсутствием учета и регулирования на стороне потребления может превратить бедных потребителей в неплательщиков. Это приводит к негативному циклу еще более низкого уровня возмещения затрат поставщиками тепла, снижению затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание, снижению производительности, огромным убыткам, снижению качества услуг, дальнейшему повышению тарифов и более серьезным проблемам с доступом к услугам.

### **Заключение**

Современные проблемы, стоящие перед тепловой энергетикой Беларуси, требуют комплексного и стратегического решения. Ставя на первое место



экологическую устойчивость, внедряя технологические обновления, повышая энергоэффективность и интегрируя возобновляемые источники энергии, страна может проложить путь к более устойчивому и экологически сознательному сектору тепловой энергии. Сотрудничество между правительством, промышленностью и исследовательскими институтами имеет важное значение для стимулирования инноваций и достижения устойчивого энергетического будущего для Беларуси.

### Литература

1. Энергетика Республики Беларусь: Проблемы И Перспективы Развития [Электронный ресурс]/ проблемы и перспективы развития -Режим доступа: [https://www.core.ac.uk/download/pdf/212982909.pdf/](https://www.core.ac.uk/download/pdf/212982909.pdf) – Дата доступа: 31.10.2023.
2. Традиционная энергетика [Электронный ресурс]/ современные проблемы. -Режим доступа: [https://energobelarus.by/articles/traditsionnaya\\_energetika/sovremennye\\_problemy\\_teplosnabzheniya\\_malykh\\_obektov\\_i\\_poseleniy/](https://energobelarus.by/articles/traditsionnaya_energetika/sovremennye_problemy_teplosnabzheniya_malykh_obektov_i_poseleniy/). – Дата доступа: 31.10.2023.

УДК 621.3

**ВАРИАНТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛИТИЙ-ИОННЫХ  
АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ДЛЯ СОКРАЩЕНИЯ СПРОСА НА  
ЭНЕРГИЮ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНЫХ ЦЕЛЕВЫХ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПО СНИЖЕНИЮ ПОТРЕБЛЕНИЯ ТОПЛИВНО  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ**

**OPTIONS FOR USING LITHIUM-ION BATTERIES TO REDUCE ENERGY  
DEMAND TO ACHIEVE NATIONAL FUEL CONSUMPTION  
REDUCTION TARGETS**

М.С. Войлоков, П.А. Брилёв

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

M. Voylokov, P.Brilev

Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** «Литий-ионные аккумуляторы произвели революцию в нашей жизни с тех пор, заложив основы новой энергетики» – Нобелевский комитет Королевской шведской академии наук.*

***Abstract:** “Lithium-ion batteries have revolutionized our lives, laying the foundations for a new energy industry” - Nobel Committee of the Royal Swedish Academy of Sciences.*

***Ключевые слова:** Литий-ионные аккумуляторы, системы накопления энергии, системы оперативного постоянного тока, электроэнергия.*

***Key words:** Lithium-ion batteries, energy storage systems, operational direct current systems, electricity.*

### **Введение**

В последние годы в глобальных международных исследованиях производятся различные исследования по созданию современных систем по накоплению электроэнергии. Это обусловлено тем что электроэнергия является продуктом, имеющим большую стоимость и большие объёмы производства, при этом не имея простых методов её накопления. Создание систем накопления электроэнергии может помочь энергосистеме в преодолении пиковых дневных и вечерних нагрузок, за счет накопленной электроэнергии в ночные часы просадки потребления электричества системой потребителей. Главным преимуществом применения систем накопления электроэнергии (СНЭЭ) по сравнению с накопителями сжатого воздуха, маховиковыми накопителями электроэнергии или гидроаккумулирующими электростанциями является возможность их строительства в любом регионе, вне зависимости от местного ландшафта и климатических условий.

### **Основная часть**

На данный момент существуют различные методы накопления электроэнергии:

– Накопление энергии сжатого воздуха (CAES) действует с помощью

электрического компрессора, который нагнетает воздух под высоким давлением в подземные полости естественного происхождения или в специальные резервуары. В часы максимального потребления электроэнергии накопленный сжатый воздух используется для работы турбогенератора. Технологии CAES могут использоваться для хранения большого количества электроэнергии, подобно гидроаккумулирующим электростанциям, путем нагнетания воздуха в естественные хранилища. Для местного использования воздух закачивается в искусственные резервуары.

- Накопление электроэнергии в виде кинетической энергии осуществляется с помощью маховика. Современные конструкции маховикового накопителя энергии (FES) может включать в себя компоненты маховика, подшипники, электродвигатель / генератор и вакуумную емкость. Накопление и выделение электричества происходит в результате ускорения или замедления маховика. Количество накопленной электроэнергии в маховике зависит от его скорости вращения. Современные маховиковые накопители выдерживают более 100 циклов разгона и торможения.
- Гидроаккумулирующие электростанции - это гравитационные системы хранения электроэнергии. В часы ночного минимума потребления электроэнергии насосы станции используют дешевую электроэнергию для перекачки воды в верхний резервуар для воды. В периоды максимального потребления электроэнергии днём и вечером вода под действием силы тяжести сбрасывается на турбину, и электростанция вырабатывает недостающее электричество.
- Электрические аккумуляторные системы имеют преимущество над выше описанными системами в том, что они состоят из аккумуляторов и они не имеют ограничений по своему расположению и требуют специалистов более низкого уровня для поддержания их работы.

Системы накопления электроэнергии применяются в энергетической системе –распределительных и магистральных сетях, электрических станциях и подстанциях, центры обработки данных, нефтегазовом секторе, на промышленных предприятиях и других объектах, для обеспечения баланса выработки и потребления электроэнергии и повышения энергоэффективности.

СНЭЭ могут быть предназначены для различных целей в энергетическом секторе:

- Энергоменджмента: компенсации резкопеременной нагрузки, сглаживания пиков потребления, оптимизации профиля нагрузки;
- Обеспечения надежного электроснабжения и резервного питания;
- Обеспечения резервного питания систем оперативного постоянного тока;
- Интеграции с электрической зарядной станцией;
- Интеграции объектов ВИЭ в энергосистему;
- Компенсации дефицита мощности;

- Организации гибридных микрогридов;
- Обеспечения качества электроэнергии;
- Организации автономных гибридных энергокомплексов.

Таблица 1 – Основные характеристики и виды аккумуляторных батарей

Параметры	Литий-ионные	Гелевые	Щелочные	Свинцово-кислотные
Время зарядки, ч	1-2	4-10	8-10	8-10
Гарантия, лет	3	1	1	1
Срок службы до потери 20% емкости, лет	20	8	3	4
Ресурс циклов заряда/разряда	До 5000	1500	1500	1500

Важным преимуществом ЛИАБ над свинцово-кислотными аккумуляторами является отдача максимальной мощности при малом времени резервирования и большой импульсной нагрузки. Эти параметры легко сравнивать у разных поколений аккумуляторов в таблице 2.

Таблица 2 – Основные характеристики литий-ионные системы накопления

Параметры	VDA-NMC	GEN4-NMC	LFP	СКА
Масса, кг: 300 кВт на 10 минут автономии	850	1100	1800	4500
Занимаемая площадь, м <sup>2</sup>	0,6	0,75	1,2	1,8
Удельная энергоемкость Вт*ч/кг	250	185	140	40
Допустимый DoD	90%	80%	80%	60%

Где DoD (depth of discharge) – глубина разряда, NMC – никель-марганец-кобальт, LFP – литий-железо-фосфат, СКА – свинцово-кислотный аккумулятор

Литий-ионные системы накопления электроэнергии для управления режимами энергосистем применяются в большинстве своем в западных странах в крупных городских агломерациях (Лос-Анджелес 61 станция, Нью-Йорк 26, Сеул 22 и т.д.). Наиболее распространенными функцией распространённых СНЭ в городских агломерациях является сдвиг по времени энергопотребления, а также снижение платы за электроэнергию. Наиболее распространенная мощность СНЭ – до 800 кВт, наиболее распространенные диапазоны энергоемкости объектов до 400 кВт\*ч и от 500 до 600 кВт\*ч.

СНЭ в РБ могут применяться в двух возможных сценариях использования. В первом сценарии они должны будут применяться для покрытия пиковых нагрузок в дневные пики. Во втором случае они могут применяться для регулирования частоты в сети на протяжении всего дня. Оба варианта использования СНЭ на данный момент экономически целесообразны и могут быть построены в настоящее время без необходимости в модернизации текущих электрических систем. Главным преимуществом использования СНЭ является

скорость их работы с введением в систему. Единственным минусом для реализации СНЭ для нормированного первичного регулирования частоты является снижение текущей стоимости СНЭ на 63%. В текущий момент наблюдается общая тенденция по снижению стоимости СНЭ ежегодно в 15% от цены прошлого года, что означает о достижении необходимой цены через 5 лет.

Кроме возможностей по ежедневному регулированию электрических систем, ЛИАБ можно использовать в системах оперативного постоянного тока. СОПТ применяются в энергосистеме для пуска станций. На данный момент в РБ по законодательству СОПТ обязаны иметь аккумуляторы на свинцово-щелочной основе. Заменяв их на современные ЛИАБ, мы сможем решить сразу несколько проблем, возникающих при обслуживании СКА:

- Отсутствует необходимость наличия специалиста, имеющего разрешение на работу с кислотами. Удаление возможностей протечек кислоты на предприятии.
- Уменьшение общего веса и размеров системы без замены силовых агрегатов.
- Снижение потерь электроэнергии при разряде/заряде на 60%.
- Исключение возможности накопления взрывоопасного водорода в помещении.

Как пример успешного проекта по эксплуатации ЛИАБ в составе СОПТ можно привести реконструкцию на ПС 220 кВ ГПП-2 АО «УЭХК» с заменой СКАБ на установку ЛИАБ. По итогам 10 лет использования было доказано что емкость ЛИАБ в 2 раза меньше по сравнению с СКАБ. Что доказало их эффективность и экономичность на дистанции, благодаря чему «РОСАТОМ» планирует распространить эти результаты на все свои энергообъекты.

### **Заключение**

На сегодняшний день ЛИАБ имеют широкое распространение в мире. Они используются как в гражданском транспорте, так и на крупных промышленных объектах. Однако переход на них в данный момент осложняется действующими нормами законодательства РБ, которое во многих местах не допускает использование СКАБ.

### **Литература**

1. Renera [Электронный ресурс]/ Системы оперативного постоянного тока–Режим доступа: <https://renera.ru/products/sistemy-operativnogo-postoyannogo-toka-sopt-na-litiiy-ionnykh-akkumulyatorakh/> – Дата доступа: 19.10.2022.
2. ESFC [Электронный ресурс]/ Технологии хранения электрической энергии. –Режим доступа <https://esfccompany.com/articles/tekhnologii/tekhnologii-khраниeniya-elektricheskoy-energii/>– Дата доступа: 13.10.2022.
3. Brockway, P. E., Sorrell, S., Semieniuk, G., Heun, M. K. & Court, V. Energy efficiency and economy-wide rebound effects: a review of the evidence and its implications. *Renew. Sust. Energy Rev.* 141, 110781 (2021).

УДК 628.4

**ПОЛУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ СВАЛОЧНОГО ГАЗА  
PRODUCTION AND APPLICATION OF LANDFILL GAS**

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 рассматриваются проблемы утилизации свалочного газа, а также способы его эффективного использования. Показано, что ввод в эксплуатацию биогазовых энергетических комплексов, работающих на свалочном газе, могут позволить сформировать более надёжную систему энергоснабжения и улучшить экологию страны.

**Abstract:** This article discusses the problems of landfill gas utilization, as well as ways to use it effectively. It is shown that the commissioning of biogas energy complexes powered by landfill gas can make it possible to form a more reliable energy supply system and improve the ecology of the country.

**Ключевые слова:** Свалочный газ, альтернативная энергия, полигоны, экология.

**Keywords:** Landfill gas, alternative energy, landfills, ecology.

**Введение**

Свалочный газ – это вещество, которое выделяется при разложении отходов. В структуру свалочного газа входит метан, диоксид углерода и другие токсические соединения, которые и дают неприятный запах. Обильно вещество испускается в первые 23-27 лет после уничтожения отходов. Если на территории полигона не присутствует газопроницающее покрытие, газ попадает в окружающую среду, и отравляет все вокруг. Он очень опасен, потому что является легко воспламеняющимся веществом. В местах обильного скопления свалочного газа наблюдается явная угроза возникновения пожаров. При воспламенении мусора ядовитые выбросы распространяются на несколько тысяч метров. Заранее предугадать ситуацию практически невозможно. Исходя из этого можно сделать вывод, об огромной опасности свалочного газа [2].

**Основная часть**

Проблема погребения отходов и выделения свалочного газа – актуальная проблема в нашей стране на сегодняшний день. Свалочный газ оказывает пагубное влияние на экологию, и если его неправильно утилизировать, то это приведет к следующим последствиям:

- Пагубное воздействие на растения. Газ проникает в почвы и тем самым разрушает корневую систему. По этой причине вокруг полигонов всегда мало растет растений и живет маленькое количество животных.
- Попадание свалочного газа в окружающую среду приводит к ее загрязнению токсичными соединениями на территориях, которые находятся рядом.



- Парниковый эффект.
- Выделение метана на полигонах и отсутствие систем по сбору фильтрата, все это негативно влияет на здоровье человека. Это может привести к таким заболеваниям как: асфиксия, головные боли, заболевания органов дыхания [2].

В конце двадцатого века начали говорить о том, что свалочный газ можно применять в качестве источника альтернативной энергии. Для извлечения вещества был разработан новый способ утилизации таких газов. Его основная идея заключается в том, что отходы кладутся слой за слоем, потом их утрамбовывают при помощи закаточных машин и засыпают слоем глины в несколько дециметров. Данная техника погребения мусора позволяет избежать попадание газа на территорию полигона. На территории свалки устанавливают специальное оборудование, которое отсасывает газ и собирает его в специальные резервуары.

После чего он попадает в специальное газоочистительное устройство, где проходит все этапы очистки от примесей. Следующим этапом газ отправляется на компрессор, где сжимается и становится готовым к последующему использованию [1]. Более подробный сбор свалочного газа представлен на рисунке 1.

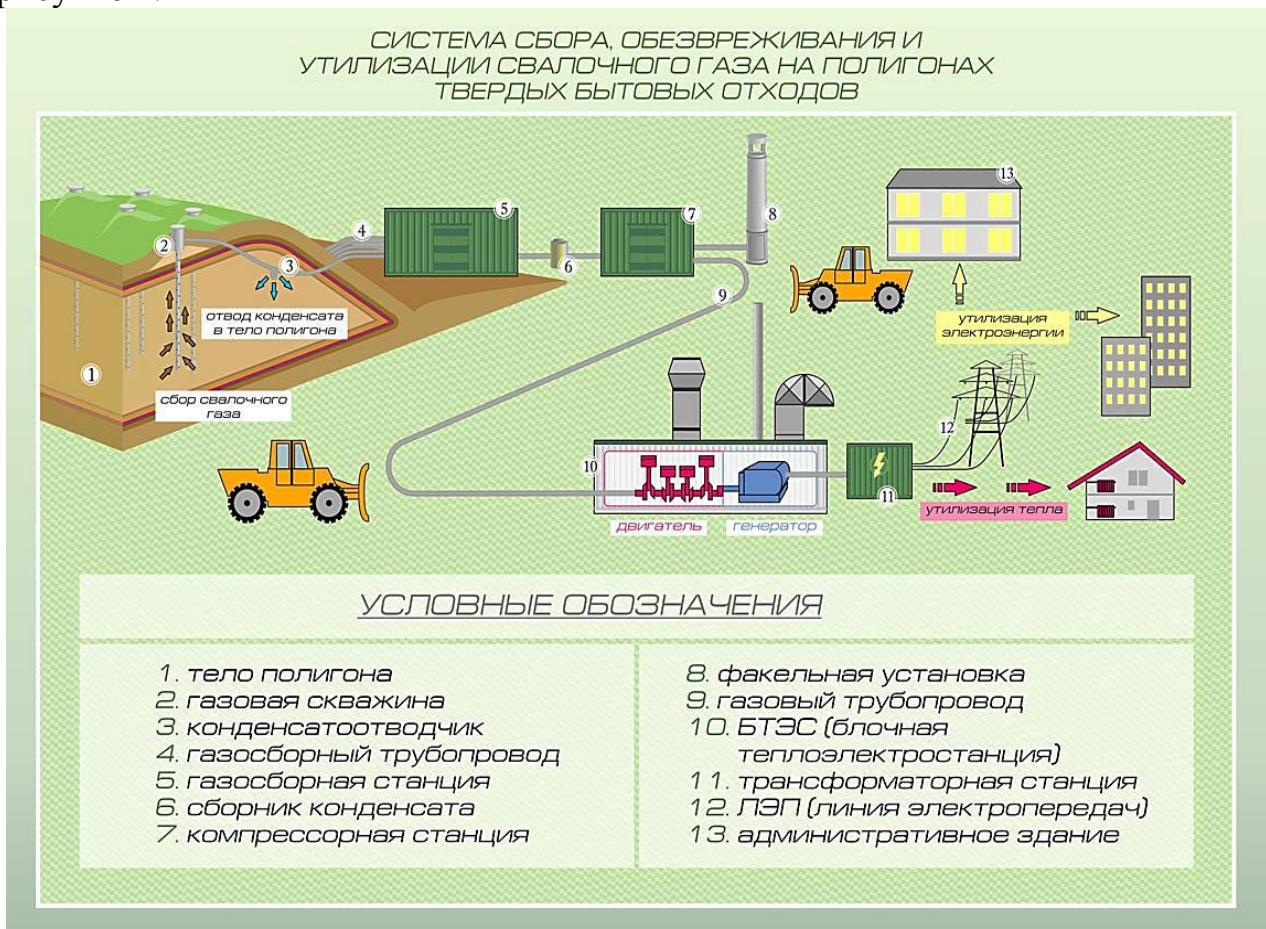


Рисунок 1 – Сбор свалочного газа

Так как свалочный газ содержит большое количество метана, он может использоваться так же, как и традиционный биогаз. Мусороперерабатывающие

заводы используют свалочный газ для получения тепловой энергии, которая отправляется на собственные нужды.

После дополнительной очистки свалочный газ также может быть применен в роле автомобильного топлива (в Китае именно так он и применяется). Так же, полученный таким образом газ можно использовать и в роле экологически чистого топлива для производства электроэнергии. Свалочный газ можно использовать в самых различных целях, что делает его добычу весьма перспективной и удачной для нашей страны [3].

В Беларуси действует не мало установок, а именно 6, работающих на свалочном газе. А самая мощная из них размещается на минском полигоне «Северный» (Рисунок 2). Мощность данной установки 5,6 МВт [4].



Рисунок 2 – СЗАО "ТДФЭкотех-Северный"

### Заключение

Эксплуатация свалочного газа очень полезна для окружающей среды, также она полезна для человека, а именно путем преобразование свалочного газа в полезную альтернативную энергию, при эксплуатации свалочного газа уменьшается выброс ядовитого газа (метана), что и является плюсом для всех живых существ.

Применение свалочного газа в качестве энергоносителя улучшает экономические результаты предприятия, населенного пункта, повышает энергетическую эффективность страны [3].

### Литература

1. Свалочный газ и его производство // [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://ztbo.ru/o-tbo/stati/gaz/svalochnyj-gaz-proizvodstvo-poluchenie-sbor-primenenie> – Дата доступа: 31.10.2023
2. Влияние свалочного газа на здоровье человека // [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://musorish.ru/vliyanie-svalochnogo-gaza-na-zdorove-cheloveka-ekologiiu/> – Дата доступа: 31.10.2023
3. Производство биогаза // [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://zviazda.by/ru/news/20211213/1639379230-proizvodstvo-biogaza-nedorogo-i-ekologichno> – Дата доступа: 31.11.2023
4. Перспективы развития свалочного газа // [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://vitvesti.by/ekologija/kak-iz-musora-poluchat-elektrichestvo.html/> – Дата доступа: 31.10.2023



УДК 628.385

**БИОГАЗ. СОСТАВ И УСЛОВИЯ ПОЛУЧЕНИЯ  
BIOGAS. COMPOSITION AND CONDITIONS OF RECEIPT**

Н.В. Авдеюк, Ю.А. Зайцева

Научный преподаватель – И.Н. Прокопеня, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

N. Audziayuk, Y. Zaitsava

Supervisor – I. Prokopenya, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk

*Аннотация:* в статье затрагивается тема условий получения биогаза. Его элементарный состав и общие сведения.

*Annotation:* the article touches on the topic of conditions for obtaining biogas. Its elementary composition and general information.

*Ключевые слова:* биогаз, метан, органические вещества.

*Keywords:* biogas, methane, organic substances.

**Введение**

Биогаз – это смесь различных горючих газов, образующихся микроорганизмами в процессе анаэробной ферментации биоразлагаемых материалов. Анаэробная ферментация – это биохимический процесс, при котором определенные виды бактерий переваривают биомассу в бескислородной среде, что приводит к образованию  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$  и следов других газов вместе с разложившейся массой.

**Основная часть**

Биогаз получают из любого вида органического сырья, пищевой и перерабатывающей промышленности, сахарных и спиртовых заводов отходов и остатков агропромышленного комплекса (животноводства, птицеводства, растениеводства). Биогаз может производиться в различных установках, которые интенсифицируют процессы расщепления органических веществ путем преобразования их в герметичных резервуарах и поддержании соответствующего микроклимата, который обеспечивается специальным технологическим оборудованием. Продукт биогаза можно использовать как «полностью натуральное» удобрение. Биогаз взрывоопасен, потому что биогаз может состоять из таких газов, которые обладают способностью вызывать взрыв. Он состоит примерно на 60% из метана, а метан взрывоопасен при смешивании с воздухом, поэтому, если биогаз смешать с 10-30% воздуха, это может вызвать взрыв. Также могут взорваться сероводород и аммиак, которые также содержатся в биогазе.

Состав биогаза зависит от условий, при которых происходит анаэробное разложение органического вещества. Как правило, биогаз содержит метан, диоксид углерода, азот, водород, сероводород и кислород. Состав каждого вещества в процентах приведен в таблице 1 ниже

Таблица 1 – Процентное содержание газа в биогазе

Газ	Формула	Процентное содержание, %
Метан	CH <sub>4</sub>	50-70
Углекислый газ	CO <sub>2</sub>	25-50
Азот	N <sub>2</sub>	0-9
Водород	H <sub>2</sub>	0-1
Сероводород	H <sub>2</sub> S	0,1-0,5
Кислород	O <sub>2</sub>	0-0,5

Условия получения биогаза обычно включают в себя:

- Подходящий исходный материал: биогаз можно получать из различных органических отходов, включая животный навоз, биотехнологические отходы, пищевые отходы, растительные отходы и т.д.
- Анаэробные условия: биогаз образуется только в отсутствие кислорода. Это происходит в специальных биогазовых реакторах, таких как биогазовые ямы или биогазовые установки, где органический материал подвергается биологическому разложению в анаэробных условиях.
- Оптимальные температуры и pH: при разложении органического материала бактериями происходит процесс метаногенеза, который оптимально протекает при температуре около 35-40 °C и pH около 7.
- Отсутствие токсичных веществ: некоторые вещества (например, слишком высокая концентрация сероводорода) могут тормозить деятельность метанообразующих бактерий или даже убивать их. Поэтому важно контролировать содержание токсичных веществ в процессе получения биогаза.
- Длительное время разложения: процесс получения биогаза может занимать от нескольких недель до нескольких месяцев, в зависимости от типа используемого исходного материала и условий разложения.

### Заключение

Биогаз является возобновляемым и экологически чистым источником энергии, который может быть использован для выработки электричества и тепла, а также при производстве стекла и удобрений. Он также является одним из возможных способов утилизации органических отходов, снижения выбросов парниковых газов и получения дополнительных доходов для сельскохозяйственных предприятий и других организаций.

### Литература

1. Что такое биогаз? [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://agrobiogas.com.ua/ru/faqs/> – Дата доступа: 31.10.2023
2. Biogas Production Process Steps [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://environmentgo.com/biogas-production-process-steps/> – Дата доступа: 31.10.2023
3. Composition of Biogas [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://collegedunia.com/exams/uses-of-biogas-composition-and-sample-questions-chemistry-articleid-6686> – Дата доступа: 31.10.2023

УДК 697.326

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАРОВЫХ  
И ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ**  
**EFFICIENCY OF USE OF STEAM AND HOT WATER BOILERS**

А.В. Казейка

Научный руководитель – И.Е. Мигуцкий, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

А. Kazeika

Supervisor – I. Migutsky, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** В данной статье преимущества и недостатки паровых и водогрейных котлов. Рассмотрены наиболее важные параметры котлов при выборе для эксплуатации.*

***Abstract:** In this article, the advantages and disadvantages of steam and hot water boilers. The most important parameters of boilers when choosing for operation are considered.*

***Ключевые слова:** теплоснабжение, паровой котел, водогрейный котел, энергоэффективность, техническое обслуживание.*

***Keywords:** heat supply, steam boiler, hot water boiler, energy efficiency, maintenance.*

### **Введение**

Теплоснабжение – это подача горячей воды или пара в систему отопления здания. Обычными источниками теплоснабжения являются ТЭЦ и котельные. Существует два типа теплоснабжения зданий: централизованное и локализованное. При централизованном теплоснабжении тепло подается в отдельные районы (промышленные или жилые). Для обеспечения эффективной работы централизованной сети теплоснабжения она разделена на уровни, причем задача каждого элемента состоит в выполнении одной задачи. С каждым уровнем задачи каждого элемента уменьшаются. Централизованное теплоснабжение – подача тепла в один или несколько домов. Сети централизованного теплоснабжения имеют множество преимуществ, среди которых снижение расхода и стоимости топлива, использование низкосортных видов топлива и улучшение санитарных условий в жилых районах. Системы централизованного теплоснабжения включают в себя источники тепловой энергии (ТЭЦ), тепловые сети и теплопотребляющие установки; на ТЭЦ производится комбинированная выработка тепла и энергии. Источниками тепловой энергии для централизованного теплоснабжения являются печи, котлы и водонагреватели.

Котел – это конструктивно объединенное сложное устройство для передачи тепловой энергии какому-либо теплоносителю путем сжигания топлива, проведения технических процессов и преобразования электрической энергии в тепловую [1].

### **Основная часть**

Паровой котел – это тип котла, который создает пар и использует его для нагрева воды или производства электроэнергии. Он работает, нагревая воду в



своем основании, которая создает пар, поднимающийся вверх по изолированной трубе. Это приводит к повышению давления в трубах, выталкивая из них больше воды и создавая еще большее давление. В результате в верхней части вашей системы образуется пар очень высокого давления, который затем можно использовать для различных целей.

Водогрейный котел – это водонагреватель, который нагревает воду с помощью электрического или газового элемента. Существует два типа водогрейных котлов: безцилиндровые и накопительные (также известные как резервуарные). Его можно использовать в сочетании с электрическим или газовым циркуляционным насосом для циркуляции нагретой воды по всей водопроводной системе вашего дома.

Способ нагрева для каждого типа котлов различен. Водогрейный котел использует нагревательный элемент в резервуаре для воды, в то время как паровой котел использует его в своей паровой камере. Оба типа котлов могут использоваться для нагрева бытовой горячей воды или систем отопления помещений путем прокачки нагретой жидкости по трубам и радиаторам.

Паровые котлы, как правило, более энергоэффективны, поскольку они могут работать при более высоких температурах, что приводит к меньшим потерям тепла из-за теплопроводности и излучения. Кроме того, паровые котлы потребляют меньше топлива для производства того же количества горячей воды, что и аналогичный водогрейный котел.

Важным фактором, который следует учитывать, является уровень воды в паровом котле. Минимальный рекомендуемый уровень воды для котла должен составлять от 1/4 до 1/3 от общего объема, но также важно, чтобы постоянно поддерживали этот уровень на протяжении всей эксплуатации.

Водогрейный котел имеет непрерывную циркуляцию, что означает, что вода постоянно нагревается, а затем циркулирует по системе. Паровой котел не имеет такого типа циркуляции; вместо этого он нагревается только при необходимости.

Паровые котлы используются для коммерческого и промышленного отопления. Они часто используются в больших зданиях, таких как школы, больницы и фабрики, потому что могут быстро выделять много тепла. Для этого в паровых котлах используется пар высокого давления, который при выходе из котла расширяется до пара низкого давления.

Водогрейные котлы используются в системах отопления жилых помещений, поскольку они обычно имеют более низкие энергозатраты по сравнению с другими типами оборудования, такими как кондиционеры или печи.

Помимо большей энергоэффективности, водогрейные котлы также обладают рядом других преимуществ перед паровыми котлами. К ним относятся:

- Более низкая стоимость установки;
- Требуется меньшее количество технического обслуживания;
- Проще в установке и обслуживании, чем паровые котлы, благодаря их более простой конструкции (без пароперегревателей);
- Более гибкие с точки зрения их возможного использования; могут использоваться как самостоятельный блок или интегрироваться в

существующую систему.

Паровые котлы имеют много преимуществ перед водогрейными котлами, в том числе:

- Эффективность. Паровые котлы более эффективны, чем водогрейные. Они производят больше тепла на единицу топлива;
- Долговечность. Паровые котлы служат дольше, чем водогрейные, потому что в них нет компонентов, которые со временем могут выйти из строя, как это происходит с насосами и компрессорами в некоторых системах горячего водоснабжения;
- Многосторонность. Паровой котел может использоваться как в жилых, так и в коммерческих целях.

Также у каждого котла есть свои недостатки. Водогрейные котлы менее эффективны, чем паровые. Установка водогрейных котлов обходится дороже, чем паровых, и может потребовать значительных изменений в системе трубопроводов дома. Водогрейные котлы также более сложны, чем паровые, поэтому их сложнее обслуживать и ремонтировать, если в дальнейшем с ними возникнут проблемы.

Недостатками паровых котлов являются: они требуют большого количества технического обслуживания и ремонта. Паровой котел должен ежегодно проверяться специалистом, чтобы убедиться в его исправности и отсутствии утечек или неисправностей в системе [2].

Паровые котлы стоят дороже водогрейных, поскольку они потребляют не так много энергии по сравнению с другими типами систем отопления, такими как электронагреватели или радиаторы.

Одной из наиболее важных вещей, которую следует учитывать при рассмотрении котлов, является техническое обслуживание.

Паровые котлы требуют большего технического обслуживания, чем системы горячего водоснабжения, поскольку они используют пар для нагрева воды как для бытовых нужд, так и для промышленных процессов, таких как производство и выработка электроэнергии.

Стоимость установки двух типов котлов также различна. Например, установка парового котла обходится дешевле, чем водогрейного, поскольку для нагрева воды не требуется дополнительный теплообменник.

Стоимость установки паровых котлов может варьироваться от 1500 до 5000 долларов. Водогрейные котлы обычно стоят от 1000 до 2000 долларов в зависимости от их размера и требований к мощности [3].

### **Заключение**

В заключение можно сказать, что для отопления используются как паровые, так и водогрейные котлы. Однако они во многом отличаются. У обоих котлов есть свои сильные и слабые стороны. Паровой котел более эффективен, но не очень безопасен. С другой стороны, коммерческий водогрейный котел довольно прост в понимании и эксплуатации, но имеет определенные ограничения. Определение того, что лучше, зависит от требований. Если требуется, чтобы котел производил горячую воду, то лучше подойдут водогрейные котлы. Однако,

если нужен котел для производства пара, паровой котел – это единственный вариант. Кроме того, оба типа имеют разные цели и области применения. Оба этих котла доступны во множестве различных подтипов, уровней эффективности, размеров и т.д. Таким образом, лучше всего пересмотреть требования, чтобы определить, что наилучшим образом соответствует потребностям.

### Литература

1. Википедия [Электронный ресурс]/ Котел (техника). – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Котёл\\_\(техника\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Котёл_(техника)). – Дата доступа: 08.11.2023.
2. Dabonn [Электронный ресурс]/ Steam Boiler vs Hot Water Boiler. – Режим доступа: <https://www.oilboilersfactory.com/steam-boiler-vs-hot-water-boiler/>. Дата доступа: 08.11.2023.
3. YongXing [Электронный ресурс]/ Стоимость парового котла. – Режим доступа: <https://www.yxboiler-factory.com/ru/steam-boiler-cost/>. – Дата доступа: 08.11.2023.
4. Музей энергетики [Электронный ресурс]/ Паровой котел против водогрейного котла. – Режим доступа: <https://energymuseum.ru/parovoj-kotel-protiv-vodogrejnogo-kotla/>. – Дата доступа: 08.11.2023.

УДК 621.181

**ТЕХНОЛОГИИ ПО СНИЖЕНИЮ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА В  
ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВКАХ  
TECHNOLOGIES FOR REDUCING EMISSIONS OF NITROGEN OXIDES  
IN GAS TURBINE INSTALLATIONS**

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 описаны новейшие технологии по снижению выбросов оксидов азота в ГТУ. Рассмотрены способы сокращения вредных выбросов в окружающую среду в соответствии со строгими экологическими нормами.

**Abstract:** This article describes the latest technologies to reduce emissions of nitrogen oxides in GTU. The ways of reducing harmful emissions into the environment in accordance with strict environmental standards are considered.

**Ключевые слова:** выбросы, переключение топлива, повторное сжигание, впрыск, концентрация, рециркуляция.

**Keywords:** emissions, fuel switching, re-combustion, injection, concentration, recirculation.

### Введение

В современном обществе газовые турбины широко используются в различных областях науки и техники. Поэтому для повышения безопасности эксплуатации газовых турбин, используемых для перекачки топлива на ТЭС, необходим более точный контроль.

Строительство таких ГТУ-ТЭС будет способствовать улучшению экологической обстановки, экономии топлива и достижению оптимальной эффективности его использования за счет целесообразного сочетания производства тепловой и электрической энергии.

Проблема снижения вредного воздействия энергетического комплекса на окружающую среду носит глобальный характер, и ее острота в условиях рыночной экономики напрямую связана с вкладом ГТУ-ТЭС в загрязнение поверхности. [1]

### Основная часть

В соответствии со строгими экологическими нормами отрасль сжигания топлива добилась важных успехов в сокращении выбросов  $\text{NO}_x$ , связанных с сжиганием, одновременно повышая энергоэффективность. Эти шаги включают в себя множество новых технологий и практических, проверенных тактик эксплуатации, таких как следующие:

- Переключение топлива.

Одним из простых методов сокращения выбросов  $\text{NO}_x$  в топливе

является переход с топлива с высоким содержанием азота на топливо с пониженным содержанием азота, такое как другое дистиллятное масло, природный газ или газообразный водород, которые по сути являются безазотистым топливом.

- Повторное сжигание природного газа.  
Доказано, что повторное сжигание природного газа обеспечивает снижение выбросов  $\text{NO}_x$  до 75% по сравнению со стандартными горелками. Повторное сжигание предполагает создание «зоны дожигания газа» поверх зоны первичного сжигания, куда впрыскивается природный газ. Создается область, богатая топливом, где  $\text{NO}_x$  реагирует с углеводородными радикалами и образуется молекулярный азот. Этот метод может быть встроен в некоторые конструкции горелок в качестве неотъемлемого эксплуатационного свойства. Горелки, использующие этот метод снижения содержания  $\text{NO}_x$ , должны быть тщательно подобраны по размеру и проверены на наличие эксплуатационных затрат, поскольку диапазон их производительности часто ограничен.
- Горелки с низким содержанием  $\text{NO}_x$ .  
Доказано, что горелки с низким и сверхнизким содержанием  $\text{NO}_x$  снижают выбросы до 50% по сравнению со стандартными горелками. Большой эффективности снижения выбросов можно достичь, комбинируя горелку с системой рециркуляции дымовых газов. Горелки с низким содержанием  $\text{NO}_x$  снижают пиковую температуру пламени за счет сочетания зон принудительной рециркуляции, зон ступенчатого или замедленного горения и снижения локальной концентрации кислорода. Недостатки этих механизмов заключаются в том, что такие конструкции, как правило, дороже обычных горелок, часто требуют большей площади и могут потребовать значительных модификаций печи. Эти решения популярны при объемном нагреве воздуха и низкотемпературных процессах горения.
- Пониженная концентрация кислорода.  
При определенных условиях выбросы  $\text{NO}_x$  будут уменьшаться почти линейно по мере уменьшения избытка воздуха. Уменьшение количества доступного постороннего кислорода в зоне горения удлиняет пламя, что приводит к снижению скорости выделения тепла на единицу объема пламени. Это популярный метод контроля выбросов  $\text{NO}_x$  в трубчатых горелках, печах-восстановителях и других областях применения, где воздух для горения полностью изолирован от процесса, что позволяет точно регулировать уровень кислорода.
- Впрыск пара/воды.  
Снижение локальной концентрации кислорода замедляет горение и снижает температуру развивающегося пламени, следовательно, уменьшает образование термических  $\text{NO}_x$ . Одним из способов достижения этого результата является подача небольшого количества воды или пара в непосредственной близости от пламени. Вода будет

поглощать тепло при образовании пара, что снижает температуру пламени. Кроме того, пар вытесняет доступный кислород, что замедляет скорость горения и еще больше снижает температуру пламени. Этот метод эффективен, но, как правило, снижает эффективность сгорания на 2%, поскольку молекулы воды поглощают часть тепловой энергии. Следует также учитывать влияние микроэлементов в воде. [2]

- Селективное каталитическое восстановление.  
Сверхнизкие выбросы  $\text{NO}_x$  (менее пяти частей на миллион по  $\text{NO}_x$ ) достигаются благодаря использованию технологии селективного каталитического восстановления (СКВ). СКВ – это метод дожигания, который включает впрыскивание аммиачного реагента, такого как аммиак, водный раствор аммиака или мочевины, в присутствии катализатора для превращения  $\text{NO}_x$  в безвредные азот и кислород в выхлопных газах. Не содержащие аммиака растворы с использованием мочевины являются вариантом для пользователей, не склонных к обращению с аммиаком и его хранению. Они могут снизить электрическую нагрузку за счет уменьшения требований к вентилятору по сравнению с рециркуляцией дымовых газов. Распространенной проблемой является прорыв аммиака, который может произойти, когда избыток реагента по разным причинам «проскальзывает» мимо катализатора непрореагировавшим. В некоторых юрисдикциях установлены ограничения не только на выбросы  $\text{NO}_x$ , но и на выбросы аммиака, что усложняет использование СКВ в качестве стратегии борьбы с выбросами.
- Селективное каталитическое восстановление с помощью экономайзеров.  
Включение экономайзера с расширенной поверхностью в СКВ обеспечивает низкий уровень выбросов  $\text{NO}_x$  и более высокую эффективность системы, снижая эксплуатационные расходы. СКВ – это первая фаза системы, преобразующая  $\text{NO}_x$  в азот и кислород. Вторая фаза – экономайзер с ребристой трубкой, улавливающий и перенаправляющий потерянное тепло обратно посредством теплопередачи в питательную или подпиточную воду. Повышение эффективности на один или два процентных пункта может привести к ощутимой экономии затрат.
- Система рециркуляции дымовых газов (СРДГ).  
СРДГ – это хорошо зарекомендовавшая себя технология снижения загрязнения окружающей среды, которая снижает тепловые выбросы  $\text{NO}_x$  за счет снижения температуры пламени горелки и замедления реакции горения. В процессе СРДГ часть дымовых газов, образующихся при горении, перенаправляется в горелку вместе со свежим воздухом, что помогает снизить пиковую температуру пламени и замедляет реакции горения, тем самым уменьшая образование  $\text{NO}_x$ . Одним из недостатков СРДГ является то, что для рециркуляции дымовых газов требуется электроэнергия для дополнительной обработки воздуха. Другая



проблема заключается в том, что не во всех термических процессах можно использовать СРДГ, например, если дымовые газы слишком горячие или содержат слишком много кислорода. [3]

### **Заключение**

Для решения экологических проблем, возникающих при эксплуатации газотурбинных установок, целесообразно ориентироваться на ряд режимных мероприятий, приводящих к снижению  $\text{NO}_x$ . Эти мероприятия не требуют значительных финансовых затрат, не ухудшают технико-экономические показатели работы установки и снижают образование оксидов азота.

С экологической точки зрения целесообразно снижать концентрацию кислорода при сжигании топлива, что значительно уменьшает вредные выбросы. [4]

### **Литература**

1. Центр-эко [Электронный ресурс]/ Влияние энергетики на природную среду и климат. – Режим доступа: [https://centez.ru/problemy/vlianiyeteplovyhelektrostancijnaokruzhayushchuyusredu.html?utm\\_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.by%2F](https://centez.ru/problemy/vlianiyeteplovyhelektrostancijnaokruzhayushchuyusredu.html?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.by%2F). – Дата доступа: 03.10.2023.
2. Helpiks [Электронный ресурс]/ Способы снижения содержания окислов азота в продуктах сгорания. – Режим доступа: <https://helpiks.org/4-77479.html>. Дата доступа: 03.10.2023.
3. Молодой ученый [Электронный ресурс]/ Способ снижения оксидов азота с рециркуляцией дымовых газов. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/84/15539/>. – Дата доступа: 03.10.2023.
4. Studentopedia [Электронный ресурс]/ Мероприятия, направленные на уменьшение выбросов  $\text{NO}_x$ . – Режим доступа: [https://studentopedia.ru/matematika\\_himiya\\_fizika/meropriyatiya--napravlennie-na-umenshenie-vibrosov-nox--snizhenie-vibrosa-soedinenij-seri-v.html](https://studentopedia.ru/matematika_himiya_fizika/meropriyatiya--napravlennie-na-umenshenie-vibrosov-nox--snizhenie-vibrosa-soedinenij-seri-v.html). – Дата доступа: 03.10.2023.

УДК 628.35

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОТЕЛЬНОЙ  
УСТАНОВКИ МЕТОДОМ ГЛУБОКОЙ  
РЕГЕНЕРАЦИИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ  
IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE BOILER PLANT BY THE  
METHOD OF DEEP REGENERATION OF FLUE GASES**

А.А. Телеш, А.С. Семененко, М.А. Грушко

Научный руководитель – И.Е. Мигуцкий, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Telesh, A. Semenenko, M. Grushko

Supervisor – I. Migutski, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** в докладе рассматривается необходимость повышения эффективности работы котельных установок, а также возможность внедрения метода глубокой регенерации дымовых газов в современную энергосистему.

**Abstract:** the report examines the need to improve the efficiency of boiler installations, as well as the possibility of introducing a method of deep regeneration of flue gases into a modern energy system.

**Ключевые слова:** котел, эффективность, дымовые газы, продукты сгорания, воздух.

**Keywords:** boiler, efficiency, flue gases, combustion products, air.

### **Введение**

Котельные установки представляют собой важное звено в энергосистемах, обеспечивая надежное и эффективное энергоснабжение для различных секторов общества.

Современные технологии позволяют значительно увеличить эффективность работы котельной установки с использованием метода глубокой регенерации дымовых газов. Этот подход направлен на оптимизацию процессов, уменьшение энергетических потерь и снижение негативного воздействия на окружающую среду.

### **Основная часть**

Котел является устройством для производства воды или пара. При высоких температурах на котельное оборудование подается пар или вода, при этом наблюдаются различные типы отложений и накипи. Эти отложения могут вызывать перегрев этих поверхностей или снижение эффективности котла (осадки приводят к увеличению теплового сопротивления стены, сокращению расхода охлаждающей жидкости, повышению гидродинамического сопротивления и как следствие, снижению эффективности). В повседневной жизни это явление приводит к снижению экономической эффективности работы и увеличению стоимости обогрева единиц. После формирования отложений и масштаба необходимо осуществить соответствующие меры для очистки и

защиты поверхности, чтобы повысить ее эффективность и экономичность до заданного значения.

В настоящее время температура дымовых газов, отходящих из котла, не бывает ниже 120-130°C по нескольким причинам: во избежание конденсации водяного пара на газопроводах и дымоходах, а также для повышения естественной тяги и понижения давления выхлопных газов. В этом дымовом газе есть полезное тепло и скрытая теплота испарения водяного пара. Используя тепло отработавших газов сгорания и скрытую теплоту испарения водяного пара, его называют глубокой рециркуляцией тепла дымовых газов. Сегодня существуют различные технологии этого метода.

Метод рециркуляции тепла дымовых газов может повысить эффективность топливосберегающей установки на 3-4%, что соответствует снижению расхода топлива в 5-6 кг с 1 Гкал тепла. При введении этого метода в эксплуатацию существуют некоторые технические трудности и ограничения, связанные со сложностью расчета процесса тепломассопереноса при глубокой рекуперации отработанных дымовых газов и необходимостью автоматизации процесса, однако эти трудности решаются с учетом сегодняшнего уровня разработанных технологий. Для широкого внедрения этого метода есть необходимость в разработке руководящих принципов для расчета и установки систем глубокой рекуперации тепла из дымовых газов и принятия правил, запрещающих ввод в эксплуатацию для эксплуатирующихся установок на природном газе без использования глубокой тепловой утилизации дымовых газов. Температура дымовых газов из дымохода напрямую влияет на значение  $q_2$  - потери тепла от выхлопных газов, одного из основных компонентов теплового баланса котла. Например, снижение температуры выхлопных дымовых газов при 40°C с котлом, работающим на коэффициенте избытка природного газа и воздуха, увеличивает эффективность валовой котельной на 1,2%. Это исключает скрытую теплоту испарения продуктов сгорания. На сегодняшний день подавляющее большинство водогрейных и паровых котлов в нашей стране, сжигающих природный газ, не оснащены объектами, использующими скрытую теплоту испарения водяного пара. Это тепло теряется с выхлопными газами.

### **Заключение**

Повышение эффективности работы котельной установки предоставляет несколько значимых преимуществ и имеет важное значение в различных отраслях. Некоторые из основных причин: экономия ресурсов, снижение затрат, экологические преимущества, увеличение производительности, соответствие нормативам и стандартам, сокращение зависимости от энергетических ресурсов, продление срока службы оборудования, повышение конкурентоспособности.

Таким образом, повышение эффективности работы котельной установки приносит пользу как с точки зрения экономии ресурсов, так и с точки зрения социальных и экологических аспектов.

Применение метода глубокой регенерации дымовых газов позволяет существенно повысить эффективность работы котельной установки, сократить расход топлива и снизить негативное воздействие на окружающую среду. Это

комплексное решение, требующее внедрения новых технологий и современных подходов к управлению энергетическими процессами.

### Литература

1. Сидельковский Л.Н., Юренев В.Н. Котельные установки промышленных предприятий: Учебник для вузов. – 3-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1988. – 528с.

2. Повышение эффективности работы котельной [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://scienceforum.ru/2018/article/2018005762> – Дата доступа: 08.10.2023.

3. Повышение эффективности использование газа в котельных установках [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/1193783/page:15/>. Дата доступа: 08.10.2023

УДК 621.578

**ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ  
GEOTHERMAL HEAT PUMPS**

Ф.Д. Башура

Научный руководитель – И.Е. Мигутский, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

F. Bashura

Supervisor – I. Migutsky, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** В данной работе мы рассматриваем последние достижения в области геотермальных тепловых насосов. Освещены технические детали, эффективность системы в различных условиях и перспективы интеграции в централизованные теплоснабжающие системы. Данная работа обсуждает проблемы устойчивости, выявляет экологические преимущества и предлагает рекомендации для дальнейшего развития этой важной технологии.

**Abstract:** In this work we review the latest advances in the field of geothermal heat pumps. Technical details, system efficiency in various conditions and prospects for integration into centralized heat supply systems are covered. This paper discusses sustainability issues, identifies environmental benefits, and offers recommendations for further development of this important technology.

**Ключевые слова:** Тепловой насос, геотермальная энергия, альтернативные источники энергии, энергетическая отрасль.

**Key words:** Heat pump, geothermal energy, alternative energy sources, energy industry.

**Введение**

В эпоху стремительного развития технологий и повышенного внимания к экологическим аспектам, энергетические системы становятся ключевым элементом, определяющим уровень комфорта, экономическую эффективность и устойчивость общества. В этом контексте, геотермальные тепловые насосы выделяются как передовые технологии, предлагающие эффективное и устойчивое решение для обеспечения теплоснабжения и кондиционирования помещений.

Основываясь на принципах термодинамического цикла, геотермальные тепловые насосы эффективно преобразуют тепловую энергию, извлеченную из земли, в тепло для обогрева и кондиционирования. В отличие от традиционных систем, они снижают зависимость от источников энергии, основанных на исчерпаемых ресурсах, и сокращают выбросы вредных веществ в атмосферу. Таким образом, геотермальные тепловые насосы не только обеспечивают высокий уровень энергоэффективности, но и вносят свой вклад в сокращение экологического следа человечества.

В данной научной работе мы предпринимаем попытку глубже понять механизмы работы геотермальных тепловых насосов, выявить их преимущества с точки зрения эффективности и экологической устойчивости. Мы

рассматриваем разнообразие видов геотермальных тепловых насосов, анализируем их применимость в различных климатических и геологических условиях, а также рассматриваем экономические аспекты внедрения данной технологии.

### **Основная часть**

Геотермальные тепловые насосы представляют собой инновационные системы отопления, базирующиеся на использовании тепловой энергии, запасенной в недрах Земли. Эта технология, основанная на принципах термодинамики, обеспечивает эффективное преобразование геотермальной энергии в теплоту для отопления зданий и обеспечения горячей водой. Понимание принципов работы геотермальных тепловых насосов является ключевым элементом для оценки их эффективности и потенциала применения.

Основой работы геотермальных тепловых насосов является цикл термодинамических процессов, который включает в себя испарение, компрессию, конденсацию и расширение. На этом этапе важно рассмотреть принцип работы теплового насоса как системы, которая способна эффективно перемещать тепло из низкотемпературной среды в высокотемпературную.

Поверхностные геотермальные насосы, в основном, используют тепловую энергию, накопленную в верхних слоях земной коры. Эти системы включают в себя замкнутый контур, заполненный теплоносителем, который циркулирует по трубопроводам, погруженным в почву или под водную поверхность. Преобразование жидкости в газ и обратно в жидкость при ее движении через теплообменник и компрессор позволяет насосу извлекать тепло и передавать его в систему отопления.

Глубинные геотермальные насосы проникают в более глубокие слои Земли, где температура стабильнее и обычно выше. Эти системы требуют бурения глубоких скважин для создания замкнутого теплового контура. Вертикальные и горизонтальные коллекторы также используются для улучшения эффективности систем, обеспечивая дополнительный обмен теплом между почвой и теплоносителем.

Эффективность геотермальных тепловых насосов является важным фактором, определяющим их привлекательность как альтернативного источника тепла. Она зависит от множества факторов, таких как геологические условия, климатические особенности региона и правильного проектирования и установки системы. Разработка и внедрение инновационных технологий, таких как улучшенные теплообменники и эффективные компрессоры, способствуют повышению общей производительности системы. Также эффективность оценивается по возможности использования тепла как в зимний, так и в летний периоды. Многие современные системы обеспечивают обратное теплоснабжение, что позволяет им активно применяться для кондиционирования помещений в летний период. Таким образом, геотермальные тепловые насосы обеспечивают круглогодичный комфорт, что повышает их привлекательность как устойчивого источника тепла.

Необходимость перехода к устойчивым источникам энергии делает геотермальные тепловые насосы обещающей технологией для отопления и



обеспечения горячей водой. При рассмотрении экологических выгод геотермальных тепловых насосов следует учитывать сравнение с традиционными источниками энергии. Одним из ключевых преимуществ является снижение выбросов парниковых газов в атмосферу. Геотермальные системы работают на основе тепловой энергии Земли, что делает их чистым источником, не порождающим загрязнения воздуха. Это особенно важно в свете современных экологических проблем и стремления к уменьшению воздействия на окружающую среду.

Также стоит обсудить вопрос экономической эффективности. Несмотря на высокие начальные затраты на установку геотермальных систем, они обычно окупаются в течение нескольких лет благодаря снижению затрат на отопление и кондиционирование в долгосрочной перспективе. Правительства многих стран поддерживают переход на устойчивые источники энергии, предоставляя субсидии и льготы для установки геотермальных тепловых насосов. Таким образом, геотермальные тепловые насосы представляют собой перспективное решение для современных задач обеспечения отопления и горячей водой, обладая не только высокой эффективностью в различных климатических условиях, но и внушительным экологическим и экономическим потенциалом.

Дополнительной сферой применения геотермальных тепловых насосов является интеграция их в системы централизованного теплоснабжения. Подобные проекты могут охватывать как отдельные дома, так и крупные территории. Централизованные геотермальные системы могут предоставлять тепло для большого числа потребителей, что снижает коллективные затраты и улучшает общую энергетическую эффективность.

Одним из ключевых преимуществ геотермальных тепловых насосов является независимость от колебаний цен на энергоресурсы, такие как природный газ или нефть. Это уменьшает уязвимость потребителей к внешним энергетическим колебаниям и содействует созданию стабильной и устойчивой энергетической системы. В перспективе это также может содействовать укреплению энергетической безопасности региона и страны в целом.

Важным аспектом применения геотермальных тепловых насосов является постоянное развитие технологий в этой области. Исследования направлены на улучшение теплообменников, увеличение эффективности компрессоров и разработку новых материалов для более долговечных и надежных систем. Продвинутое технологии также включают в себя "умные" системы управления, которые оптимизируют работу теплового насоса в реальном времени в зависимости от потребностей потребителя и изменений внешних условий.

### **Заключение**

Геотермальные тепловые насосы представляют собой не только эффективное и экологически чистое решение для отопления и горячей воды, но и стратегически важный компонент устойчивого развития энергетического сектора. Их широкое применение требует не только технического совершенствования, но и усилий в области образования и продвижения новых стандартов энергоэффективности. Это позволит эффективно использовать

богатый потенциал геотермальных ресурсов и перейти к более устойчивой, надежной и экологически ответственной энергетике.

### Литература

4. Teplowood.ru [Электронный ресурс.] / Отопление дома геотермальным насосом. – Режим доступа: [https://teplowood.ru/geotermalnyj-teplovoj-nasos.html?ysclid=lpzr64nqvm455409611#google\\_vignette](https://teplowood.ru/geotermalnyj-teplovoj-nasos.html?ysclid=lpzr64nqvm455409611#google_vignette) – Дата доступа: 10.10.2023
5. NOVA GROSS [Электронный ресурс.] / Геотермальное отопление дома – Режим доступа: [https://geoteplo.by/o\\_tehnologii/geotermalnoe-otoplenie/?ysclid=lpzrcgx39c680529422](https://geoteplo.by/o_tehnologii/geotermalnoe-otoplenie/?ysclid=lpzrcgx39c680529422) – Дата доступа: 10.10.2023
6. SCIENCE 6 DEBATE [Электронный ресурс.] / Геотермальные тепловые насосы – принцип работы альтернативных источников энергии – Режим доступа: <https://www.sciencedebate2008.com/geotermalnyye-teplovyye-nasosy/?ysclid=lpzrgkc6x7184555535> – Дата доступа: 10.10.2023
7. ENERGY SAVER [Электронный ресурс.] / Geothermal Heat Pumps – Режим доступа: <https://www.energy.gov/energysaver/geothermal-heat-pumps> – Дата доступа: 10.10.2023

УДК 621.181.25

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОКОТЛОВ В  
КАЧЕСТВЕ РЕЗЕРВНОГО ИСТОЧНИКА ТЕПЛА НА ПРЕДПРИЯТИИ  
USE OF INDUSTRIAL ELECTRIC BOILERS AS A BACKUP HEAT  
SOURCE AT THE ENTERPRISE**

А.П. Каменко,

Научный руководитель – А.А. Бобич, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

А. Kamenko

Supervisor – A. Bobich, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** возможность использования промышленных электродкотлов в качестве резервного источника тепла на предприятии, анализ технических характеристик и экономической эффективности, возможные риски и проблемы.*

***Abstract:** the possibility of using industrial electric boilers as a backup heat source at the enterprise, analysis of technical characteristics and economic efficiency, possible risks and problems.*

***Ключевые слова:** промышленная теплотехника, теплоэнергетика, электродкотлы, резервный источник тепла, экономическая эффективность, теплоснабжение.*

***Keywords:** industrial heat engineering, heat power engineering, electric boilers, backup heat source, economic efficiency, heat supply.*

### **Введение**

Промышленные предприятия в своей деятельности часто нуждаются в надежном и эффективном источнике тепла. Традиционные методы, такие как паровые и газовые котлы, подвержены перебоям и могут не обеспечить необходимую тепловую мощность в случае аварийных ситуаций или планового технического обслуживания. В этой связи становится актуальным исследование возможности использования промышленных электродкотлов в качестве резервного источника тепла на предприятии.

### **Основная часть**

Резервные источники тепла применяют как в автономных, так и в централизованных системах отопления и технологического обогрева. Резервирование исключает перерывы в теплоснабжении и проблемы, связанные с ними.

Так, в ходе отопительного сезона или производственного процесса могут возникнуть нештатные ситуации:

- Плановое или аварийное отключение подачи тепла или газа от центральной сети;
- Выход из строя основного котла;
- Нехватка тепловой мощности по различным причинам (экстремально низкие температуры, изменения технологического процесса и т.д.).

Перерывы в подаче тепла ведут к снижению температуры в помещении вплоть до промерзания и разрыва труб, к нарушениям производственного процесса. Резервирование позволяет избежать всех этих проблем [1].

При выборе промышленных электрических котлов необходимо учитывать ряд критериев, которые будут гарантировать эффективность и надежность работы. Важными аспектами являются мощность котла, его энергоэффективность, степень автоматизации и безопасности. Также следует обращать внимание на стоимость эксплуатации и обслуживания, а также возможность интеграции с другими системами. Правильный выбор промышленного электрического котла позволит оптимизировать производственные процессы и минимизировать затраты на энергию, обеспечивая надежную и эффективную работу предприятия [2].

Электрические паровые котлы могут быть настроены для работы как с паром, так и с горячей водой. Одним из преимуществ таких котлов является их высокая степень модуляции и отсутствие выбросов, а также их стойкость к термическому шоку.

Однако при большой мощности электрические паровые котлы требуют значительного количества установленной электрической мощности. Доступная мощность на сегодняшний день ограничивает возможности данной технологии. Однако продолжается постоянная работа по инновациям, которая в скором времени может привести к созданию электрического котла, способного обеспечивать работу с высокой мощностью, как с паром, так и с горячей водой [3].

Принципиально можно выделить четыре вида электрокотлов различной мощности:

- Тэновые котлы (самые распространенные);
- Электродные (менее распространенные сегодня);
- Индукционные (считаются наиболее современными);
- Высоковольтные котлы большой мощности.

Первые три типа являются маломощными (до 1000 кВт) котлами и паропроизводительностью до 1 тонны в час, ввиду того, что они предусматривают работу с сетью переменного тока напряжением 380 В и частотой 50 Гц. Хотя их и отличает относительно небольшой размер и простота монтажа, они не подходят для крупных предприятий. Также они обладают КПД в диапазоне 90-95%.

Высоковольтные котлы способны поднять мощность до 15000 кВт, КПД при этом составляет 98%. Конструкция котла типа ВЭК подразумевает использование электродов в виде пластин. В этом случае достигается максимальная площадь соприкосновения электродов с теплоносителем. Благодаря этому, нагрев подготовленной воды осуществляется максимально быстро и с меньшими потерями КПД [4].

К преимуществам электрических котлов можно отнести [5]:

- Чистота: отсутствие паров или продуктов горения;
- Быстрый запуск: поднять давление до нужного значения можно в

- течение нескольких минут после пуска, нет необходимости в длительном прогреве или сложных процедурах запуска;
- Минимальное техническое обслуживание: электрические котлы требуют лишь периодической или ежедневной «продувки» для поддержания их эффективности;
  - Сниженные эксплуатационные расходы: электрические котлы могут подавать пар «по требованию», используя автоматически регулируемую систему. Эксплуатационные расходы можно контролировать, сокращая или исключая режим «простоя», когда котел не нужен;
  - Высокий КПД.

К недостаткам электрических котлов можно отнести [5]:

- Высокие затраты на электричество: электродкотлы требуют значительные энергетические ресурсы для своей работы, что может привести к значительному увеличению расходов на электричество;
- Ограниченная мощность: электродкотлы обладают ограниченной мощностью в сравнении с другими топливными источниками энергии. Это означает, что они могут столкнуться с проблемой обеспечения достаточного уровня энергии для энергетических станций высокой мощности;
- Зависимость от электричества: использование электродкотлов означает полную зависимость от электросети. В случае сбоев в поставке электроэнергии может возникнуть проблема в обеспечении непрерывности работы энергетической системы;
- Высокая стоимость обслуживания: введение и поддержание системы электродкотлов может потребовать значительных ресурсов и квалифицированного персонала для обслуживания и ремонта;
- Экологический аспект: хоть использование электрических котлов не имеет выбросов газов и вредных отходов, производство электроэнергии может быть связано с высоким уровнем выбросов на уровне электростанций. Таким образом, окружающая среда может по-прежнему быть негативно затронута в результате использования электрических котлов.

### **Заключение**

Использование промышленных электродкотлов в качестве резервного источника тепла на предприятии представляет собой перспективное направление развития теплотехники. Дальнейшие исследования и практическое внедрение данного подхода могут привести к повышению надежности и эффективности системы теплоснабжения, а также экономической выгоде для предприятия.

Однако, для успешного развития промышленных электродкотлов в Беларуси необходимы инвестиции в инфраструктуру, обучение персонала и разработка соответствующих законодательных и регуляторных механизмов.

### **Литература**

1. Невский [Электронный ресурс] / Преимущества использования промышленных электродкотлов в качестве резервного источника тепла на

предприятия. – Режим доступа: <https://nvsk.net/articles/preimushchestva-ispolzovaniya-promyshlennykh-elektrokotlov/>. – Дата доступа: 18.07.2023.

2. Новитербел [Электронный ресурс] / Какие критерии учитываются при выборе промышленного электродвигателя. – Режим доступа: <https://noviterbel.by/kakie-kriterii-uchityvayutsya-pri-vybore-promyshlennogo-elektrokotla/>. – Дата доступа: 18.07.2023.

3. Atlas Copco [Электронный ресурс] / How to select an industrial steam boiler. – Режим доступа: <https://www.atlascopco.com/en-ua/rental/resources/industrial-steam-guide-temperature-control/industrial-steam-boilers/how-to-select-an-industrial-steam-boiler>. – Дата доступа: 18.07.2023.

4. Сибпромэнерго [Электронный ресурс] / Котлы электрические промышленные. – Режим доступа: <https://sibpromenergo.ru/boiler/elektricheskie/index.html>. – Дата доступа: 18.07.2023.

5. Chromalox [Электронный ресурс] / Packaged systems - steam boilers. – Режим доступа: <https://www.chromalox.com/resources-and-support/design-tools/designguidelines/steam-boilers-selection-guidelines/>. – Дата доступа: 18.07.2023.



УДК 621-182

**ВЛИЯНИЕ ВЫБОРА ТОПЛИВА И ТИПА ТОПКИ НА  
ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ  
THE INFLUENCE OF THE CHOICE OF FUEL AND THE TYPE OF  
FURNACE ON THE EFFICIENCY OF BOILER PLANTS  
OF INDUSTRIAL ENTERPRISES**

А.П. Каменко, Е.А. Русакевич

Научный руководитель – И.Е. Мигуцкий, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

А. Kamenko, E. Rusakevich

Supervisor – I. Migutski, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** целесообразности использования котельных установок в зависимости от типа топки и вида сжигаемого топлива.*

***Abstract:** feasibility of using boiler installations depends on the type of furnace and the type of fuel burned.*

***Ключевые слова:** типы топок, виды топлива в котлах, котельные установки, эффективность.*

***Keywords:** types of furnaces, types of fuel in boilers, boiler installations, efficiency.*

### **Введение**

Выбор топлива для котельных установок промышленных предприятий имеет критическое значение для их эффективной и экономичной работы. Различные виды топлива, такие как уголь, природный газ, нефть, биомасса, источники возобновляемой энергии, имеют разную стоимость, экологический след и технические характеристики, которые оказывают влияние на экономическую эффективность котельных установок промышленных предприятий.

### **Основная часть**

Выбор топлива напрямую влияет на экономические параметры работы котельной, такие как затраты на топливо, эффективность процесса горения, стоимость обслуживания и технические характеристики котельного оборудования. Например, использование природного газа может быть более дорогостоящим в плане затрат на топливо, однако может обеспечивать более высокую эффективность и меньшие выбросы вредных веществ по сравнению с углем.

В контексте современных требований к устойчивому развитию и снижению воздействия на окружающую среду, выбор топлива и его влияние на экономическую эффективность становится еще более актуальным.

Технологические инновации, такие как улучшенные системы очистки выбросов и развитие альтернативных источников энергии, также оказывают влияние на выбор оптимального топлива для котельных установок. Важно учитывать все аспекты, включая экономические, экологические и технические,

при принятии решения о выборе топлива для котельных установок промышленных предприятий [1].

Рассмотрим основные существующие на данный момент топки с разным видом используемого в них топлива.

Камерные топки – это такие топочные пространства, в которых имеется камера, внутри которой происходит сжигание топлива в факеле. Энергетическое топливо подразделяется на три вида: жидкое, твердое, газообразное. На основании этих видов топлива выделяют три разновидности камерных топок: газомазутная, твердотопливная с твердым шлакоудалением и твердотопливная с жидким шлакоудалением. Различия конструкции данных типов топок показаны на рисунке 1.

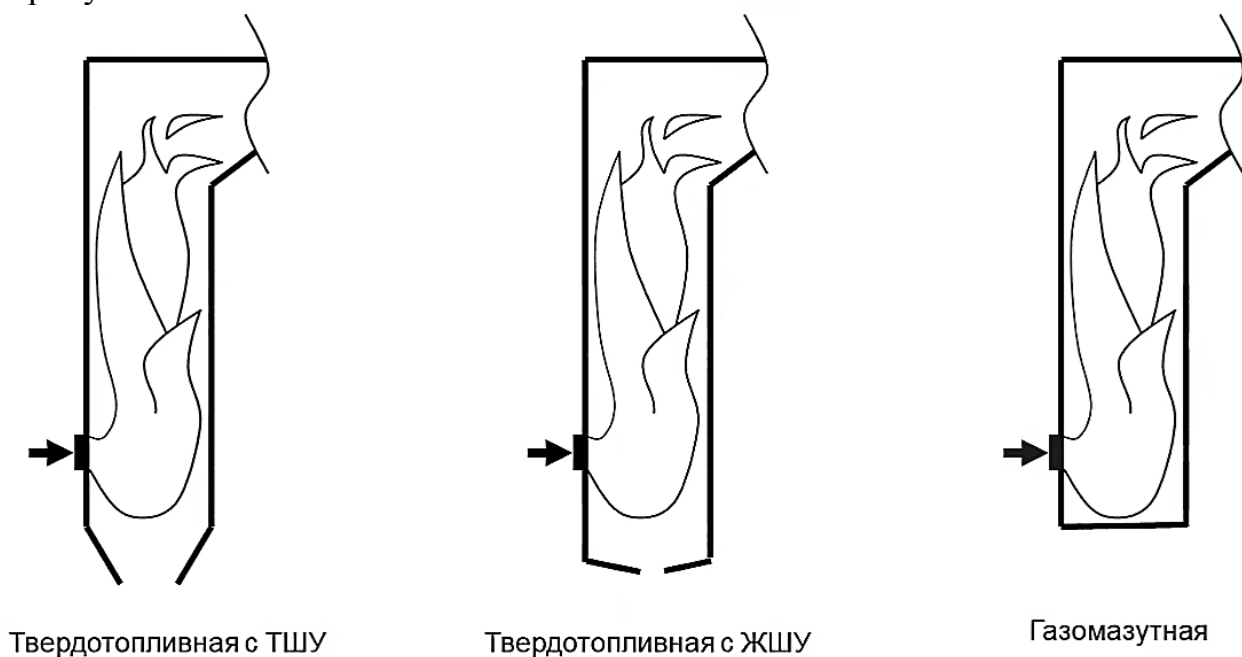


Рисунок 1 – Разновидности камерных топок [2]

Газомазутная топка: из-за того, что в газе и в мазуте отсутствует зола, то нижняя часть топки остается закрытой, потому что все топливо полностью сгорает в топочной камере, и продукты сгорания уходят в дымовую трубу, поэтому нет необходимости в удалении шлаков. На нижней части топочного пространства размещаются горизонтальные поверхности нагрева, на которых, в свою очередь, размещаются теплопринимающие поверхности. Здесь теплота факела воспринимается так же, как и на боковых поверхностях нагрева.

Горелки в данном типе топок выполняются газомазутными, то есть они могут сжигать и газ, и мазут. В современных топках основным топливом является газ, так как его легче доставлять и проще эксплуатировать. Мазут является либо резервным видом топлива, либо от него стараются отказаться, так как стоимость его использования высока.

Твердотопливные топки: здесь выделяют два вида топок: твердотопливная с твердым шлакоудалением и твердотопливная с жидким шлакоудалением. Разновидности топок с жидким шлакоудалением подробнее изображены на рисунке 2.

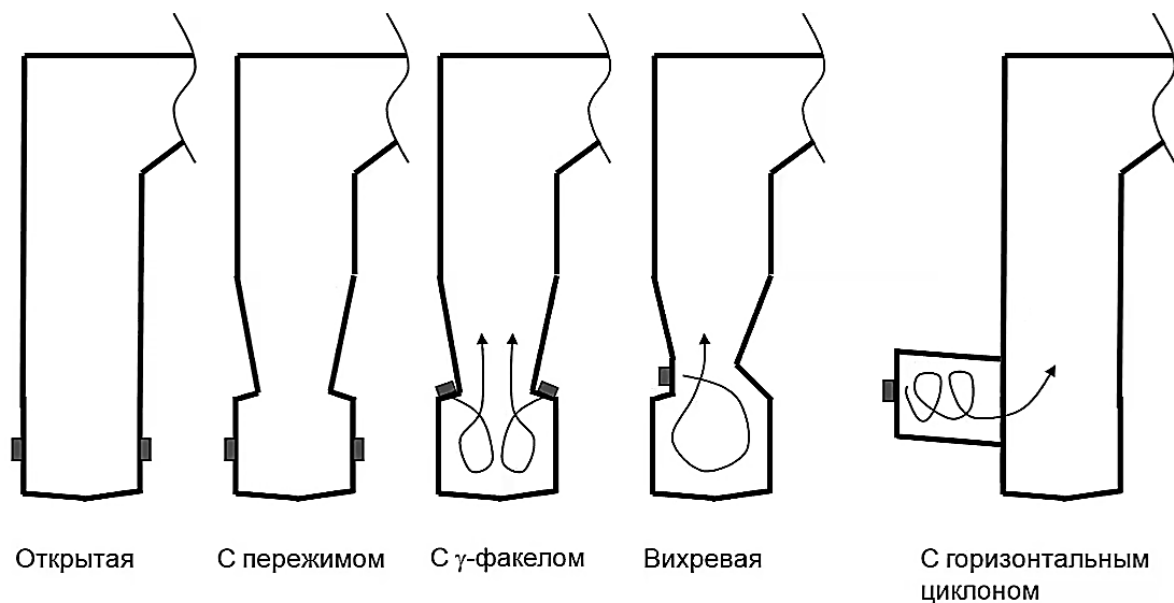


Рисунок 2 – Разновидности топок с жидким шлакоудалением [2]

Эффективность котла будет зависеть от того, насколько качественно обеспечивается сжигание топлива в факеле. Для твердого топлива это зависит от того, все ли топливо сгорело в топочном пространстве или нет. Если имеется какая-то часть топлива, которая не успевает догореть в топке, то эту часть относят к механическому недожогу топлива. Механический недожог появляется из-за того, что в топочном пространстве не хватает длины факела и топливо просто не успевает догореть, «улетая» в дымовую трубу.

В твердотопливной топке с ТШУ 90 процентов золы и продуктов сгорания топлива в виде золы улетают в дымовую трубу, а 10 процентов остается в нижней части топочного пространства. Для организации твердого шлакоудаления температура в нижней части топочного пространства должна быть ниже температуры плавкости золы. После топки делается, так называемая, холодная воронка, в которую и ссыпается твердая зола.

В твердотопливной топке с ЖШУ только 70 процентов золы улетает в дымовую трубу и 30 процентов остается в нижней части топочного пространства. Это позволяет повысить эффективность сжигания топлива, снижая механический недожог. Для этого в нижней части топочного пространства организуют зону высоких температурных напряжений. Здесь температура должна находиться на уровне около 1400 градусов Цельсия, для этого необходимо горизонтально приподнять скаты холодной воронки. При высоких температурах зола в жидком состоянии сливается в шлаковую ванну.

Таким образом получаем, что механический недожог в твердотопливной топке ЖШУ меньше чем в твердотопливной топке с ТШУ, но из-за того, что в нижней части топки ЖШУ температура должна находиться на уровне 1400 градусов Цельсия и количество шлаков составляет 30 процентов от сжигаемого топлива, то потери со шлаком становятся в разы больше, чем в топке с ТШУ, в

которой количество шлаков составляет всего 10 процентов от сжигаемого топлива [2].

Вышеперечисленные котельные установки с газообразным и твердым топливом обладают тепловой мощностью до 14,4 МВт.

Биотопливные вихревые топки: котлы с такими топками могут работать на щепе, опилках, лузге.

Такие котлы способны функционировать даже при высоком уровне влажности топлива, не требуя предварительной сушки. Конструкция вихревой топки исключает образование зоны горения и провала, а значит обеспечивает полное сгорание топлива внутри камеры. Эти агрегаты могут работать даже с очень влажным топливом, содержащим до 60% влаги благодаря интенсивной сушке. Бункер ворошителя для опилок предотвращает застой топлива, обеспечивая равномерное и непрерывное горение.

Подовые топки: системы котлов с подовым горением на древесных отходах используются для сжигания различных типов древесных отходов при естественной влажности, включая сырую и влажную древесину, бревна, горбыль, щепку, кору, опилки, доски, поддоны, а также отходы мебельного производства и ДСП.

Подовая топка изготовлена из огнеупорного кирпича, который создает зону зажигания для сжигания сырого топлива. Специальная система подачи воздуха в топку обеспечивает интенсивную сушку крупных и мелких древесных отходов, а также поддерживает процесс горения топлива. Большой объем топочной камеры позволяет загружать большое количество топлива одновременно. Поворотная камера на выходе из топки выполняет функцию зоны догорания легких и мелких топливных частиц, которые улавливаются потоком уходящих газов [3].

Последние два типа топок имеют преимущество в части количества шлаков, где они составляет всего 2-5 процентов от сжигаемого топлива, но котельные установки, которые их используют обладают мощностью лишь до 1,5 МВт, что делает невозможность их использования на крупных предприятиях и предприятиях, которые находятся на удалении от источника сырья [4].

### **Заключение**

Сравнивая различные типы промышленных котлов, можно сделать вывод, что газовые котлы обладают высокой эффективностью, удобством в эксплуатации и чистотой сгорания. Угольные котлы имеют высокую мощность, но вызывают опасения из-за выбросов вредных веществ. Биомассовые котлы являются экологически чистым и устойчивым вариантом, но требуют более тщательного контроля поступления топлива, а также близость к источнику сырья, например, лесозаготовительной или мебельной фабрике. Также они обладают наименьшей мощностью в сравнении с другими типами котлов.

Поэтому можно сделать вывод, что выбор наилучшего типа котла зависит от потребностей производства, доступности топлива и требований по экологической безопасности.

### Литература

1. Singh, S. Effect of fuel selection on the performance evaluation of boiler efficiency for a commercial unit / S. Singh, P. Tiwari. – Materials Today: Proceedings, 2019. – 68 p.
2. Деев, Л. В. Котельные установки и их использование / Л. В. Деев, Н. А. Балахн – Москва, 1990. – 209 с.
3. Котельный завод РЭП [Электронный ресурс] / Котлы российского производства. – Режим доступа: <https://www.kvzr.ru/boilers-russian-production.html>. – Дата доступа: 10.10.2023.
4. BOOSTER [Электронный ресурс] / Выбор топлива для паровой котельной. – Режим доступа: <https://booster-rus.ru/vazhnoe/vibor-topliva-dlya-parovoy-kotelnoy/>. – Дата доступа: 10.10.2023.

УДК 621.182

**УСТАНОВКА ВОДОГРЕЙНЫХ ЭЛЕКТРОКОТЛОВ  
С ЦЕЛЮ ОТПУСКА ТЕПЛА В ПЕРИОД РАЗГРУЗКИ ТУРБИН  
ПОСЛЕ ВВОДА АЭС  
INSTALLATION OF WATER-HEATING ELECTRIC BOILERS FOR THE  
PURPOSE OF HEAT SUPPLY DURING THE PERIOD OF UNLOADING OF  
TURBINES AFTER THE COMMISSIONING OF  
A NUCLEAR POWER PLANT**

Д.А. Шевко

Научный руководитель – И.Е. Мигуцкий, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

D. Shevko

Supervisor – I. Migutsky, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** В данной статье рассматривается способ снижения избытка электроэнергии после запуска АЭС.*

***Abstract:** This article discusses a way to reduce excess electricity after the start of a nuclear power plant.*

***Ключевые слова:** Электрокотлы, АЭС, электроэнергия, тепло, турбины.*

***Keywords:** Electric boilers, nuclear power plants, electricity, heat, turbines.*

### **Введение**

Цель реализации проекта состоит в обеспечении максимальной загрузки Белорусской АЭС в период спада потребления электрической энергии. С этой целью генерирующее оборудование Минской ТЭЦ-4 в периоды ночного минимума электрической нагрузки разгружается до величины, определяемой необходимостью покрытия тепловых нагрузок потребителей. При установке электрокотлов, в данный период, часть тепловой нагрузки с отборов турбин ТЭЦ передается на вновь устанавливаемое оборудование. В результате передачи части тепловой нагрузки с отборов турбин на электрокотлы снижается потребление органического топлива на ТЭЦ и снижается отпуск электрической энергии от станции на величину потребляемую электрокотлами с учетом снижения теплофикационной выработки, связанной с разгрузкой отборов турбин. Снижение отпуска электроэнергии от ТЭЦ в результате ввода электрокотлов в эксплуатацию компенсируется дополнительной выработкой на АЭС. Здесь следует отметить, что без реализации проекта возникнет объективная необходимость в разгрузке АЭС ввиду ограничения по потреблению электроэнергии и невозможности разгрузки существующего оборудования ТЭЦ и КЭС ниже технического минимума.

### **Основная часть**

Другим методом обеспечения стабильного режима эксплуатации Белорусской АЭС является остановка существующих источников Белорусской энергосистемы. Данный метод характеризуется рядом недостатков: увеличенным расходом топлива, связанным с необходимостью пуска и останова





проведения расчетов по системе в целом влияние системного эффекта определено по тем изменениям, которые вызывает реализация проекта.

### **Заключение**

Таким образом, ввод в эксплуатацию электродвигателей на Минской ТЭЦ 4 позволит избежать необходимости остановки блоков и обеспечит дополнительную выработку электроэнергии на них. В результате реализации проекта расход топлива снизится на пуски-остановы блоков и увеличится на обеспечение дополнительной выработки электроэнергии. Вырабатываемая электроэнергия пойдет на обеспечение выработки тепловой энергии на электроэнергию, таким образом, отпуск электрической энергии потребителям не изменится, а эффект будет обеспечиваться за счет изменения себестоимости.

### **Литература**

1. Развитие теплоэнергетики и гидроэнергетики / И.В.Плачков, В.С. Подгуренко, Н.И. Дунаевская – 2011 – № 3. – с. 220 – М.: Энергоатомиздат
2. Отчеты по технико-экономическим показателям Минской ТЭЦ-4 за последние 5 лет.
3. Стационарные, переменные и пусковые режимы энергоблоков ТЭС / А.Г. Прокопенко, И.С. Мысак – 1990, с. 317 – М.: Энергоатомиздат

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 восстановление 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 замерзнуть. Все это поможет более эффективно проводить спасательные операции во всем мире и спасти 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]

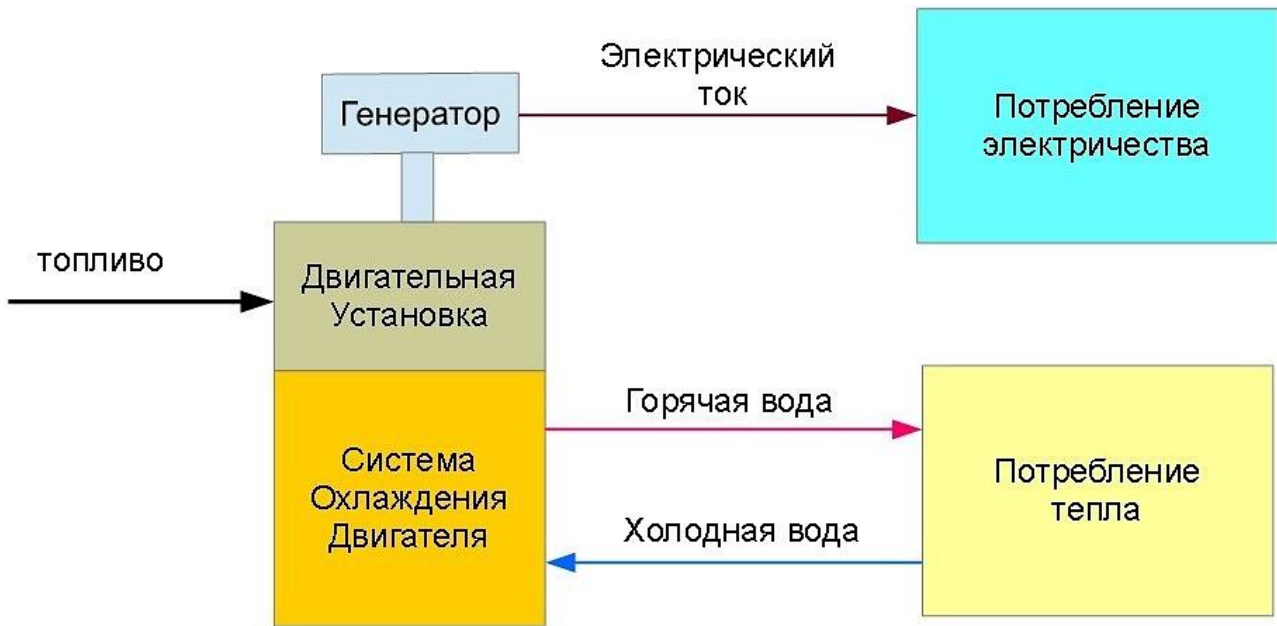


Рисунок 1 – Схема когенерации

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]

Существует несколько типов двигателя Стирлинга. Основные:

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

Для нашей установки мы использовали 40-футовый контейнер, в который установили 42 двигателя Стирлинга шведского производства V2-6, суммарная электрическая мощность которых около 126 кВт.[4]

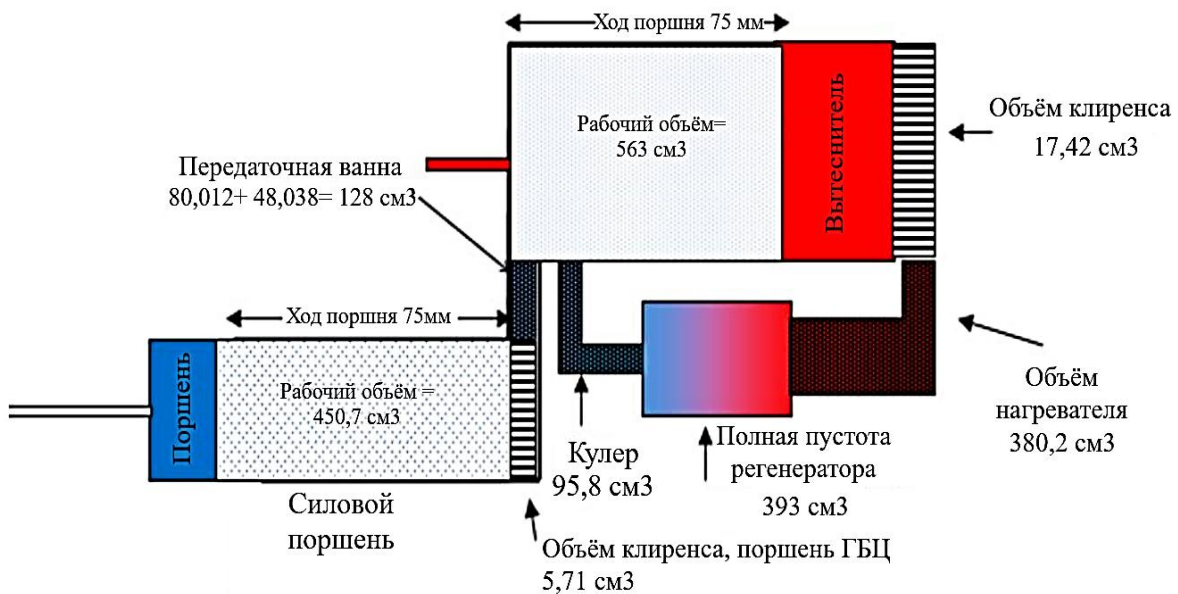


Рисунок 2 – Схема двигателя гамма типа

Диаметр силового цилиндра	8,75 см
Ход силового цилиндра	7,5 см
Пространство сжатия перемещаемого объема	450,7 см <sup>3</sup>
Диаметр цилиндра буйка	9,8 см
Ход цилиндра буйка	7,5 см
Пространство расширения объемного пространства	565,3 см <sup>3</sup>
Трубки в нагревателе	34
Длина трубок нагревателя	39,2 см
Диаметр трубок нагревателя	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

Рисунок 3 – Параметры двигателя V2-6

Данная установка сможет работать за счет сжигания различного газа, жидкого топлива или твердого топлива, например нас пеллетах из различных отходов деревообработки и сельского хозяйства.[5]

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 4 – 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.

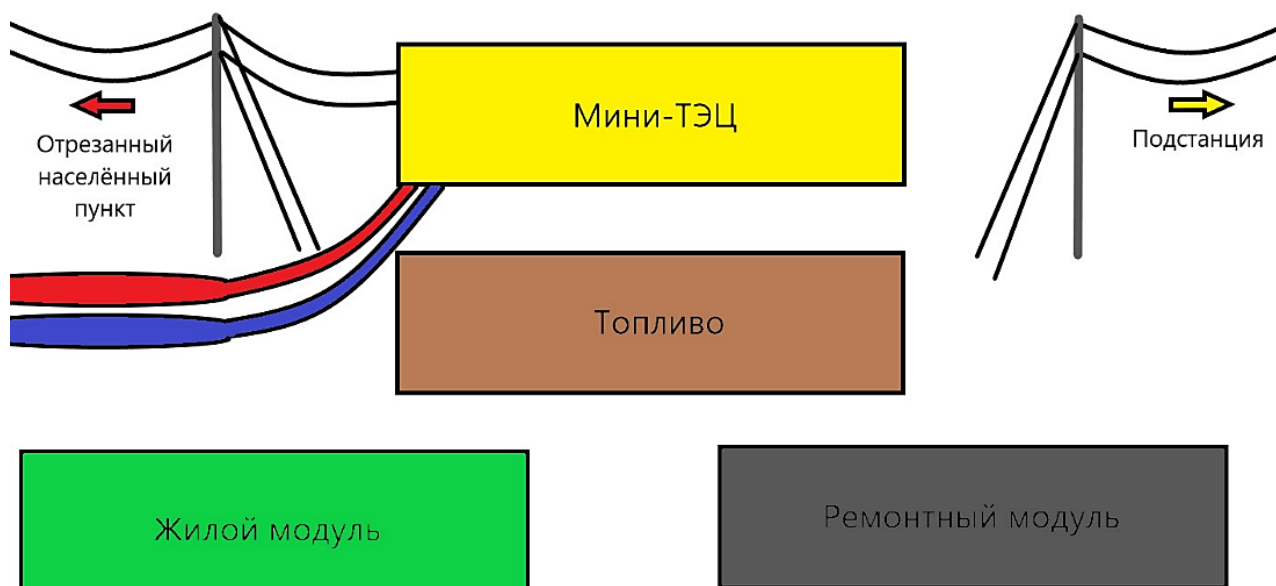


Рисунок 5 - Полная схема мини-ТЭЦ для чрезвычайных ситуаций

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 разворачивается и начинает подавать электрическую и тепловую энергию на отрезанный населенный пункт;
- При предотвращении последствий ЧП станция сворачивается и возвращается на станцию базирования, где проходит техобслуживание и



пополняет недостающее топливо и запчасти.

Рассчитаем сколько электроэнергии выработает мини-ТЭЦ за сутки:

$$E = P \cdot t, \quad (1)$$

где  $E$  – электрическая энергия, кВт·ч;

$P$  – мощность, кВт;

$T$  – время, сч.

$$E = 126 \text{ кВт} \cdot 24 \text{ ч} = 3024 \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (2)$$

при среднем потреблении 7 кВт·ч за сутки одним домом, такой станции хватит, для производство электроэнергии на 400 домов, плюс запас в 224 кВт·ч для обеспечения при пиковых нагрузках.

### 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= 400 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/%D0%9A%D0%BE%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F> – Дата доступа: 10.10.2023.
2. Когенерационные установки с многотопливными двигателями Стирлинга [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://ecoteco.ru/id119/> – Дата доступа: 10.10.2023.
3. Двигатель Стирлинга [Электронный ресурс] Режим доступа: [http://licpnz.ru/index/dvigatel\\_stirlinga/0-348](http://licpnz.ru/index/dvigatel_stirlinga/0-348) – Дата доступа: 10.10.2023.
4. Company introduction and current V2-6 Products [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/22643/4-inresol-introduction-and-products.pdf> – Дата доступа: 10.10.2023.
5. Т.А. Петровская ДВИГАТЕЛЬ СТИРЛИНГА – ПРОРЫВНОЕ РЕШЕНИЕ НАШЕГО ВРЕМЕНИ В ЭНЕРГЕТИКЕ [Электронный ресурс] Петровская Т. А., Мильяненко А. А., Микшель М. С.: материалы Республиканской научно-практической конференции, 25-26 мая 2023 г. / сост. И. Н. Прокопеня. – Минск : БНТУ, 2023.

УДК 621.316.35

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА БИОТОПЛИВА ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНЫХ ЦЕЛЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПО НУЛЕВОМУ УРОВНЮ ВЫБРОСОВ И СНИЖЕНИЮ ПОТРЕБЛЕНИЯ ТОПЛИВНО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ**  
**PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF BIOFUEL PRODUCTION TO ACHIEVE NATIONAL TARGETS FOR ZERO EMISSIONS AND REDUCED CONSUMPTION OF FUEL ENERGY RESOURCES**

М.С. Войлоков, П.А. Брилёв

Научный руководитель – Т.А. Петровская, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

M. Voylokov, P. Brilev

Supervisor – T. Petrovskaya, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

*Аннотация:* Варианты достижения цели по нулевым выбросам путем сокращения спроса на энергию на уровне национальной цели государства

*Abstract:* Energy demand reduction options for meeting national zero-emission targets.

*Ключевые слова:* Топливо энергетические ресурсы, авиация, биотопливо, нулевые выбросы, экология.

*Key words:* Fuel energy resources, aviation, biofuel, zero emissions, ecologic.

### **Введение**

В последние годы в мире наблюдается аномально жаркая погода. Средняя летняя температура летом в Европе составила 19,63°C, что на 0,83°C выше средней температуры за 50 лет наблюдений, а в сентябре превышение составило 0,93°C. Согласно Парижским соглашениям от 2015 года стоит цель по ограничению этого показателя до 1,5°C, однако современные математические модели показывают, что с текущими ограничениями данных целей не достичь. Для улучшения экологической ситуации, кроме развития энергетических систем, использующих возобновляемые источники энергии для энергетики, предлагается разработка современных видов биотоплива подходящего для современного авиатранспорта.

### **Основная часть**

Согласно данным ECMWF, кроме аномально высокой температуры в Европе, также наблюдается общий спад осадков в Республике Беларусь. Это является будущим показателем изменения климатической зоны в РБ. Решением данной проблемы может являться развитие промышленных предприятий для производства биотоплива качества SAF. SAF (Sustainable aviation fuel) или же Устойчивое авиационное топливо – это экологически чистое топливо для реактивной авиации и сертифицированное как экологически безопасное.

Преимуществами разработки и создания такого топлива являются два фактора:

– Оно производится из экологически чистого сырья и по своему

химическому составу является наиболее похожим на современный авиационный керосин.

- Применение устойчивого авиационного топлива позволяет уменьшить выбросы парниковых газов на 80%.

По данным на 2023 год на долю авиации приходится 11% в мировых транспортных выбросах углекислого газа из которых 81% приходится на пассажирское сообщение и 19% на грузовое или же 1,5% в обще мировых выбросах парниковых газов в атмосферу. Введение нового вида топлива сократит этот показатель до 0,3%, что можно будет считать за погрешность в сравнении с автомобильным транспортом. При этом стоит помнить, что создание такого топлива в перспективе поможет в развитии по созданию технологических масел и более дешевого и простого в производстве топлива для автотранспорта.

Биотопливо в большинстве случаев получают путем преобразования биомассы из растительных и отработанных масел, животного жира, отходов сельского хозяйства, целлюлозы, водорослей, сырья для производства сахара и крахмала. Республика Беларусь имеет более 3,5 тысяч фермерских (крестьянских) хозяйств, имеет 4 сахарных завода, имеет запас ресурсов древесины в 1880 млн. м<sup>3</sup> с ежегодным приростом в 50 млн. м<sup>3</sup>. Эти данные показывают разнообразные возможности страны в развитии данного направления.

Создание биотопливного производства в стране поможет развитию государству в нескольких направлениях одновременно:

- Уменьшение закупок топливно энергетических ресурсов, что приводит к экономии валюты и укреплению курса белорусского рубля.
- Уменьшение выбросов отходов животного и растительного происхождения на свалки, что приводит к уменьшению их размеров и уменьшает их негативное влияние на экологию государства.
- Увеличение площадей лесного хозяйства с созданием специальных зон для выращивания и вырубки смолистых пород деревьев, что улучшает экологическую ситуацию в стране.
- Появление новой отрасли промышленности с большим количеством новых рабочих мест.
- Биотопливо может стать новым местным видом топлива для энергетики республики, что даст ему заменить в качестве резервного топлива не экологически чистый мазут.

Как пример эффективности развития в данном направлении можно привести соглашение, подписанное в сентябре 2021 года между Delta Air и Aemestic Inc, о поставках 1,1 млрд. литров SAF-топлива, которое будет поставляться в течении 10-летнего срока. Общая стоимость сделки составляет 1 млрд. долларов.

Стоит учитывать, что данная новая технология будет требовать от своего введения не только изменения текущих законодательных норм, но и перестройку действующих процессов, ведь создание биотопливных систем продлит жизнь котлам имеющих возможность работать на газообразном и жидком топливе, а

биогазовые станции и станции по производству пеллет придется закрыть в связи с их низкой ликвидностью, в сравнении с биотопливом.

### **Заключение**

На сегодняшний день наиболее остро стоит проблема глобального потепления, для решения данной проблемы предлагается использовать современные виды биотоплива SAF улучшения экологической ситуации в РБ. Создание нового вида топлива поможет в решении как экологических, так и географических проблем. Создание новых секторов промышленности поможет в соблюдении Парижских соглашений 2015 года и даст новые пути развития в авиастроении Республики Беларусь.

### **Литература**

1. ECMWF [Электронный ресурс]/ European summer 2023: a season of contrasting extremes. –Режим доступа: <https://climate.copernicus.eu/european-summer-2023-season-contrasting-extremes> – Дата доступа: 19.10.2023.
2. Global Change Data Lab [Электронный ресурс]/ Cars, planes, trains: where do CO<sub>2</sub> emissions from transport come from? –Режим доступа <https://ourworldindata.org/co2-emissions-from-transport> – Дата доступа: 13.09.2023.
3. БелСтат [Электронный ресурс]/ Счета лесных ресурсов в Республике Беларусь, 2022 –Режим доступа [https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/selskoe-hozyaistvo/lesnoe-khozyaistvo/statisticheskie-izdaniya/index\\_58936/](https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/selskoe-hozyaistvo/lesnoe-khozyaistvo/statisticheskie-izdaniya/index_58936/) – Дата доступа: 13.10.2023.
4. Газпром нефть [Электронный ресурс]/ «Газпром нефть» в партнерстве с лидерами авиаотрасли создает технологический альянс для разработки зеленого топлива –Режим доступа [https://www.gazprom-neft.ru/press-center/news/gazprom\\_neft\\_v\\_partnerstve\\_s\\_liderami\\_aviaotrasli\\_sozdaet\\_tekhnologicheskij\\_alyans\\_dlya\\_razrabotki\\_z/](https://www.gazprom-neft.ru/press-center/news/gazprom_neft_v_partnerstve_s_liderami_aviaotrasli_sozdaet_tekhnologicheskij_alyans_dlya_razrabotki_z/) – Дата доступа: 13.10.2023.
5. Нефть капитал [Электронный ресурс]/ Дорого и сложно, но надо: мировая авиация готовится к переходу на SAF–Режим доступа <https://oilcapital.ru/news/2021-12-16/dorogo-i-slozhno-no-nado-mirovaya-aviatsiya-gotovitsya-k-perehodu-na-saf-1029144> – Дата доступа: 16.10.2023.

УДК 620.98

**ОТОПЛЕНИЕ КРУПНОГАБАРИТНЫХ КОРПУСОВ  
HEATING OF LARGE BUILDINGS**

П.Д. Кагочкин, А.С. Шенец

Научный руководитель – И.В. Шкляр, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

P. Kagochkin, A. Shenets

Supervisor – I. Shklyar, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** В данной статье рассмотрены принципы действия воздушно-вентиляционного и инфракрасного отопления. Описаны преимущества и недостатки использования воздушно-вентиляционного отопления, а также решение об интенсификации процесса отопления.

**Abstract:** This article discusses the principle of operation of a transistor based on gallium nitride. The advantages of using this transistor, its properties and applications are described.

**Ключевые слова:** отопление, крупногабаритный корпус, воздушное отопление, инфракрасные излучатели.

**Keywords:** heating, large-sized, air heating, infrared radiators.

**Введение**

Перед белорусскими промышленниками стоит задача модернизации производства, ведь выпуск конкурентоспособной продукции невозможен с устаревшими технологиями. Однако, даже самое ультрасовременное оборудование не сможет изменить ситуацию, если не будет обеспечен надлежащий микроклимат для его работы. Отклонение температуры в рабочей зоне на один градус от оптимальной приводит к снижению производительности труда на 3-4 %, соответственно, ухудшается и качество продукции [1].

**Основная часть**

Особенно проблематичен обогрев крупногабаритных корпусов, в которых размещаются производственные цехи, помещения для складирования деталей и материалов, участки ремонта инструментов и станков, блоки социально-бытового назначения. Эти корпуса представляют собой широкие здания больших габаритов [2-4], их площадь составляет порядка 100 000 м<sup>2</sup>, высота достигает до 20 метров. Такая конструкция позволяет существенно экономить конструктивные элементы (колонны и фундаменты), более рационально использовать производственные площади, сократить эксплуатационные затраты на содержание здания, резко снизить протяженность коммуникаций и расход тепла на отопление.





Рисунок 1 – Участок крупногабаритного корпуса

Долгое время считалось наиболее целесообразным решение задачи создания и поддержания нормируемых параметров микроклимата в рабочих зонах за счет использования воздушного отопления, совмещенного с вентиляцией [5]. Принцип работы этой системы заключается в закачивании наружного воздуха, подогреве его в калориферах (преимущественно водяных) и подаче в цех для восполнения тепловых потерь здания и поднятия температуры в рабочей зоне до требуемой санитарными и технологическими нормами величины. Поскольку подвижность воздуха ограничена санитарными нормами, то входные отверстия для нагретого воздуха расположены выше отметки рабочей зоны - на уровне 2,5-3 м. Горячий воздух устремляется вверх и охладившись опускается вблизи стен в рабочую зону. Учитывая наличие остекленных фонарей, а также тот факт, что по пожарным нормам в качестве легкобрасываемых конструкций [6], как правило, используются элементы кровли, несложно сделать вывод о больших тепловых потерях и нерациональном использовании тепла - температура на уровне размещения крановых балок зачастую превышает температуру в рабочей зоне.

В Советском Союзе, когда цены на газ были низки и затраты на отопление не вносили существенного вклада в себестоимость продукции, такой подход был вполне оправдан. С переходом на рыночные цены возникла дилемма: то ли платить огромные деньги за отопление всего корпуса, то ли обогревать только используемые под производство площади. Однако, существует и другое решение этой проблемы - перейти к более экономному способу обогрева.



Наиболее рациональной альтернативой воздушному отоплению крупногабаритных корпусов является инфракрасный (ИК) обогрев. Его преимущества хорошо известны – прежде всего это высокая энергоэффективность и гигиенические достоинства [7, 8]. Реализация в полном объеме преимуществ ИК-систем возможна только при научном подходе к определению их параметров.

### **Заключение**

Анализ литературных источников показал, что подавляющее число исследований относится к обогреву газовыми излучателями, при этом выработанные рекомендации, в основном, базируются на эмпирических данных. Значительно меньшее количество работ посвящено электрическим нагревателям, что и неудивительно. Еще в советские времена электрообогрев был разрешен только в районах гидроэлектростанций или в поселениях Крайнего севера. В Беларуси до сих пор еще не решены окончательно вопросы, связанные с внедрением электроотопления – не сбалансированы тарифы на потребляемую электроэнергию на обогрев, нет достаточной нормативной базы проектирования.

### **Литература**

1. Аналитическое определение и интерпретация комфортности теплового режима с использованием расчета показателей PMV и PPD и критериев локального теплового комфорта: ГОСТ Р ИСО 7730-2009. – Введ. 07.12.2009. – М.: Стандартинформ, 2011. – 39 с.
2. Михайлов, Г.Н. Проблема комплексности в проектировании промышленных предприятий / Г.Н. Михайлов // Промышленное строительство. – 1980. – № 8. – С. 10-18.
3. Конструкции промышленных зданий / Под ред. А.Н. Попова. – М.: Стройиздат, 1979. – 304 с.
4. Шерешевский, И.А. Конструирование промышленных зданий и сооружений / И.А. Шерешевский. – Л.: Стройиздат, 1979. – 176 с.
5. Бромлей, М.Ф. Проектирование отопления и вентиляции производственных зданий: Учеб. пособие для инж.-строит. вузов / М.Ф. Бромлей, В.П. Щеглов. – М.: Стройиздат, 1965. – 259 с.
6. Производственные здания: СНиП 31-03-2001. – Введ. 01.01.2002. – М.: ФГУП ЦПП, 2001. – 10 с.
7. Мачкаши, А. Лучистое отопление / А. Мачкаши, Л. Банхиди. – М.: Стройиздат, 1985. – 484 с.
8. Ахрамович, А.П. Достоинства и потенциальные возможности систем ИК-обогрева / А.П. Ахрамович, Г.М. Дмитриев, В.П. Колос, А.А. Михалевич // Энергоэффективность. – 2005. – № 7. – С. 10-12.

**СЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА****ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ****ПОЖАРНЫЕ ИЗВЕЩАТЕЛИ**

А.А. Брысин, В.С. Шкробко

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель

**СЕНСОРЫ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА**

Д.В. Кухновец, С.А. Афанасьев

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская ст. преподаватель

**ОПТРОНЫ: КЛАССИФИКАЦИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ**

Д.М. Густарник, М.С. Каминский

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель,

**ШАГОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ**

В.В. Карпинский

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель

**СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКИ**

А.Д. Ткачёва

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель

**ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА НА СУДАХ**

А.А. Скачко, Н.А. Махнач

Научный руководитель – В.В. Зеленко, старший преподаватель

**ПРОБЛЕМА УСТАРЕВШЕЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГЕТИКИ**

А.С. Гурина, А.С. Парфёнова

Научный руководитель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель

**ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ**

Н.В. Рачковский, Д.В. Самандык

Научный преподаватель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель

**ИНТЕГРАЦИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

В.Н. Санько, Д.А. Махонько

Научный руководитель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель

**АНАЛИЗ ПЛАВУЧЕЙ АЭС**

А.В. Шунькевич, А.И. Тишкова

Научный руководитель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель

**ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ В ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ**

К.В. Журавлёва, Н.А. Хотенко

Научный руководитель – Е.Н. Савкова, к.т.н., доцент

**СОВРЕМЕННАЯ РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА**

М.Р. Хританьков, А.А. Цалко

Научный руководитель – Е.Н. Савкова, к.т.н., доцент

**МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

В.В. Дуров

Научный руководитель – Е.Н. Савкова, к.т.н., доцент

**РОЛЬ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЭНЕРГЕТИКЕ**

В.Д. Леонов, Е.В. Ломаченков

Научный руководитель – О.С. Шауро, старший преподаватель

**ЭЛЕКТРОННЫЙ НОС И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ**

А.П. Германович, Т.А. Гришков

Научный руководитель – О.С. Шауро, старший преподаватель

**ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

Е.О. Буча, Д.С. Снитко

Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент

**НЕЭФФЕКТИВНОСТЬ И НЕ ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ ПО СРАВНЕНИЮ С МАШИНАМИ С ДВИГАТЕЛЯМИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

Д.С. Кубрин, А.С. Важник

Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент

**ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

А.И. Лужинская, А.О. Алексеевич

Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент

**ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ**

Н.А. Патенко, П.А. Жуков

Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент

**СБАЛАНСИРОВАННАЯ ЭНЕРГЕТИКА**

А.Р. Чернухо, И.А. Кучеров

Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент

**РОЛЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЕКТОРА В ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА**

Д.Д. Шишко, Е.В. Закревская

Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент

**ПРОБЛЕМЫ ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ: ПОИСК ЭФФЕКТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ И ТЕХНОЛОГИЙ**

А.В. Лагун

Научный руководитель – В.А. Мухина, старший преподаватель

**ЭНЕРГЕТИКА И ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА: СВЯЗЬ И МЕРЫ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ**

П.В. Басюк

Научный руководитель – В.А. Мухина, старший преподаватель

**ЭВОЛЮЦИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АККУМУЛЯТОРОВ**

Е.В. Исаченко

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель

**ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГУЛИРОВКИ УСИЛЕНИЯ, И БЛАГОДАРЯ ЧЕМУ ОНА ТАК РАБОТАЕТ**

М.С. Сергеев, А.В. Ротько

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель

**СИНХРОНИЗАЦИЯ ГЕНЕРАТОРОВ НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ. ПОЛУЧЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ 50 ГЦ В СЕТИ**

Н.А. Драчёв

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель

**ПРИНЦИП РАБОТЫ ГОЛОСОВОГО ПОМОЩНИКА ЯНДЕКС АЛИСА**

К.С. Кухновец, В.В. Суша, М.М. Ровдо

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель

**НАЗНАЧЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ ПРИЕМНИКОВ ПРЯМОГО  
ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И СУПЕРГЕТЕРОДИНА**

М.С. Сергеев, А.В. Ротко

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель

**НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ: ИННОВАЦИИ ДЛЯ  
ЗАЩИТЫ ЖИЗНИ**

Н. Римашевский

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель

**СИНХРОННЫЕ ДЕТЕКТОРЫ**

Е.С. Гузов, П.Н. Слепцов

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель

**СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОТОВЫХ ТЕЛЕФОНОВ**

А.О. Куценко, Я.Д. Горбунов, Р.О. Дербенев

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель

**ЭФФЕКТ ХОРУСА**

Н.В. Лагун, Е.В. Дрозд

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель

**УСИЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ НА ТРАНЗИСТОРАХ И ИНТЕГРАЛЬНЫХ  
МИКРОСХЕМАХ**

П.С. Радиминович, В.А. Блоцкий, А.В. Гончарова

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель

УДК 654.147.7

## ПОЖАРНЫЕ ИЗВЕЩАТЕЛИ FIRE DETECTORS

А.А. Брысин, В.С. Шкробко

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Brysin, V. Shkrobko

Supervisor – T. Zhukovskaya, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** В данной работе введется объяснение принципов работы разных типов пожарных извещателей их назначение и функции. Наглядно рассматриваем схемы приведенных пожарных извещателей.

**Abstract:** This paper will introduce an explanation of the operating principles of different types of fire detectors, their purpose and functions. We visually examine the diagrams of the given fire detectors.

**Ключевые слова:** дымовой, тепловой, аспирационный, точечный, линейный, извещатель.

**Keywords:** smoke, thermal, aspiration, point, linear, detector.

### Введение

Почти все возгорания с гибелью и пострадавшими происходят в жилых домах. Основные причины пожаров – это нарушение правил устройства и эксплуатации электрооборудования, печей, неосторожное обращение с огнем.

Все эти несчастные случаи, а, возможно, и сам пожар можно избежать, если установить в своих жилищах автономные пожарные извещатели. В настоящее время данное устройство является одним из самых эффективных устройств для обнаружения возгорания на ранней стадии. И сейчас мы более подробно про это расскажем.

### Основная часть

Дымовой точечный пожарный извещатель. Самый распространенный тип, который можно встретить повсеместно. Рассмотрим принцип работы точечного дымового пожарного извещателя на модели ИП212-41(рисунок 1).

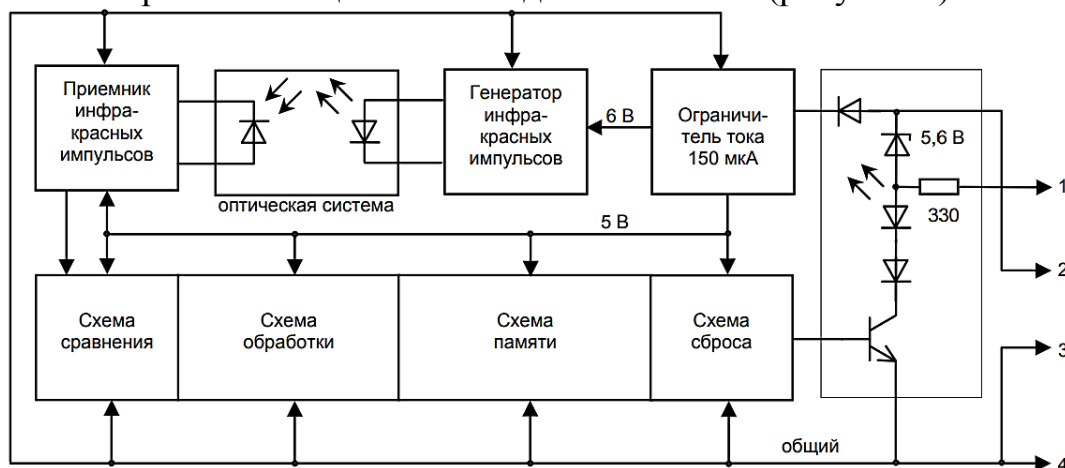


Рисунок 1 – Структурная схема извещателя ИП212-44

Принцип действия извещателя ИП212-44 основан на контроле оптической плотности окружающей среды путем сравнения с пороговым значением амплитуды отраженных от частиц дыма импульсов инфракрасного излучения, которые формируются схемой самого извещателя. Контроль оптической плотности среды осуществляется с периодичностью примерно 1с импульсами длительностью от 40 до 60 мкс. Контроль превышения порога срабатывания производится в интервале не менее 20 мкс в конце проверочного импульса, что позволяет исключить самосрабатывание извещателей при воздействии высокочастотных электромагнитных полей. Устойчивость работы извещателя при воздействии помех промышленной частоты и фоновой освещенности от искусственных источников света достигается применением во входном усилителе низкочастотного фильтра. Проще говоря, датчик и излучатель находятся в одном корпусе, соответственно, при попадании дыма в корпус, световой поток отражается (диффузное рассеивание) и датчик начинает улавливать инфракрасный свет.

Подобные устройства распространены просто потому, что они компактны, дешевы и их очень легко устанавливать (рисунок 2). Но у точечных оптических дымовых извещателей есть и недостатки.

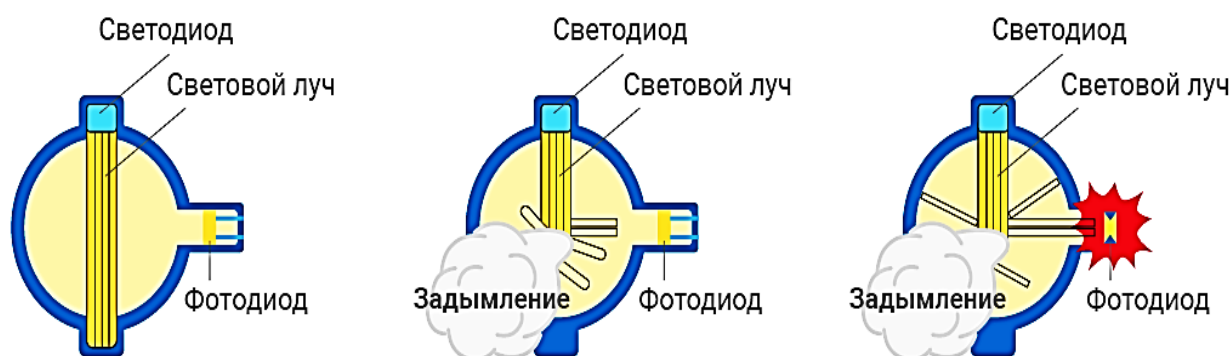


Рисунок 2 – Схема принципа работы пожарного датчика

Во-первых, они крайне плохо реагируют на черный дым, который очень хорошо поглощает инфракрасное излучение. То есть, ни о каком рассеивании (как в случае с белым или серым дымом) речи не идет.

Во-вторых, они эффективно работают только в небольших зонах. Их можно использовать в небольших комнатах, но вот для помещений с большим объемом пространства и высокими потолками их эффективность находится под вопросом.

Последнее можно решить увеличением количества дымовых извещателей, но в этом случае теряется их главное преимущество: дешевизна. Подобные устройства имеет смысл использовать в квартирах, частных домах или небольших офисных помещениях.

#### Тепловой точечный пожарный извещатель

Тепловой пожарный извещатель - это устройство, которое используется для обнаружения повышенной температуры и возгораний. Он является одним из основных компонентов системы пожарной сигнализации и используется для предупреждения о пожаре.



Тепловые пожарные извещатели могут быть разных типов, включая фиксированную температуру и температурную скорость. Фиксированные температурные извещатели активируют сигнал тревоги, когда температура окружающей среды превышает предварительно заданную установленную уровень. Этот тип извещателей особенно полезен в помещениях с предполагаемо высокой температурой окружающей среды или в зонах, где возможно повышение температуры в результате деятельности или процессов. Температурно-скоростные извещатели активируются, когда температура в помещении изменяется со значительной скоростью. Это могут быть помещения, в которых быстро изменяются условия или в которых может происходить развитие пожара с высокой скоростью. Тепловые пожарные извещатели могут быть установлены в различных помещениях, включая жилые, коммерческие и промышленные здания. Они могут быть применены внутри помещений, так и на открытом воздухе, в зависимости от конкретных требований системы пожарной сигнализации.

Основной компонент теплового пожарного извещателя - это термодатчик или тепловой элемент. Термодатчики обычно состоят из материала, который расширяется или меняет свои физические свойства при повышении температуры. Наиболее распространенные типы термодатчиков включают терморезисторы (NTC, PTC) или биметаллические элементы.

При достижении пороговой температуры, предварительно установленной для конкретного извещателя, тепловой элемент меняет свое состояние. Например, терморезистор изменяет своё сопротивление, а биметаллический элемент выпрямляется или изгибается. Это изменение состояния термодатчика инициирует активацию сигнала тревоги. Сигнал тревоги обычно передается центральной панели управления пожарной сигнализации, которая в свою очередь активирует звуковые и визуальные оповещатели, а также может инициировать дальнейшие аварийные мероприятия, такие как автоматическое отключение электроизоляции, пуск системы пожаротушения или вызов пожарной команды.

Линейный тепловой извещатель.

Линейный тепловой извещатель - это устройство, которое используется для обнаружения изменений температуры и возможного возгорания. Он работает на основе принципа расширения материала при нагреве.

Линейные тепловые извещатели обычно устанавливаются вдоль стен или потолков и могут быть применены в различных помещениях, включая жилые и коммерческие здания, склады и промышленные объекты. Они могут использоваться как самостоятельные извещатели или в комбинации с другими типами детекторов, такими как дымовые извещатели.

Тепловой линейный пожарный извещатель состоит из двух основных частей: термокабель и модуль контроля термокабеля (рисунок 4-5).



Рисунок 3,4 – Модуль контроля термокабеля, термокабель

Модуль контроля термокабеля представим на модели МТС-D центральный блок, аналоговый. Используется для обеспечения обработки, измерения и отображения информации о состоянии термокабелей, и выносных Модулей преобразователя, к которым непосредственно подключается термокабель. Такое построение, а также используемые алгоритмы обработки не только упрощают процесс установки и пусконаладки, но еще и обеспечивают очень высокую точность определения расстояния до места сработки термокабеля. Основным принцип работы линейного теплового извещателя заключается в том, что он состоит из проводника, который расширяется при нагреве. Проводник обычно изготовлен из специального материала, такого как никелин. Когда температура в окружающем пространстве поднимается, материал проводника начинает расширяться, вызывая изменение его электрического сопротивления. Это изменение сопротивления обнаруживается самим извещателем, и он активирует сигнал тревоги. Одним из преимуществ линейных тепловых извещателей является их способность обнаруживать изменения температуры в определенной зоне и предупреждать о потенциальной опасности, даже если само возгорание происходит далеко от извещателя. Это делает их особенно полезными для помещений с высокими потолками или где возможно образование задымления. Кроме того, линейные тепловые извещатели имеют высокую надежность и устойчивость к внешним воздействиям, таким как пыль, влага и агрессивные среды. Они также обычно имеют возможность настройки чувствительности, что позволяет адаптировать их работы к конкретным условиям помещения. В целом, линейные тепловые извещатели являются эффективным средством обнаружения пожара и широко применяются в системах пожарной сигнализации для обеспечения безопасности в зданиях и помещениях различного назначения.

Аспирационный извещатель.

Аспирационный извещатель (или ИПРА – интеллектуальная пожарная радиоаппаратура) – это приспособление, используемое для раннего обнаружения опасных или возгораемых газов, паров и горячих газов.

Принцип работы аспирационного извещателя основан на том, что устройство притягивает и анализирует воздух из окружающей среды с помощью

встроенных датчиков или пробоотборников. Затем полученные данные обрабатываются и анализируются, чтобы обнаружить наличие заданного вещества или опасности. Если вещество обнаружено, аспирационный извещатель отправляет сигнал в пульт управления или систему безопасности, чтобы активировать соответствующие меры предосторожности.

Аспирационные дымовые извещатели однозначно превосходят два предыдущих типа, однако они очень дороги. Они производят забор воздуха и его последующий анализ, с помощью которого могут определить даже очень слабое задымление.

Именно такие приборы используются в музеях, больницах, складах с дорогостоящим оборудованием и других объектах, где цена обеспечения пожарной безопасности не имеет значение, а на первое место выходит скорость.

### **Заключение**

В данной теме мы изучили и рассмотрели виды пожарных извещателей, а также их подвиды. Более наглядно рассмотрели принцип работы каждого из них. Выявили достоинства и недостатки рассматриваемых извещателей. Подводя итоги, мы пришли к выводу, что для помещений не больших размеров лучше всего подходят дымовые пожарные извещатели. А для промышленных объектов, складов и коммерческих зданий более целесообразным является использованием тепловых линейных пожарных извещателей. В то же время для защиты социально значимых объектов, таких как: музей, больница, склады с дорогостоящим оборудованием, где цена обеспечения пожарной безопасности не имеет значение, а на первое место выходит скорость, используются аспирационные извещатели.

### **Литература**

1. Пожарные извещатели (Электронный ресурс) <https://www.unibelus.by/> - Дата доступа 25.10.2023.
2. Пожарные извещатели (Электронный ресурс) <https://bezopasno.by/catalog> – Дата доступа 25.10.2023.
3. Пожарные извещатели (Электронный ресурс) <https://uyrga.bezformata.com/listnews/chem-polza-pozharnih-izveshateley/111668133/> – Дата доступа 25.10.2023.
4. Пожарные извещатели (Электронный ресурс) [https://pb-russia.ru/doc/pb\\_info/Fire\\_detector\\_Statya/](https://pb-russia.ru/doc/pb_info/Fire_detector_Statya/) – Дата доступа 25.10.2023.
5. Пожарные извещатели (Электронный ресурс) <https://www.unitest.ru/about/publication/vidy-izveshchateley.html> – Дата доступа 25.10.2023.

УДК 621.389

**СЕНСОРЫ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА  
SENSORS AND MEASURING DEVICES**

Д.В. Кухновец, С.А. Афанасьев

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская ст. преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

D. Kuhnovets, S. Afanasev

Supervisor – T. Zhukovskaya, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** Современное общество находится в постоянном поиске более точных и надежных методов измерения различных параметров, таких как температура, давление и влажность. Это обусловлено необходимостью точных данных для научных и инженерных исследований, а также для обеспечения качественного контроля процессов в промышленности. Одним из ключевых элементов в области измерений являются сенсоры и измерительные устройства. Настоящая научная работа посвящена разработке новых типов сенсоров и усовершенствованию методов калибровки для обеспечения более точных и надежных измерений.

**Abstract:** Modern society is in a constant search for more accurate and reliable methods of measuring various parameters such as temperature, pressure and humidity. This is due to the need for accurate data for scientific and engineering research, as well as to ensure quality control of processes in industry. One of the key elements in the field of measurements are sensors and measuring devices. The present research work focuses on the development of new types of sensors and improved calibration methods to provide more accurate and reliable measurements.

**Ключевые слова:** Сенсоры, Эффект Холла, Трансформатор, Датчик Холла, Измерительные устройства.

**Keywords:** Sensors, Hall effect, Transformer, Hall sensor, Measuring devices.

**Введение**

Сенсоры и измерительные устройства играют важную роль в современном мире, обеспечивая сбор и анализ данных о различных параметрах окружающей среды. Разработка новых типов сенсоров и усовершенствование методов их калибровки имеют решающее значение для точности и надежности измерений. В данной научной работе будут рассмотрены основные аспекты разработки новых сенсоров и совершенствования методов калибровки и калибровочных устройств.

**Основная часть**

Разработка новых типов сенсоров.

Температурные сенсоры. Температурные сенсоры являются одними из наиболее распространенных типов сенсоров. Для повышения их точности и функциональности проводится исследование новых материалов для изготовления терморезисторов и термопар, а также разработка инновационных методов измерения температуры.

Как известно, термопара содержит два спая, поэтому для правильного и точного измерения температуры на одном (первом) из спаев, необходимо поддерживать другой (второй) спай при известной постоянной температуре, чтобы измеренная ЭДС оказывалась явной функцией температуры только первого спая – главного рабочего спая.

Так, с целью поддержания в термоизмерительном контуре условий, при которых паразитное влияние ЭДС второго («холодного спая») было бы исключено, необходимо как-то компенсировать в любой рабочий момент времени напряжением (рисунок 1).

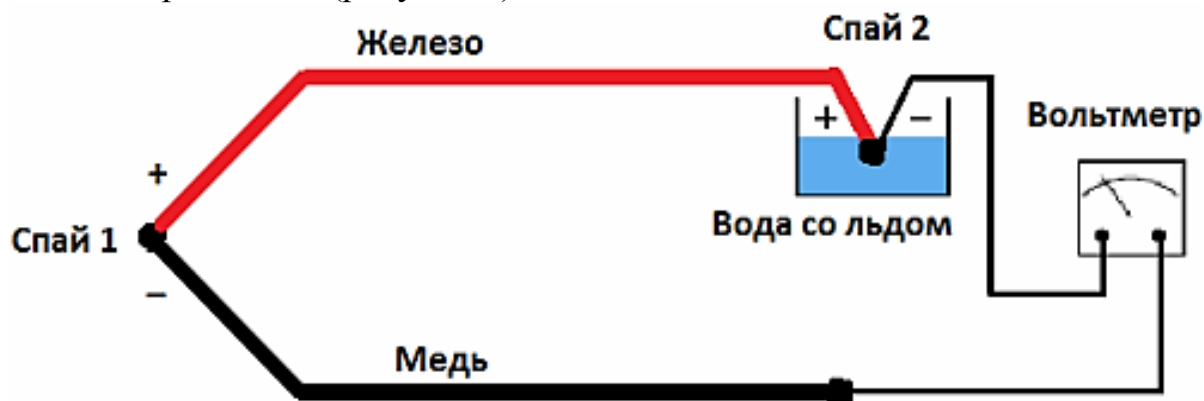


Рисунок 1 – Термоизмерительный контур, в котором 2 спай погружен в воду со льдом.

С целью достижения правильных условий, можно прибегнуть к незамысловатой хитрости: поместить второй спай (места присоединения проводов первого спая с измерительным прибором) в емкость с ледяной водой – в заполненную водой ванночку, в которой еще плавает лед. Таким образом получим на втором спая фактически постоянную температуру таяния льда.

После чего останется, отслеживая результирующее напряжение на термопаре, вычислять температуру первого (рабочего) спая, ибо второй спай будет находиться в неизменном состоянии, напряжение на нем будет константой. Цель в итоге будет достигнута, влияние «холодного спая» окажется скомпенсировано. Но если так делать, то получится громоздко и не удобно (рисунок 2).



Рисунок 2 – Термоизмерительный контур, в котором влияние «холодного спая» скомпенсировано.



Чаще термопары применяются все же в мобильных портативных устройствах, в переносных лабораторных приборах, поэтому нежен другой вариант, ванночка с ледяной водой разумеется нам не подходит.

И такой иной способ есть – метод компенсации напряжения от изменяющейся температуры «холодного спая»: присоединить последовательно к измерительному контуру источник дополнительного напряжения, ЭДС которого будет иметь противоположное направление и по величине будет всегда точно равна ЭДС «холодного спая».

В случае, если ЭДС «холодного спая» непрерывно отслеживается путем измерения его температуры иным способом нежели термопара, - тогда равную компенсирующую ЭДС можно непрерывно тут же прикладывать, сводя суммарное напряжение паразитного участка цепи к нулю.

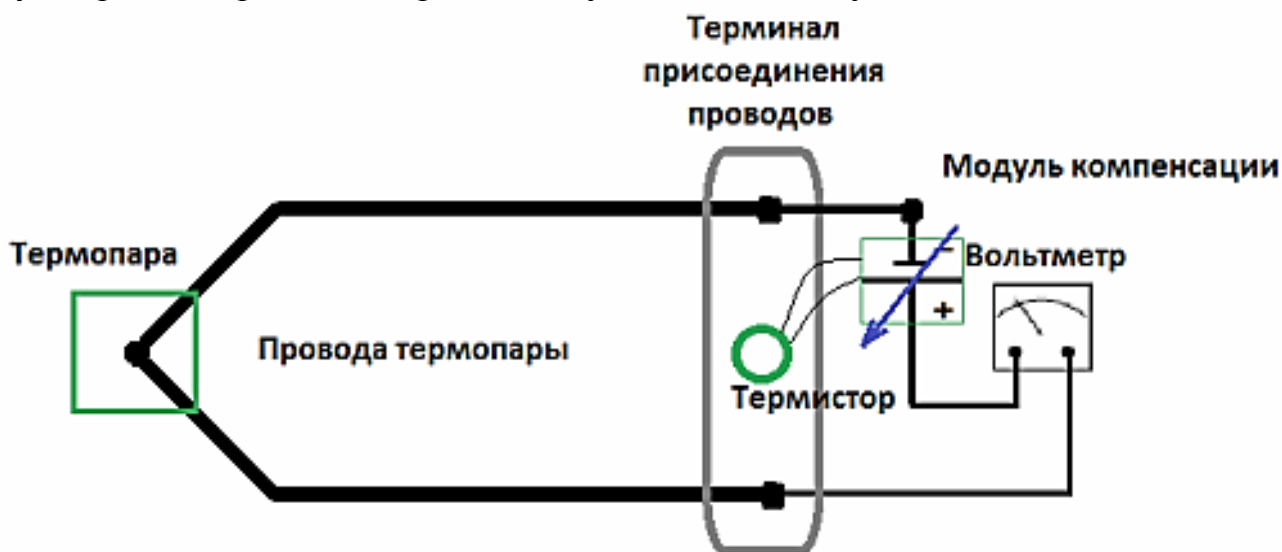


Рисунок 3 – Термоизмерительный контур соединенный с типовой электроникой

Для этого подойдет термистор или термометр сопротивления, соединенный с типовой электроникой, которая и будет автоматически формировать компенсирующее напряжение необходимой величины. И хотя «холодный спай» не обязательно может быть буквально холодным, его температура, как правило, не такая уж экстремальная, какая может быть у рабочего спая, поэтому обычно подходит даже термистор.

$$U_{\text{вольтметра}} = U_{\text{спая1}} - U_{\text{спая2}} + U_{\text{компенсации}}, \quad (1)$$

Доступны специальные электронные компенсирующие модули «температуры таяния льда» для термопар, задача которых в том и состоит, чтобы подавать точное противоположное напряжение в измерительную цепь.

Значение компенсирующего напряжения от такого модуля поддерживается на таком значении, чтобы точно компенсировать температуру точек присоединения проводников термопары к модулю. Температура точек присоединения (на терминале) измеряется термистором или термометром сопротивления, и точно необходимое напряжение автоматически прикладывается последовательно в цепь.



Электрические датчики давления. Электрические датчики давления применяются во многих отраслях, включая авиацию, медицину и промышленность. Разработка микромеханических сенсоров с использованием нанотехнологий позволяет создавать более компактные и высокочувствительные датчики давления. Кроме того, исследования направлены на улучшение устойчивости к воздействию агрессивных сред и высоких температур.

Любой электрический датчик давления включает в себя: чувствительный элемент, служащий для передачи воздействия на первичный преобразователь, схему обработки сигнала и корпус. Принципиально электрические датчики давления подразделяются на:

- Резистивные (тензорезистивные);
- Пьезорезонансные;
- Индуктивные (магнитные);
- Оптоэлектронные.

Резистивный или тензорезистивный датчик давления – это устройство, чувствительный элемент которого изменяет свое электрическое сопротивление под действием деформирующей нагрузки. Тензорезисторы устанавливаются на чувствительную мембрану, которая под давлением изгибается, и изгибает прикрепленные к ней тензорезисторы. Сопротивление тензорезисторов меняется, и соответственно меняется величина тока цепи первичного преобразователя. Тензорезистивные датчики отлично подойдут для оценки уровня давления, силы нажатия и измерения веса.

Далее рассмотрим пьезорезонансные датчики давления. В пьезорезонансных датчиках давления работает обратный пьезоэффект, при котором пьезоэлектрик деформируется под действием подаваемого напряжения, и чем больше напряжение, тем сильнее деформация. В основе датчика – резонатор в форме пластины из пьезоэлектрика, с двух сторон которой нанесены электроды. При подаче на электроды переменного напряжения, материал пластины вибрирует, изгибаясь то в одну, то в другую сторону, и частота вибрации равна частоте подаваемого напряжения.

Еще один тип электрических датчиков давления, отдаленно похожих на емкостные – индуктивные или магнитные датчики. Проводящая мембрана, чувствительная к давлению, расположена на некотором расстоянии от тонкого Ш – образного магнитопровода, на среднем керне которого намотана катушка. Между мембраной и магнитопроводом выставлен воздушный зазор.

Последний тип датчиков давления, который мы рассмотрим – оптоэлектронные датчики. Они довольно просто детектируют давление, имеют высокую разрешающую способность, обладают высокой чувствительностью, и термостабильны. Работающие на основе интерференции света, использующие для измерения малых перемещений интерферометр Фабри-Перо, эти датчики особо перспективны. Кристалл оптического преобразователя с диафрагмой, светодиод, и детектор, состоящий из трех фотодиодов – вот основные части такого датчика.

Датчики Холла. Эффект Холла служит достаточно верным методом определения типа носителей заряда (дырочный или электронный) в полупроводнике или металле.

На основе эффекта Холла теперь изготавливают датчики Холла, приборы для измерения напряженности магнитного поля и определения силы тока в проводнике. В отличие от трансформаторов тока, датчики Холла дают возможность измерять и постоянный ток (рисунок 4).

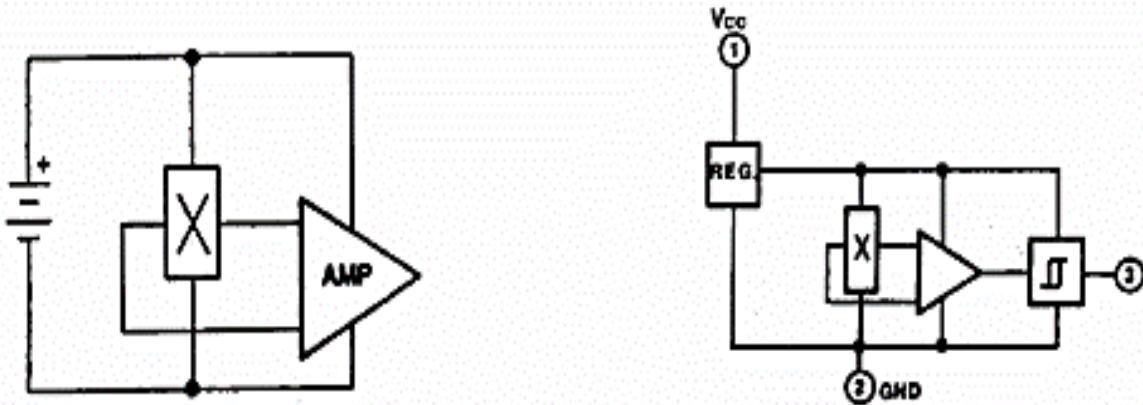


Рисунок 4 – Схема: Переключатели Холла

Так как напряжение Холла мало, вполне логично, что к выводам напряжения Холла подключают операционный усилитель. Для подключения к цифровым узлам, схему дополняют триггером Шмита, и получается пороговое устройство, которое срабатывает при заданном уровне напряженности магнитного поля. Такие схемы называют переключателями Холла. Часто датчик Холла используется в паре с постоянным магнитом, и срабатывание происходит при приближении постоянного магнита к датчику на определенное, заданное заранее расстояние. Довольно широко распространены датчики Холла в бесколлекторных, или вентильных, электродвигателях (сервомоторах), где датчики устанавливаются прямо на статоре двигателя и играют роль датчика положения ротора (ДПР), который обеспечивает обратную связь по положению ротора, примерно как коллектор в коллекторном двигателе постоянного тока. Закрепив постоянный магнит на валу, получим простой счетчик оборотов, а иногда достаточно экранирующего воздействия самой ферромагнитной детали на магнитный поток от постоянного магнита. Магнитный поток, от которого обычно срабатывают датчики Холла, составляет 100-200 Гауссов.

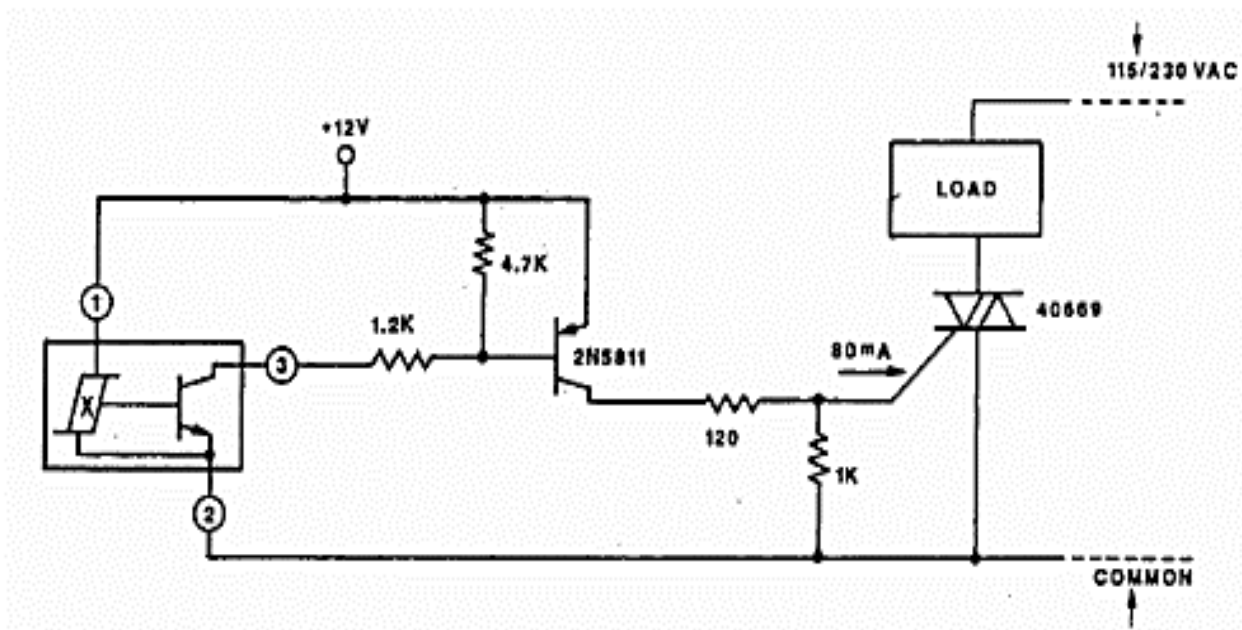


Рисунок 5 – Трехвыводной датчик Холла, имеющий в своем корпусе n-p-n транзистор с открытым коллектором

Выпускаемые современной электронной промышленностью, трехвыводные датчики Холла имеют в своем корпусе n-p-n транзистор с открытым коллектором. Зачастую ток через транзистор такого датчика не должен превышать 20 мА, поэтому для подключения мощной нагрузки необходимо устанавливать усилитель тока. Магнитное поле проводника с током, обычно, недостаточно интенсивное для срабатывания датчика Холла, поскольку чувствительность таких датчиков составляет 1-5 мВ/Гс, и поэтому для измерения слабых токов проводник с током навивают на тороидальный сердечник с зазором, а в зазор уже устанавливают датчик Холла (рисунок 6). Так при зазоре в 1,5 мм магнитная индукция составит уже 6 Гс/А.

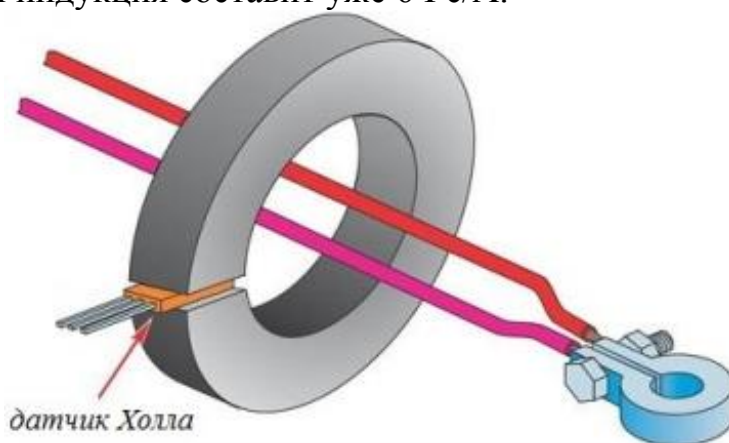


Рисунок 6 – Датчик Холла

Для измерения токов более 25 А, проводник с током пропускают прямо через тороидальный сердечник. Материалом сердечника может служить альсифер или феррит, если измеряется ток высокой частоты.

На основе эффекта Холла работают некоторые ионные реактивные двигатели, и работают весьма эффективно.

Индукционные датчики. Индукционные (трансформаторные) датчики предназначены для преобразования линейных или угловых перемещений в электрический сигнал переменного тока.

Принцип действия индукционных датчиков аналогичен принципу действия трансформатора, однако, в отличие от последнего, в индукционных датчиках коэффициент взаимной индуктивности вторичной и первичной обмоток изменяется в зависимости от положения подвижной и неподвижной частей датчика.

Все индукционные датчики подразделяются на две основные группы в зависимости от способа изменения взаимной индуктивности:

- датчики с поворотным (перемещающимся) якорем;
- датчики с поворотной (перемещающейся) обмоткой.

Их основные недостатки - наличие нулевого сигнала из-за магнитной и электрической асимметрии, наличие момента обратного воздействия на источник измеряемых перемещений, а также подверженность воздействию внешних магнитных полей.

Достоинствами датчиков с поворотной обмоткой являются большой диапазон измеряемых перемещений, незначительный момент обратного воздействия.

Емкостные датчики. Емкостным датчиком называют преобразователь параметрического типа, в котором изменение измеряемой величины преобразуется в изменение емкостного сопротивления.

В настоящее время наиболее широкое распространение получили датчики приближения (присутствия), которые помимо своей надежности, имеют широкий ряд преимуществ. Имея сравнительно низкую стоимость, датчики приближения охватывают огромный спектр направленности по своему применению во всех отраслях промышленности.

Емкостные датчики обладают целым рядом преимуществ по сравнению с датчиками других типов. К их достоинствам относятся:

- простота изготовления, использование недорогих материалов для производства; - малые габариты и вес; - низкое потребление энергии; - высокая чувствительность;
- отсутствие контактов (в некоторых случаях – один токосъем);
- долгий срок эксплуатации;
- потребность весьма малых усилий для перемещения подвижной части емкостного датчика;
- простота приспособления формы датчика к различным задачам и конструкциям.

К недостаткам емкостных датчиков следует отнести:

- сравнительно небольшой коэффициент передачи (преобразования);
- высокие требования к экранировке деталей;
- необходимость работы на повышенной (по сравнению с 50 Гц) частоте;

Обычно емкостный датчик представляет собой плоский или цилиндрический конденсатор, одна из обкладок которого испытывает

подвергаемое контролю перемещение, вызывая изменение емкости. Пренебрегая краевыми эффектами, можно выразить емкость для плоского конденсатора следующим образом:

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d} \quad (2)$$

Где  $\varepsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость среды, заключенной между обкладками,  $S$  и  $d$  – площадь поверхности рассматриваемых обкладок и расстояние между ними соответственно.

Емкостные преобразователи могут быть использованы при измерении различных величин по трем направлениям в зависимости от функциональной связи измеряемой неэлектрической величины со следующими параметрами:

- переменной диэлектрической проницаемостью среды  $\varepsilon$ ;
- площадью перекрытия обкладок  $S$ ;
- изменяющимся расстоянием между обкладками  $d$ .

### **Заключение**

Разработка новых типов сенсоров и усовершенствование методов калибровки и калибровочных устройств играют ключевую роль в обеспечении точности и надежности измерений различных параметров. Эти исследования имеют важное значение для научных и инженерных задач, а также для промышленных приложений. Дальнейшие исследования и инновации в этой области будут способствовать развитию современных технологий и улучшению качества жизни.

С учетом быстрого развития технологий и научных достижений, можно ожидать, что будущее принесет еще более точные и надежные сенсоры, инновационные методы калибровки и более широкий спектр применений для измерительных устройств. Эти усовершенствования будут способствовать повышению эффективности и точности процессов контроля, мониторинга и научных исследований, содействуя развитию общества и индустрии в целом.

### **Литература**

1. Электрические аппараты [Электронный ресурс]/ емкостные датчики. -Режим доступа: <https://electricalschool.info/spravochnik/apparaty/440-emkostnye-datchiki.html> – Дата доступа: 23.09.2023.
2. Электрические [Электронный ресурс]/ применение датчика Холла - Режим доступа: <https://electricalschool.info/electronica/1557-primenenie-datchikov-kholla.html> – Дата доступа: 23.09.2023.
3. Электронное учебное пособие по курсу физики «Электростатика. Электродинамика. Электромагнетизм. Электромагнитные колебания и волны» - Режим доступа: <https://moodle.kstu.ru/mod/book/view/php?id=31680>



УДК 621.383

**ОПТРОНЫ: КЛАССИФИКАЦИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ  
OPTOCOUPLEERS: CLASSIFICATION AND APPLICATION**

Д.М. Густарник, М.С. Каминский  
Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель,  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
D. Gustarnik, M. Kaminskiy  
Supervisor – T. Zhukovskaya, Senior Lecturer  
Belarussian national technical university, Minsk

**Аннотация:** В данной статье мы обзораем один из основных компонентов оптоэлектроники, а именно оптрон. Разбираем их строение, классификацию, область применения, а также в данной работе приведены примеры схем подключения оптронов. Особенностью работы является то, что мы в ней разобрали как старые области применения оптронов, так и абсолютно новые и высокотехнологичные.

**Abstract:** In this article we review one of the main components of optoelectronics, namely the optocoupler. We analyze their structure, classification, scope of application, as well as examples of optocoupler connection schemes are given in this paper. The peculiarity of the work is that we have analyzed both the old fields of application of optocouplers and completely new and high-tech ones.

**Ключевые слова:** оптроны, излучатель, фотоприёмник, классификация, применение.

**Keywords:** optocouplers, emitter, photodetector, classification, application

**Введение**

Основным компонентом оптоэлектроники является “пара с фотонной связью”, называемая оптроном. Оптрон или оптопара состоит из двух элементов: излучателя и фотоприемника, объединенных, как правило, в общий герметичный корпус. Оптрон – это прибор, содержащий источник и приемник излучения, которые оптически и конструктивно связаны друг с другом.

Элементную основу оптронов составляют фотоприемники и излучатели, а также оптическая среда между ними. Ко всем этим элементам предъявляются такие общие требования, как малые габариты и масса, высокая долговечность и надежность, устойчивость к механическим и климатическим воздействиям, технологичность, низкая стоимость. Желательно также чтобы элементы прошли достаточно широкую и длительную промышленную апробацию.

Функционально (как элемент схемы) оптрон характеризуется в первую очередь тем, какой вид фотоприемника в нем используется.

Успешное использование фотоприемника в оптроне определяется выполнением следующих основных требований: эффективность преобразования энергии квантов излучения в энергию подвижных электрических; наличие и эффективность внутреннего встроенного усиления; высокое быстродействие; широта функциональных возможностей.



В оптронах используются фотоприемники различных структур, чувствительные в видимой и ближней инфракрасной области, так как именно в этом диапазоне спектра имеются интенсивные источники излучения и возможна работа фотоприемников без охлаждения.

Наиболее универсальными являются фотоприемники с р - n-переходами (диоды, транзисторы и т. п.), в подавляющем большинстве случаев они изготавливаются на основе кремния и область их максимальной спектральной чувствительности находится вблизи  $\lambda = 0,7...0,9$  мкм.

Многочисленные требования предъявляются и к излучателям оптронов. Основные из них: спектральное согласование с выбранным фотоприемником; высокая эффективность преобразования энергии электрического тока в энергию излучения; преимущественная направленность излучения; высокое быстродействие; простота и удобство возбуждения и модуляции излучения.

### Основная часть

Классификация.

Оптопары могут быть классифицированы по различным критериям, таким как конструкция, тип фотоприемника и степень интеграции. Ниже приведен обзор основных видов оптопар.

Оптопары по конструкции:

- Открытые. Открытые оптроны имеют конструкцию, в которой между элементами оптрона есть воздушный зазор. Одним из главных преимуществ заключается в том, что они обладают очень высокой скоростью ответа благодаря отсутствию фильтров и задержек, которые могут возникать в других типах оптопар. Кроме того, такие оптроны могут использоваться для измерения очень маленьких величин, таких как смещение, ускорение и давление. рис.1(а)
- Щелевые. Щелевые оптроны представляют собой тип оптопар, где между элементами оптрона имеется щель, в которую свет из излучателя попадает на приемник. Эти устройства могут быть различной конструкции и размеров, в зависимости от конкретных требований и условий эксплуатации. Некоторые щелевые оптопары могут иметь маленькую щель, что позволяет использовать их для измерения очень малых величин, таких как перемещение, угол, вибрации и деформации. Другие щелевые оптопары могут быть более крупными и мощными, что позволяет им использоваться для контроля скорости, позиции и наличия объектов, а также в системах автоматического управления и контроля. рис.1(б)
- Закрытые. В закрытых оптронах элементы находятся внутри герметичного корпуса, который защищает их от внешних воздействий и помех. Одним из главных преимуществ закрытых оптопар является их высокий коэффициент передачи и защита от внешних помех. Это делает их более надежными и точными в измерении и контроле различных параметров, таких как скорость, позиция, уровень и прочее. Кроме того, закрытые оптопары могут использоваться в широком диапазоне

температур и влажности, что делает их универсальными и широко применяемыми в различных отраслях промышленности. рис.1(в)

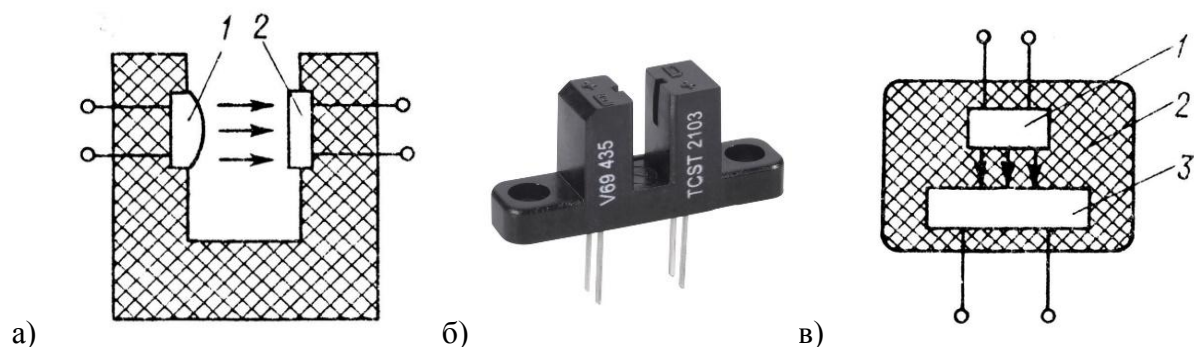


Рисунок 1 – открытый (а), щелевой (б) и закрытый (в) оптроны

Оптопары по типу фотоприемника:

- диодные
- транзисторные
- резисторные
- тиристорные
- симисторные

Оптопары по степени интеграции:

- оптические (элементарные)
- электронно-оптические (микросхемы)

Применение. Детекторы.

Оптроны, благодаря своим функциям, могут использоваться в качестве детекторов наличия сетевого напряжения с оптронной развязкой. Приведённая ниже схема (рис.2) может использоваться для диагностики наличия на нагрузке сетевого напряжения, либо для диагностики замкнутости контактов силового реле, управляющего включением нагрузки (в зависимости от места подключения). Выходной сигнал организован через оптронную развязку, что позволяет спокойно и безопасно забирать его для дальнейшего использования в различных схемах на микроконтроллерах.

Принцип действия схемы очень простой:

- при наличии сетевого напряжения на входе, – светодиод оптрона запитан, соответственно, транзистор оптрона открыт и на выходе схемы низкий уровень сигнала;
- при отсутствии напряжения на входе, – светодиод оптрона не запитан, соответственно, транзистор оптрона закрыт и на выходе схемы высокий уровень сигнала.

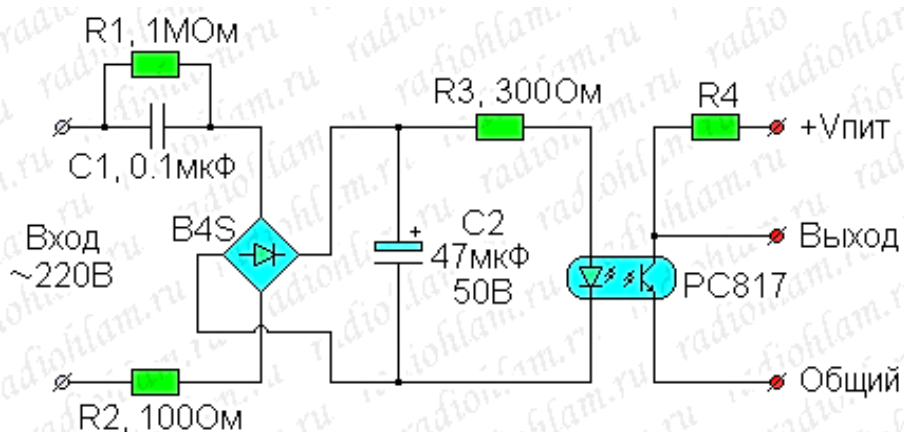


Рисунок 2 – пример схема для диагностики сетевого напряжения



Рисунок 3 – варианты подключения детектора

Если детектор подключен параллельно нагрузке, то он будет запитываться одновременно с нагрузкой и, соответственно, сигнализировать о наличии или отсутствии напряжения на нагрузке (если детектор запитан – значит нагрузка тоже запитана, если детектор не запитан – значит не запитана и нагрузка).

Если детектор подключен параллельно контактам силового реле, то он будет запитан при разомкнутых контактах реле и не запитан при замкнутых контактах. Соответственно, в этом случае детектор будет сигнализировать о состоянии контактов силового реле, из чего, впрочем, всё равно можно сделать вывод о наличии или отсутствии напряжения на нагрузке (здесь наоборот, если детектор запитан – значит нагрузка не запитана, если детектор не запитан – значит нагрузка запитана).

В медицине.

Оптроны (оптические транзисторы) имеют широкий спектр применений в медицине. Вот некоторые из них:

- Оптоэлектронная стимуляция нервных клеток: Оптроны могут использоваться для активации нервных клеток с помощью световых импульсов, что позволяет исследовать и лечить нервные заболевания, такие как паралич и болезни Паркинсона.
- Оптоэлектронные системы обнаружения рака: Оптроны могут использоваться для разработки систем обнаружения раковых клеток. Их светочувствительные свойства позволяют обнаруживать опухоли и отличать их от здоровых тканей.
- Оптоэлектронные системы мониторинга: Оптроны могут использоваться

для наблюдения и мониторинга физиологических параметров, таких как пульс, кровяное давление и уровень кислорода в тканях. Это поможет врачам оценивать состояние пациента и быстро реагировать на изменения.

- Оптроны для искусственного зрения: Оптроны могут быть использованы для разработки искусственного зрения, что может помочь людям с зрительными нарушениями восстановить или улучшить зрение.
- Оптроны в офтальмологии: Оптроны могут использоваться для диагностики и лечения глазных заболеваний. Например, они могут использоваться для фокусировки световых лучей на определенных участках глаза или для измерения интраокулярного давления.

Это только некоторые примеры применения оптронов в медицине. Благодаря своим оптическим свойствам и эффективности передачи сигналов, оптроны предлагают многообещающий потенциал для медицинских исследований и практического применения.

Получение информации оптическим методом.

Специальные оптроны с открытым оптическим каналом могут применяться в бесконтактной дистанционной технике в качестве индикаторов положения объектов и состояния их поверхности, датчиков заполнения сосудов жидкостью, устройств считывания информации с перфоносителей на входе ЭВМ и т. д. Существуют два типа подобных оптронов. Приборы первого типа (оптопрерыватели) реагируют на попадание в оптический канал непрозрачного предмета, который прерывает (или изменяет) световой поток, падающий на фотоприемник. Область применения оптопрерывателей – индикация положения и счет объектов, сигнализация об изменении параметров воздушной среды между излучателем и фотоприемником (например, при появлении дыма), считывание информации с перфолент и др. Приборы второго типа (отражательные оптроны) регистрируют световой поток, отраженный от исследуемой поверхности. Эти приборы позволяют, например, осуществлять автоматический контроль шероховатости поверхности, ее дефектности.

Из-за наличия воздушного зазора в оптическом канале коэффициент передачи по току таких оптронов мал, причем у отражательных оптронов он еще зависит и от свойств исследуемой поверхности, а также от расстояния до нее. Реально это расстояние не должно превышать нескольких миллиметров.

Управление процессами в высоковольтных цепях.

Для бесконтактного управления процессами в высоковольтных (до 1300 В) и сильнотоковых (до 320 А) цепях используют мощные ключевые оптроны, типичными представителями которых являются тиристорные и транзисторные оптопары. По своим техническим показателям оптоэлектронные переключатели успешно конкурируют с электромагнитными реле и герконами (герметизированными переключателями), превосходя их по надежности, долговечности и помехоустойчивости.

Пример схемного варианта высоковольтного оптоэлектронного ключа, в котором тиристорный оптрон, переключающий ток в цепи с постоянным

напряжением, управляется сразу по двум каналам – оптическому и электрическому, приведен на рисунке 5. Если входной транзистор Т1 открыт и работает в режиме насыщения, то на выходе усилителя у поддерживается высокий потенциал и ток течет лишь через излучатель тиристорной оптопары – фототиристор включен. Для его выключения транзистор Т1 запирается, в результате чего, во-первых, снижается напряжение на светодиоде тиристорной оптопары, и он перестает излучать свет, и, во-вторых, на шину нулевого потенциала закорачивается управляющий электрод фототиристора. Закорачивание обусловлено тем, что после снижения напряжения на выходе усилителя – инвертора у светодиода тиристорной оптопары открывается и через фотоприемник начинает течь ток, переводящий транзистор Т2 в режим насыщения. Подобная схема может управлять током в цепи постоянного напряжения 50 – 400 В, причем длительность переключения фототиристора составляет 5 – 10 мкс.

Обобщенным параметром, характеризующим качество ключевых оптронов, является отношение максимальной мощности коммутируемой цепи к входной мощности, необходимой для управления. Это отношение носит название коммутационной добротности и для современных оптронов составляет примерно 10<sup>2</sup> – 10<sup>6</sup>.

Для управления цепями высокого напряжения могут применяться и оптопары других типов. Так, в схемах управления электролюминесцентными индикаторами, возбуждающимися переменным напряжением с амплитудой 115 – 300 В, используют резисторные оптроны. В цепь питания индикатора включают фоторезистор оптопары; изменение напряжения на индикаторе (а следовательно, и яркость его свечения) регулируют малым сигналом на входе оптрона.

В высоковольтных цепях находят широкое применение оптоизоляторы – оптопары с высоким допустимым напряжением изоляции (и, в частности, с волоконно-оптическими каналами). Использование оптронов этого типа в системах энергораспределения, высоковольтных СВЧ-устройствах, аппаратуре привода, в линиях электропередачи позволяет не только с успехом заменять традиционно используемые элементы, но и стимулирует дальнейшее совершенствование вновь разрабатываемых для этих целей приборов.

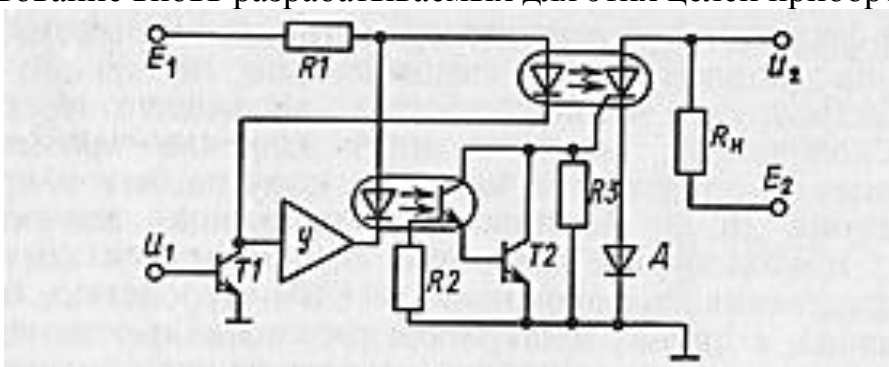


Рисунок 5 – Схемный вариант высоковольтного оптоэлектронного ключа

## Заключение



В наше время говорить о важности применения оптронов не приходится. Круг их применения обширен и разнообразен. Уже в 60-е годы оптроны подобного типа эффективно использовались для регистрации предметов и объектов. При такой регистрации, характерной в первую очередь для устройств автоматического контроля и счета объектов, а также для обнаружения и индикации различного рода дефектов и отказов, важно четко определить местонахождение объекта или отразить факт его существования. Функции регистрации оптроны выполняют надежно и оперативно.

### Литература

1. Оптроны и оптоэлектронные микросхемы [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://siblec.ru/telekommunikatsii/vvedenie-v-optoelektroniku/2-optrony-i-optoelektronnye-mikroskhemy> – Дата доступа: 23.09.2023.
2. Оптопары (оптроны): что это, принцип действия, виды [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.elec.ru/publications/tsifrovye-tehnologii-svjaz-izmerenija/7715/> – Дата доступа: 23.09.2023.
3. Оптопары (оптроны): что это, принцип действия, виды [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://dip8.ru/articles/chto-takoe-optrony/> – Дата доступа: 23.09.2023.
4. Что такое оптроны, для чего применяются? [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://dzen.ru/a/XvGFgtGzjSjrRh2a?utm\\_referer=yandex.by](https://dzen.ru/a/XvGFgtGzjSjrRh2a?utm_referer=yandex.by) – Дата доступа: 23.09.2023.
5. Оптроны и их применение [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/publ/opto/optron\\_1.htm](http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/publ/opto/optron_1.htm) – Дата доступа: 23.09.2023.



УДК 621.313.13-133.32

## ШАГОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ STEPPER MOTORS

В.В. Карпинский

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Karpinski

Supervisor – T. Zhukovskaya, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** в данной статье будут рассмотрены вопросы управления, устройства и принципа работы шагового двигателя.

**Abstract:** in this article, the issues of control, device and principle of operation of a stepper motor will be considered.

**Ключевые слова:** шаговый двигатель, транзисторный мост, предварительный драйвер, MCU, схемы подключения.

**Keywords:** stepper motor, transistor bridge, preliminary driver, MCU, wiring diagrams.

### Введение

Шаговые двигатели – это тип электрических двигателей, которые перемещаются на заданный угол или шаг при каждом приложении электрического сигнала. Они широко используются в различных приложениях, где требуется точное позиционирование и контроль движения.

### Основная часть

Шаговый электродвигатель (ШД) – это синхронный бесщёточный электродвигатель с несколькими обмотками, в котором ток, подаваемый в одну из обмоток статора, вызывает фиксацию ротора. Последовательная активация обмоток двигателя вызывает дискретные угловые перемещения (шаги) ротора.

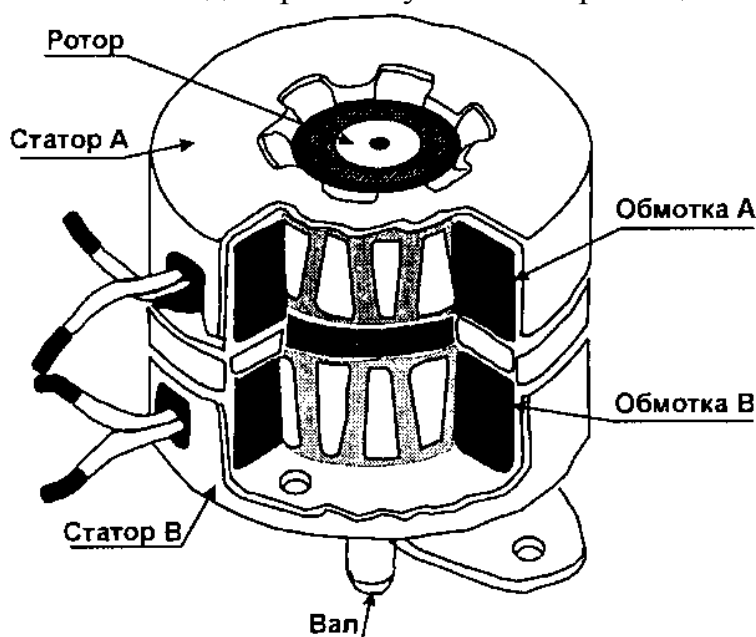


Рисунок 1 – Устройство шагового электродвигателя

Статор – неподвижная часть электрической машины, взаимодействующая с подвижной частью – ротором. Статор может быть либо постоянным магнитом, либо электромагнитом.

Ротор – вращающаяся часть электрической машины.

Для подачи необходимого напряжения на катушки используется несколько устройств, которые позволяют двигателю функционировать должным образом. Начиная с устройств, расположенных ближе к двигателю, мы имеем:

- Транзисторный мост – это устройство, физически управляющее электрическим подключением катушек двигателя. Транзисторы можно рассматривать как прерыватели с электрическим управлением, которые в закрытом состоянии обеспечивают подключение катушки к источнику питания и, следовательно, протекание тока в катушке.
- Предварительный драйвер – это устройство, которое управляет активацией транзисторов, обеспечивая требуемое напряжение и ток, оно, в свою очередь, управляется микроконтроллером.
- MCU – это микроконтроллерный блок, который обычно программируется и генерирует специальные сигналы для предварительной настройки для получения желаемого режима работы двигателя.

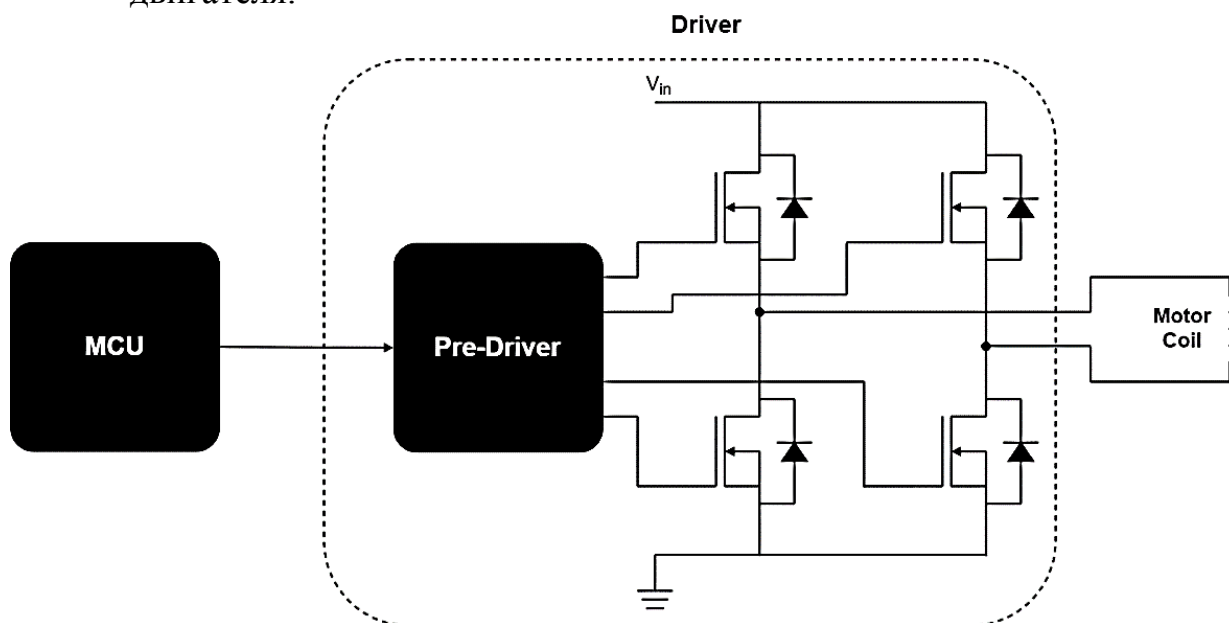


Рисунок 2 – Схема подключения шагового двигателя

Транзисторный мост собирается из 4 переключателей. Когда ключи S1 и S4 замкнуты, а S2 и S3 разомкнуты, мотор крутится в одну сторону, когда же S2 и S3 замкнуты, а S1 и S4 разомкнуты, мотор крутится в другую сторону:

Также транзисторный мост предоставляет возможность электрически тормозить вращение двигателя, коротко замыкая его выводы.

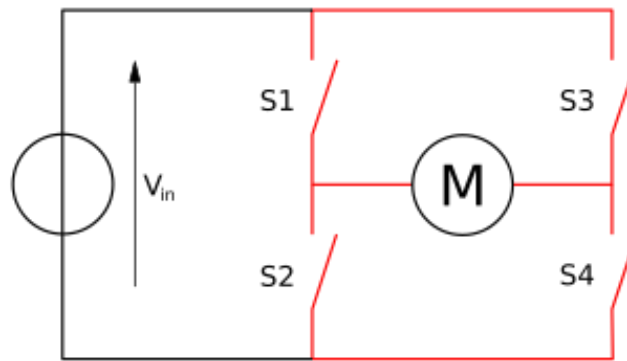


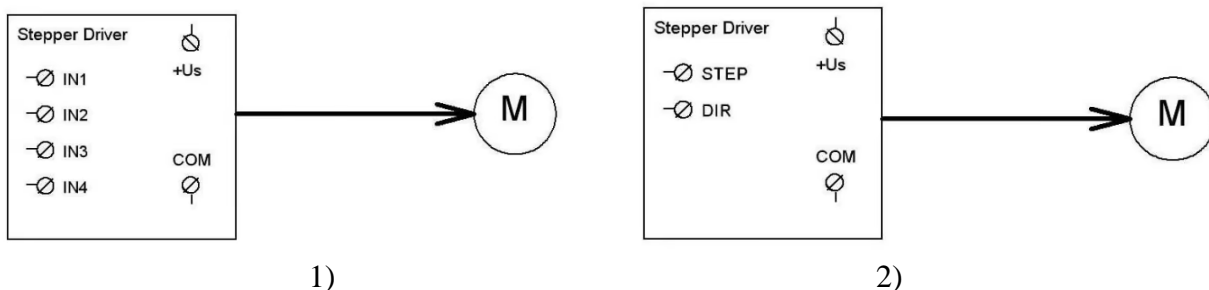
Рисунок 3 – Схема транзисторного моста

Таблица 1 – Результат вращения в зависимости от положения S1, S2, S3, S4

S1	S2	S3	S4	Результат
1	0	0	1	Мотор крутится вправо
0	1	1	0	Мотор крутится влево
0	0	0	0	Свободное вращение мотора
0	1	0	1	Мотор тормозится
1	0	1	0	Мотор тормозится
1	1	0	0	Короткое замыкание источника питания
0	0	1	1	Короткое замыкание источника питания

Пока мост включен, мотор создает электромагнитное поле внутри обмоток. Когда ключи выключаются, это поле постепенно уменьшается, а ток продолжает течь в обмотках. Эту энергию нужно гасить, так как ключи могут оказаться под угрозой пробоя высоким напряжением. Для этих целей каждый ключ шунтируют диодом, который обеспечивает защиту транзисторов от обратного тока.

Шаговые драйверы – это устройства, которые обеспечивают подачу правильных сигналов управления фазным обмоткам двигателя, чтобы контролировать его движение и позиционирование. Основная функция шагового драйвера - это преобразование входного сигнала управления в соответствующие уровни тока и напряжения, чтобы активировать фазные обмотки шагового двигателя. Они принимают команды от контроллера и управляют подачей электроэнергии на фазные обмотки, чтобы создать магнитное поле и вызвать вращение двигателя.



1) – Имеет питание и 4 логических входа. Коммутируя входы IN1, IN2, IN3, IN4 в нужной последовательности мотор шагает в нужном направлении; 2) – Имеет питание и 2 логических входа: STEP/PULSE/PUL – команды для совершения шага, DIR/REV – команды для изменения направления вращения

Рисунок 4 – Схемы драйвера

По схеме включения шаговые двигателя делятся на 2 группы:

- 4-х фазные двигатели (униполярный). Содержат 5 проводов: 1 общий и 4 от катушек. Вращение осуществляется за счёт переключения катушек. В зависимости от порядка переключения, ротор вращается в прямом или обратном направлении

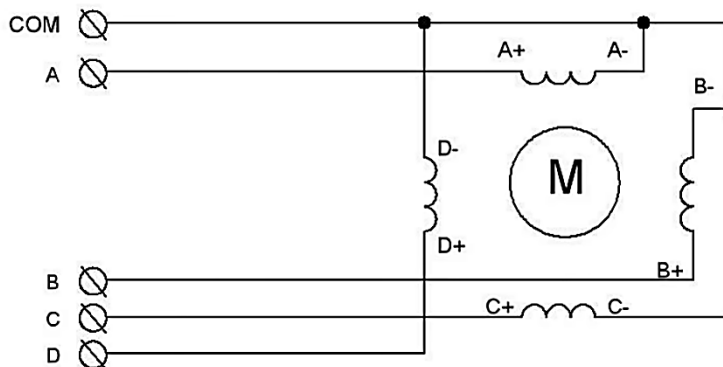


Рисунок 5 – Схема включения униполярного шагового двигателя

- Двухфазные двигатели (биполярный). Содержат парные обмотки с последовательным подключением. Для вращения ротора следует менять полярность включения фаз

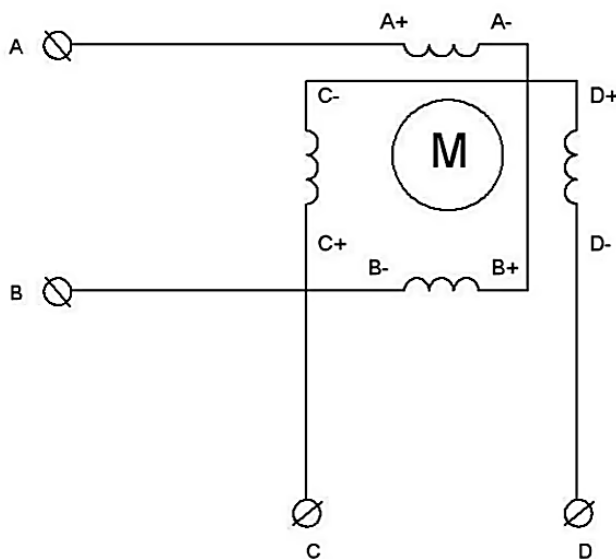


Рисунок 6 – Схема включения биполярного шагового двигателя

Существует также множество двигателей с большим количеством обмоток и фаз, однако принципиального различия от 4 обмоточных двигателей они не имеют.

Основные свойства для работы шагового двигателя:

- Фиксация вала двигателя
- Точность и простота позиционирования
- Падение момента вращения при повышении скорости вращения вала

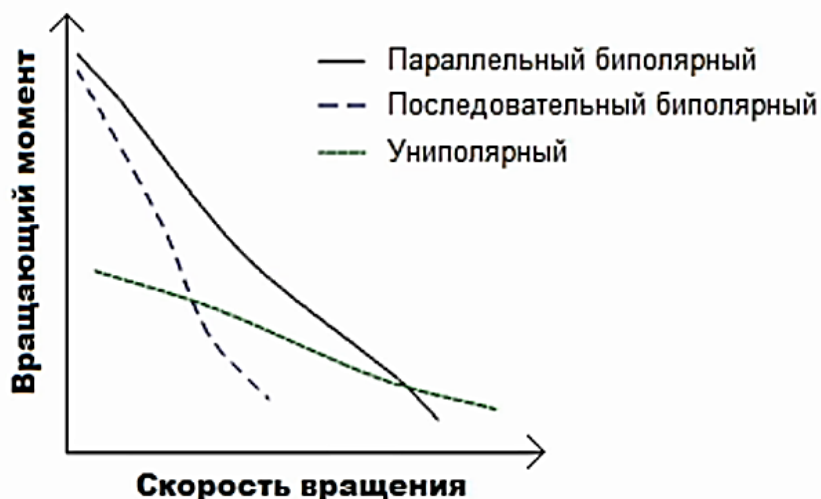


Рисунок 7 – График зависимости момента вращения от скорости вращения

#### Применение:

Шаговые двигатели широко применяются в различных отраслях и системах, где требуется точное позиционирование, контроль движения или выполнение определенных задач:

- Робототехника: Они применяются в роботах-манипуляторах для контроля позиционирования суставов и сегментов робота, а также для управления движением колес или гусениц мобильных роботов.
- Производство и автоматизация: Они используются в станках с числовым программным управлением (ЧПУ), печатных устройствах, конвейерах, медицинском оборудовании и других системах.
- 3D-печать: Они обеспечивают точность позиционирования и контроль движения, что позволяет точно реализовывать трехмерные модели.
- Медицинская техника: Шаговые двигатели используются в медицинском оборудовании, таком как сканеры, аппараты магнитно-резонансной томографии (МРТ), аппараты ультразвуковой терапии, анализаторы крови и другие устройства.
- Автомобильная промышленность: Шаговые двигатели используются в автомобильной промышленности для различных задач, включая системы автоматического управления печати, клапаны регулировки впуска и выпуска, регулировку положения зеркал и стеклоочистителей, а также для управления внутренней и внешней освещением.
- Телекоммуникации: Шаговые двигатели применяются в коммуникационных системах для точного позиционирования антенн и других устройств, контроля движения осей и ориентации сигналов.

Преимущества эксплуатации шагового двигателя:

- Фиксация момента и угла поворота: Это делает их особенно полезными для задач, требующих точного контроля позиции и угла поворота;
- Высокая скорость старта, реверса и остановки: Это полезно в приложениях, где требуется быстрая реакция на команды и точное

- управление движением;
- Высокая надежность без трущихся компонентов для токосъема: Отсутствие трения увеличивает срок службы шагового двигателя и уменьшает необходимость обслуживания;
- Широкий диапазон управления оборотами: Увеличение или уменьшение частоты электрических импульсов позволяет управлять скоростью вала;
- Можно достичь низких оборотов без редукторов;
- Относительно низкая стоимость.

Недостатки применения шагового двигателя:

- Резонансный эффект и проскальзывание: При неправильном использовании или низкой настройке контроллера шагового двигателя может возникать резонансный эффект, который приводит к вибрации и потере контроля над позиционированием;
- Отсутствие обратной связи: Это означает, что если внешние факторы, такие как сопротивление или сила трения, изменяют условия работы двигателя, возможна потеря контроля над его позиционированием;
- Потребление электроэнергии не зависит от нагрузки: Из-за этого возможно ненужное потребление энергии при работе без нагрузки;
- Сложности управления: Шаговые двигатели требуют специального контроллера для управления, такого как драйвер шагового двигателя.

### **Заключение**

Шаговые двигатели являются надежной и эффективной технологией для задач позиционирования и контроля движения. Благодаря своим преимуществам и универсальности, они продолжают находить широкое применение в различных сферах деятельности, а также применяются в современных и будущих системах автоматизации и робототехники.

### **Литература**

1. Шаговые двигатели [Электронный ресурс]/ шаговые двигатели. – Режим доступа: <https://www.monolithicpower.com/en/stepper-motors-basics-types> - Дата доступа: 25.10.2023.
2. Емельянов А.В. Шаговые двигатели: учеб. пособие / А.В. Емельянов, А.Н. Шипин / ВолГТУю. - Волгоград, 2005.



УДК 621.38

**СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКИ  
FERROELECTRICS**

А.Д. Ткачёва

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Н. Tkachova

Supervisor – T. Zhukovskaya, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** Что такое сегнетоэлектрики, их свойства, применение на примере датчиков, области применения.

**Annotation:** What are ferroelectrics, their properties, application using sensors as an example, areas of application.

**Ключевые слова:** Сегнетоэлектрики, спонтанная поляризация, высокая чувствительность.

**Key words.** Ferroelectrics, spontaneous polarization, high sensitivity.

**Введение**

Сегнетоэлектрики – это кристаллические диэлектрики, обладающие в определенном диапазоне температур и в отсутствие внешних электрических полей спонтанной электрической поляризацией, т.е. электрическим дипольным моментом. Спонтанная поляризация сегнетоэлектриков может существенным образом изменяться под влиянием внешних воздействий: электрических полей, давления, температуры и других внешних факторов.

**Основная часть**

Изменение структуры неполярной (параэлектрической) фазы, переводящее ее в полярную фазу, может происходить либо за счет смещения ионов, либо за счет упорядочения некоторых ионных групп, занимающих в неполярной фазе несколько неэквивалентных положений. В первом случае происходит фазовый переход типа смещения, а во втором – фазовый переход типа порядок-беспорядок. При фазовом переходе в более низкосимметричное состояние возможно возникновение нескольких физически эквивалентных состояний новой симметричной структуры, по-разному ориентированных по отношению к бывшей ранее структуре. Такие области структуры с однородной атомно-кристаллической, магнитной или электрической структурами, определенным образом повернутые или сдвинутые относительно друг друга, называются доменами. Домены ограничены границами, в которых происходит постепенный переход от структуры одного домена к структуре соседнего домена. Образование многодоменной (или полидоменной) структуры энергетически выгодно, так как в отличие от монодоменного кристалла полидоменный кристалл не создает вокруг себя электрическое поле. В зависимости от температуры, свойств окружающей среды и структурных дефектов в сегнетоэлектрике образуется устойчивая полидоменная структура с размерами доменов от сотых долей до нескольких миллиметров.

Сегнетоэлектрики отличаются от других классов диэлектриков наиболее высокими значениями пьезоэлектрических коэффициентов (сегнетова соль и сульфоиодид сурьмы (SbSI)), пирозлектрических коэффициентов (триглицин сульфат) и диэлектрической проницаемости, что позволяет использовать их в различных приборах и устройствах.

Датчик динамических деформаций на основе сегнетоэлектрических плёнок цирконата-титаната свинца.

Основным признаком сегнетоэлектрических материалов является наличие спонтанной поляризации, которая происходит в результате смещения иона Ti (или замещающего его) в объёме элементарной ячейки из центрального положения и деформации ячейки. При получении твёрдых растворов на основе таких кристаллов можно получать материал с широким диапазоном свойств. Например, при изменении соотношения компонентов твёрдого раствора BaTiO и SrTiO диэлектрическая проницаемость изменяется от 2000 до 12000, а точка Кюри от 120°C до 250°C соответственно. Из этих соображений в качестве материала для исследования был выбран цирконат-титанат свинца (ЦТС).

На основе сенсорных элементов был собран макет датчика вибрации и ускорения. Преобразование и усиление заряда в сенсоре при воздействии синусоидальной вибрации осуществляется зарядочувствительным усилителем, схема которого приведена на рис. 1.

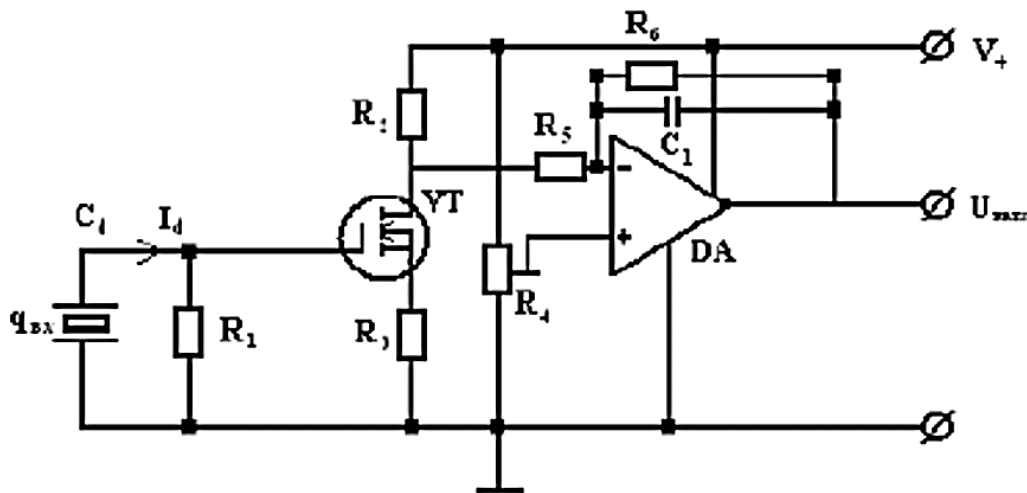


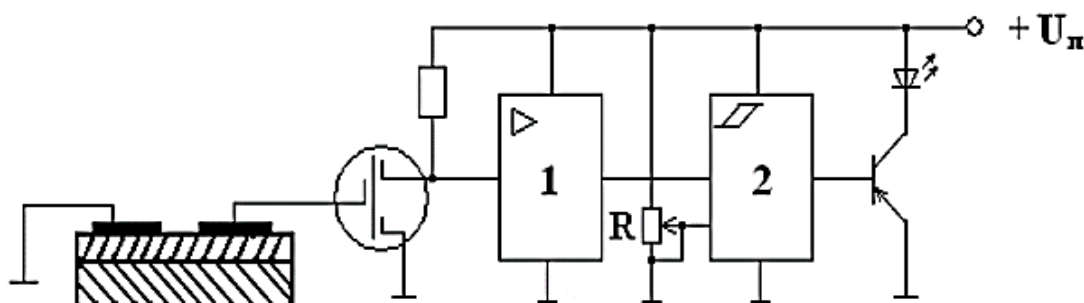
Рисунок 1 – Схема зарядочувствительного усилителя датчика вибрации

Импульсы входного тока, возникающие при изменении заряда  $q_{вх}$  в сегнетоэлектрической плёнке преобразуются в изменение напряжения на стоке полевого транзистора входного каскада усилителя. Большое входное сопротивление усилительного каскада на полевом транзисторе не шунтирует сенсор. Далее сигнал поступает на вход инвертирующего усилителя интегратора, собранного на операционном усилителе.

В результате исследования данной модели показали, что, варьируя структурными параметрами сенсорного элемента датчика динамических деформаций на основе сегнетоэлектрических плёнок ЦТС, можно оптимально подбирать диапазон чувствительности. На основе созданных сенсорных конструкций собран рабочий макет датчика вибрации и ускорения.

Разработка макетного образца датчика статического электричества на основе сегнетоэлектрических пленок ЦТС

В лаборатории методом реактивного высокочастотного распыления в кислородной атмосфере были получены образцы сегнетоэлектрических пленок цирконата-титаната свинца (ЦТС). В процессе исследования полученных образцов была выявлена высокая чувствительность данных сегнетоэлектрических пленок ЦТС к напряженности электростатического поля. В связи с этим был спроектирован и сконструирован рабочий макет датчика статического электричества на основе данных пленок. Макет датчика электростатического поля представляет собой демонстрационную модель, поэтому данный датчик оснащен светодиодом, который загорается при воздействии электростатического поля. У датчика также присутствует стандартный разъем для подключения его к измерительным приборам. Внешний вид датчика статического электричества представлен на рис.3.



1 – усилитель, 2 – компаратор, R – установка порога компаратора

Рисунок 2 – Принципиальная электрическая схема макета датчика статического электричества

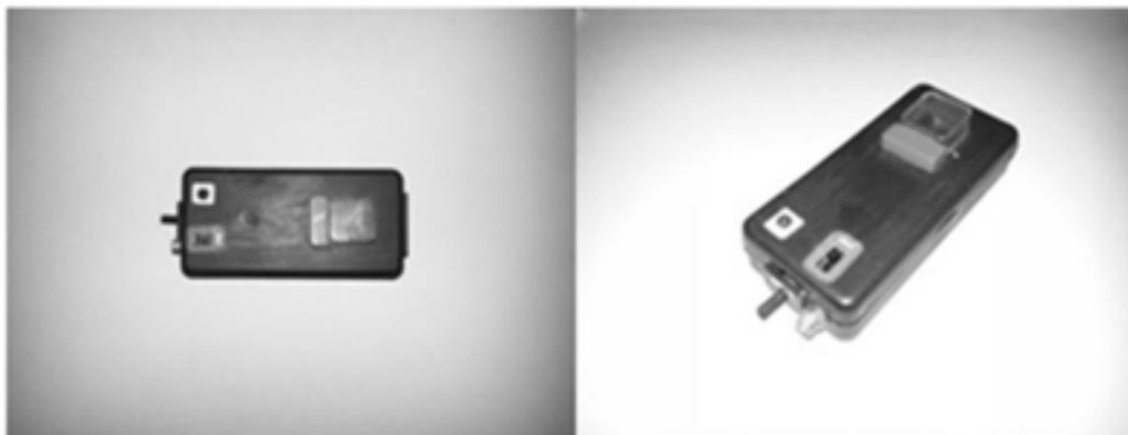


Рисунок 3 – Внешний вид датчика статического электричества

Уровень выходного сигнала с сенсорного элемента на основе сегнетоэлектрической пленки ЦТС имеет прямолинейную зависимость от уровня напряженности электростатического поля в точке воздействия, что показано на рис.3.

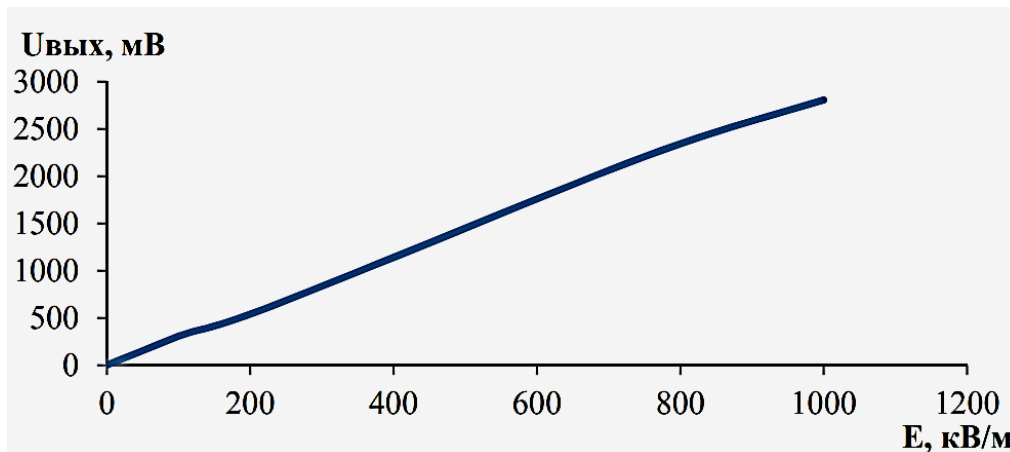


Рисунок 4 – Зависимость выходного сигнала макета датчика статического электричества от величины напряженности электростатического поля.

Таким образом, формула зависимости уровня выходного напряжения от величины электростатического поля описывается следующим выражением:

$$U_{\text{вых}} = \alpha \cdot E \quad (1)$$

где  $U_{\text{вых}}$  – выходящее напряжение сенсорного элемента;

$E$  – напряженность поля,

$\alpha$  – коэффициент (для данного макета датчика –  $2,9 \cdot 10^{-6}$ ).

Данные датчики статического электричества можно применять в таких отраслях промышленного производства как: обработка диэлектрических материалов, нефтепереработка, текстильное и бумажное производства и т.д., для которых проблемы, связанные со статическим электричеством, являются актуальными. На данных производствах, для уменьшения пожароопасности, разработанные датчики статического электричества можно интегрировать в систему пожарной безопасности предприятия, для контроля опасностей в режиме реального времени.

Применение сегнетоэлектриков в электронике.

Сегнетоэлектрики имеют широкий спектр применения в электронике благодаря своим свойствам. Вот пример некоторых из них:

**Память сегнетоэлектриков.** Сегнетоэлектрики используются в создании памяти сегнетоэлектриков, которая может хранить информацию в виде двух состояний полярности. Это позволяет создавать надежные и энергоэффективные устройства хранения данных, такие как флэш-память.

**Ультразвуковые приборы.** Сегнетоэлектрики также используются в ультразвуковых приборах, таких как ультразвуковые датчики и преобразователи. Они могут генерировать и принимать ультразвуковые волны, что делает их полезными в медицинской диагностике, промышленном контроле и других областях.

**Генераторы и датчики энергии.** Сегнетоэлектрики также могут использоваться в генераторах и датчиках энергии. Они могут преобразовывать механическую энергию, например, вибрации или давление, в электрическую энергию и наоборот. Это позволяет использовать их в устройствах, таких как самозаряжающиеся батареи и датчики вибрации.

Активные матрицы жидкокристаллических дисплеев. Сегнетоэлектрики также используются в активных матрицах жидкокристаллических дисплеев (LCD). Они обеспечивают быстрое переключение пикселей и высокую контрастность изображения, что делает их идеальными для использования в мобильных телефонах, телевизорах и других устройствах с ЖК-дисплеями.

Преимущества и ограничения использования сегнетоэлектриков

Преимущества:

- Высокая чувствительность.
- Быстрый отклик.
- Широкий диапазон рабочих температур.
- Устойчивость к агрессивным средам.

Ограничения:

- Полярность.
- Изменение свойств со временем.
- Ограниченный диапазон работы.
- Сложность производства.

### **Заключение**

Несмотря на ограничения, сегнетоэлектрики всё равно имеют широкий спектр применения и благодаря своим уникальным свойствам имеют большой потенциал в качестве материала в различных областях, таких как электроника, энергетика, медицина и т.д.

### **Литература**

1. Датчик динамических деформаций на основе сегнетоэлектрических пленок цирконата-титаната свинца [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://studme.org/236023/tehnika/odnofaznye\\_invertory\\_toka/](https://studme.org/236023/tehnika/odnofaznye_invertory_toka/). – Дата доступа: 13.06.2014
2. Применение сегнетоэлектриков: от инноваций в электронике до медицинских прорывов [Электронный ресурс]/ научные статьи. – Режим доступа: <https://nauchniestati.ru/spravka/primenenie-segnetoelektrikov/>. – Дата доступа: 20.02.2017

УДК 621.3

**ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА НА СУДАХ  
DC ELECTRIC MOTORS ON SHIPS**

А.А. Скачко, Н.А. Махнач

Научный руководитель – В.В. Зеленко, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Skachko, N. Makhnach

Supervisor – V. Zelenko, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

*Аннотация:* в данной статье будет рассказано об электродвигателях постоянного тока, их происхождении и использовании на судах.

*Abstract:* this article will talk about electric motors DC, their origin and use on ships.

*Ключевые слова:* электродвигатели постоянного тока, магнитное поле, ЭДС, правило правой руки.

*Keywords:* DC electric motors, magnetic field, EMF, right hand rule.

**Введение**

Двигателем постоянного тока называется электродвигатель, переключение секций обмотки в котором осуществляется внутри машины, посредством коллектора, расположенного на валу. Вследствие чего, такой двигатель может питаться постоянным током. Русско-пруссский учёный Б.С. Якоби в 1834 году создал первый в мире практический электродвигатель с вращающимся якорем и написал теоретическую работу «О применении электромагнетизма для приведения в движение машины». Б. С. Якоби излагал, что его двигатель несложен и «даёт непосредственно круговое движение, которое гораздо легче преобразовать в другие виды движения, чем возвратно-поступательное».

Вращательное движение якоря происходило благодаря попеременному притяжению и отталкиванию электромагнитов. Неподвижная группа  $U$ -образных электромагнитов питалась током непосредственно от гальванической батареи, причем направление тока в этих электромагнитах оставалось неизменным. Электромагнитная подвижная группа была подсоединена к батарее с помощью коммутатора, через которого направление тока в каждом электромагните менялось около восьми раз за один оборот диска. Полярность электромагнитов при этом менялась, а каждый из подвижных электромагнитов попеременно отталкивался и притягивался соответствующим неподвижным электромагнитом: вал электродвигателя начинал вращаться. Таким образом было получено первое конструктивное оформление статора и ротора. Мощность составляла примерно 15 Вт. В будущем Якоби довёл мощность электродвигателя до 550 Вт. Этот электродвигатель был изначально установлен на лодке, а затем на железнодорожной платформе.

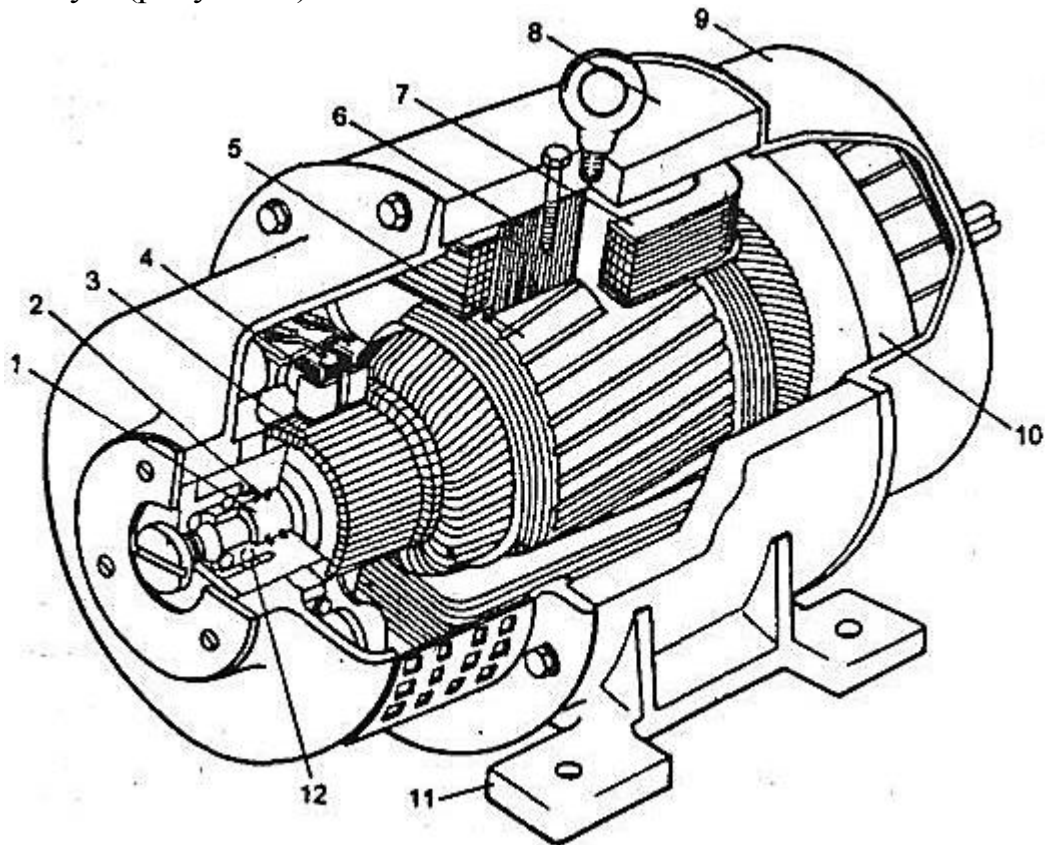
В 1839 году Б. С. Якоби построил лодку с электромагнитным двигателем, который был равен 1-ой лошадиной силе и приводил в движение лодку с 14 пассажирами против течения реки Невы. Это было первое применение



электромагнетизма для преобразования электромагнитной энергии в механическое движение приводов большой мощности.

### Основная часть

Двигателем постоянного тока называется электрическая машина, работающая на постоянном токе и преобразующая электрическую энергию в механическую (рисунок 1).



1 – вал; 2 – передний подшипниковый щит; 3 – коллектор; 4 – щеткодержатель;  
 5 – сердечник якоря с обмоткой; 6 – сердечник главного полюса; 7 – полюсная катушка;  
 8 – станина; 9 – задний подшипниковый щит; 10 – вентилятор; 11 – лапы; 12 – подшипник

Рисунок 1 – Двигатель постоянного тока

В двигателе магнитные поля создаются обмоткой якоря и полюсами обмотки возбуждения, по которым пропускается постоянный ток. При пропускании через них тока, якорь машины приходит во вращение (рисунок 2). Направление вращения якоря определяется правилом левой руки. При этом если изменить направление в обмотке возбуждения или направление тока в якоре, то направление вращения вала также изменится.

При работе электродвигателя, работающего на постоянном токе, его якорь с обмоткой, вращаясь в магнитном поле, создаваемом магнитами полюсов, пересекает силовые магнитные линии магнитного потока полюсов и, вследствие чего, согласно закону электромагнитной индукции, в обмотке якоря наводится ЭДС. Направление ЭДС обратно направлению тока, протекающего в обмотке якоря, следовательно, она называется противо-электродвижущей силой или как принято называть обратной ЭДС.

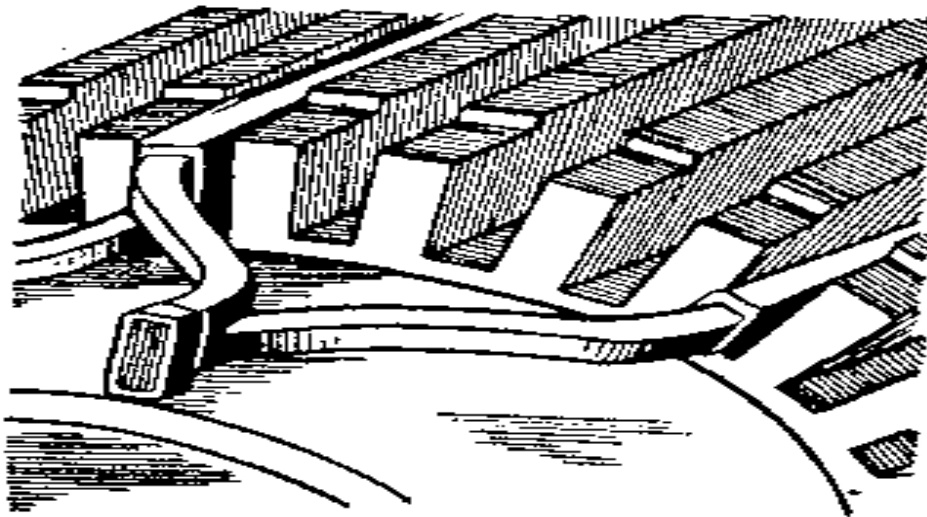


Рисунок 2 – Расположение секции обмотки якоря в пазах сердечника

Процесс управления электродвигателем постоянного тока сводится к выполнению следующих операций: пуск, реверсированию и регулированию скорости вращения, торможение.

Наиболее простым вариантом пуска электродвигателей постоянного тока является такой пуск, когда электродвигатель запускается непосредственно на полное напряжение сети. Начальный пусковой ток  $I$  электродвигателя, когда ЭДС якоря и угловая скорость равны нулю ( $E = 0, \omega = 0$ ), согласно закону Ома определяется выражением:

$$I = \frac{U}{r_{\text{я}}}, \quad (1)$$

Во время вращения якоря в его обмотке наводится ЭДС, направленная навстречу  $U$  (приложенному напряжению). Значение этой ЭДС прямо пропорциональна угловой скорости  $\omega$  и магнитному потоку  $\Phi$  т. е.

$$E = k \cdot \Phi \cdot \omega, \quad (2)$$

где  $k = pN / (2\pi \cdot a)$  – конструктивный постоянный коэффициент машины постоянного тока, который будет зависеть от числа пар полюсов машины  $p$ , числа активных проводников обмотки якоря  $N$ , а так же от числа пар параллельных ветвей якоря  $a$ .

Непосредственно по мере разгона двигателя ток  $I$ , который протекает по якорной цепи, будет уменьшаться:

$$I = \frac{(U - E)}{r_{\text{я}}} = \frac{(U - k\Phi\omega)}{r_{\text{я}}}, \quad (3)$$

Так как сопротивление обмотки якоря  $r_{\text{я}}$  очень мало, то начальный пусковой ток мощных двигателей достигает больших значений  $I_{\text{п}} = 10 \div 50 I_{\text{ном}}$ . Это плохо сказывается на процессе коммутации, вызывая большой провал напряжения в питающей цепи, нарушая нормальный режим работы других приемников. Поэтому такой пуск используют для электродвигателей

постоянного тока только незначительной мощности (не более 1,3 кВт), имеющих достаточное сопротивление обмотки якоря.

Пуск более мощных электродвигателей постоянного тока обычно производят при последовательно включенном с якорем двигателя пусковым реостате.

Анализ уравнения электромеханической характеристики электродвигателей постоянного тока

$$\omega = \frac{[U - I(r_{\text{я}} + r_{\text{п}})]}{k\Phi}, \quad (4)$$

показывает, что значение угловой скорости принципиально можно регулировать тремя способами: 1) изменением магнитного потока возбуждения  $\Phi$ ; 2) изменением напряжения  $U$ , приложенного к двигателю; 3) изменением активного сопротивления добавочного резистора  $r_{\text{рег}}$ , включенного в якорную цепь.

Регулирование угловой скорости изменением подводимого к двигателю напряжения возможно лишь, когда двигатель получает питание от специального источника электроэнергии (например, система генератор - двигатель) или при использовании схем тиристорного управления.

Торможение электродвигателей применяется для сокращения времени их остановки, а также для уменьшения угловой скорости двигателя, если это необходимо при выполнении отдельных технологических операций. С этой целью в судовых электроприводах используют электрическое и механическое торможение двигателей.

Электрическое торможение основано на том, что при определенных условиях электродвигатель может развивать отрицательный момент, т. е. момент, действующий навстречу вращению электропривода. Электрическое торможение осуществляется за счет изменения схемы включения двигателя. Различают три способа электрического торможения: противовключением, рекуперативное и динамическое торможение.

Механическое торможение производится дисковыми, колодочными и ленточными электромагнитными тормозами, которые дополняют электрическое торможение и служат, как правило, для обеспечения фиксированных остановок в нормальных или аварийных режимах.

### **Заключение**

На судах морского флота электродвигатели постоянного тока последовательного возбуждения с легкой параллельной обмоткой применяются для привода в действие палубных механизмов (брашпильей, шпилей, лебедок, кранов), где требуется большой вращающий момент при пуске. Электродвигатели постоянного тока параллельного возбуждения применяются для привода механизмов, у которых скорость вращения под нагрузкой меняется в небольших пределах, применяются такие электродвигатели во вспомогательных механизмах и насосах, обслуживающие главные двигатели и судовые системы, станки и т. д.

Электродвигатели постоянного тока смешанного возбуждения применяются для привода в движение механизмов, требующих большого пускового момента и сохранения постоянного числа оборотов, а также имеющих значительный маховой момент (палубные механизмы, рулевые приводы, валоповоротные устройства и др.).

Широкое распространение электродвигатели постоянного тока получили за свои положительные качества, к которым можно отнести:

- надежность (простая конструкция гарантирует продолжительный срок службы, низкий уровень поломок);
- универсальность (применяется в качестве двигателя и генератора);
- возможность регулирования частоты, скорости и направления вращения;
- легкий запуск (особенно для двигателей последовательного возбуждения);
- соответствие современным экологическим стандартам.

### Литература

1. История создания электродвигателя [Электронный ресурс] / история создания электродвигателя – Режим доступа: <https://engineeringsolutions.ru/motorcontrol/history/> . – Дата доступа: 13.10.2023.

2. Электродвигатели постоянного тока [Электронный ресурс] / устройство и принцип работы. – Режим доступа: <https://vec-tech.by/catalog/elektrodvigateli>. – Дата доступа: 13.10.2023.

3. Процессы управления электродвигателями постоянного тока [Электронный ресурс] / электродвигатели постоянного тока. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/7850070/page:44/>. – Дата доступа: 13.10.2023.

УДК 261.31(476)

**ПРОБЛЕМА УСТАРЕВШЕЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В ОБЛАСТИ  
ЭНЕРГЕТИКИ****THE PROBLEM OF OUTDATED ENERGY INFRASTRUCTURE**

А.С. Гурина, А.С. Парфёнова

Научный руководитель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Gurina, A. Parfuonova

Supervisor – O. Pekarchik, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** В данной статье рассматривается влияние проблемы устаревшей инфраструктуры в энергетике, а в частности в области электроснабжения. Анализируется процесс модернизации оборудования в различных районах Республики Беларусь.

**Abstract:** This article examines the impact of the problem of outdated infrastructure in the energy sector, and in particular in the field of electricity supply. The process of equipment modernization in various regions of the Republic of Belarus is analyzed.

**Ключевые слова:** Модернизация, эксплуатация, эффективность, оборудование.

**Keywords:** Modernization, operation, efficiency, equipment.

**Введение**

Многие электроэнергетические системы и сети нуждаются в модернизации и замене. Старые системы могут быть слабоэффективными и неспособными справиться с растущими потребностями в энергии. Развитие этих систем может быть дорогостоящим и сложным процессом.

В наше время большая часть энергетической системы страны была построена и введена в эксплуатацию еще в советский период, исходя из этого можно сделать вывод: что она уже значительно устарела и в большинстве случаев не соответствует нынешним требованиям и стандартам.

Более современные и эффективные технологии могут значительно снизить потребление энергии и уменьшить выбросы вредных веществ. Кроме того, устаревшая инфраструктура также ограничивает развитие возобновляемых источников энергии в Беларуси.

Для решения проблемы устаревшей инфраструктуры в области энергетики в Беларуси необходимо модернизировать существующую инфраструктуру: обновить и заменить устаревшее оборудование и системы, чтобы повысить эффективность, надежность и безопасность работы энергетических объектов.

Сделать упор на внедрение новых технологий и их использование в производстве, передаче и распределении энергии. Это требует значительной поддержки со стороны правительства и международных организаций.

**Основная часть**

В нашей время устаревшая инфраструктура является актуальной проблемой. Для её решения проводится не мало работ по модернизации энергетических объектов.



В Минске после реконструкции ввели в эксплуатацию подстанцию 110 кВ Камвольный комбинат. Вследствие улучшения подстанции ее суммарная трансформаторная мощность выросла до 50МВт. Установка энергоэффективного оборудования: замена устаревших энергоемких систем на более современные и энергоэффективные аналоги, позволило нам снизить потребление электроэнергии и сократить эксплуатационные расходы. Эта подстанция является закрытого типа, поэтому все оборудование защищено от внешних факторов, следовательно она более безопасна.[2]

На данный момент по всей территории Беларуси проводятся работы по замене старого оборудования. В соответствии с программой «Комплексной модернизации производств энергетической сферы на 2021 – 2025 год»[1]

В таблице 1 показаны основные направления по модернизации.

Таблица 1- план модернизации в области энергетики на 2021-2025г

№ п/п	Наименование показателя	Ожидаемый результат
1.1	Процент использования возобновляемых источников энергии в котельно-печном топливе по организациям	Не меньше 1.5 %
2. Электрические сети		
2.1	Удельный вес накопленной амортизации в изначальной стоимости основных средств организаций ГПО «Белэнерго» по строительству и реконструкции электрических сетей и подстанций в 2025 году	Не более 45 %
2.2	Вывод из эксплуатации электросетевых объектов 220 кВ: ПС 220 кВ Барановичи-220; ВЛ 220 кВ Барановичи – Барановичи-220	5 объектов
2.3	Реконструкция (строительство) ВЛ 110 кВ в 2021 – 2025 годах	600 км
2.4	Отношение среднесуточного количества нарушений электроснабжения населенных пунктов за год к общему количеству населенных пунктов в 2025 году	Не более 0.4%
2.5	Обеспечение технологического расхода на передачу электроэнергии в электрических сетях в 2025 году	Не более 8%
3. Повышение энергетической эффективности		
3.1	Обеспечение экономии ТЭР в 2021 – 2025 годах	310 тыс. т у.т.
3.2	Средневзвешенная годовая экономия светлых нефтепродуктов	4,2%
3.3	Снижение удельного расхода условного топлива на производство электрической энергии (без учета АЭС) в 2025 году	До 224,1г у.т./кВт·ч
4. Инвестиции		
4.1	Отношение объема инвестиций в основной капитал, вложенных в развитие производственных фондов организаций ГПО «Белэнерго», к первоначальной стоимости основных средств организаций ГПО «Белэнерго» в 2025 году	6,5%

### Заключение

Модернизация энергетического оборудования позволяет повысить энергоэффективность. Многие системы производства и потребления электроэнергии не являются энергоэффективными, что приводит к потерям энергии и повышенным затратам. Улучшение энергоэффективности может



снизить потребление энергии и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду. Модернизация энергетического оборудования позволяет повысить данную энергоэффективность. Проанализировав план модернизации можно сделать вывод: многие мероприятия из данной программы уже активно проводятся и можно уже увидеть улучшения показателей в области энергетики. Поэтому к 2025 году мы можем ожидать обновление многих инфраструктур и хороших показателей.

### Литература

1. Программа комплексной модернизации производств энергетической сферы на 2021–2025 год // [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://minenergo.gov.by/wpcontent/uploads/2021/ПКМЭ%202025-с.pdf>. – Дата доступа: 06.10.2023
2. В Минске после реконструкции ввели в эксплуатацию подстанцию 110 кВ «Камвольный комбинат» // [Электронный ресурс] – Режим доступа [https://www.energo.by/content/infocenter/news/v-minske-posle-rekonstruktsii-vveli-v-ekspluatatsiyu-podstantsiyu-110-kv-kamvolnyy-kombinat\\_\\_12431/](https://www.energo.by/content/infocenter/news/v-minske-posle-rekonstruktsii-vveli-v-ekspluatatsiyu-podstantsiyu-110-kv-kamvolnyy-kombinat__12431/) – Дата доступа: 06.10.2023

УДК 621.31

**ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ  
ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ELECTRICAL ENGINEERING**

Н.В. Рачковский, Д.В. Самандук

Научный преподаватель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

N. Rachkovsky, D. Samanduk

Supervisor – O. Pekarchik, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** в данной статье предметом изучения является искусственный интеллект, его методы, внедрение этих методов для решения задач, связанных с электротехникой, которые направлены на повышение точности и эффективности.

**Abstract:** In this article, the subject of study is artificial intelligence, its methods, the introduction of these methods to solve problems related to electrical engineering, which are aimed at improving accuracy and efficiency.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, электротехника, экспертная система.

**Keywords:** artificial intelligence, electrical engineering, expert system.

**Введение**

Искусственный интеллект – это научная дисциплина, направленная на исследование, разработку и моделирование человеческого поведения и его правил. Искусственный интеллект предоставил большой потенциал и простор для оптимизации в области электротехники. Это может привести не только к значительному улучшению не только экономических аспектов, но и безопасности и фактического контроля за эксплуатацией.

Планирование и эксплуатация энергосистемы направлены на обеспечение надежного и бесперебойного электроснабжения. Непрерывная и надежная подача электроэнергии – это необходимость для функционирования современного, продвинутого общества, где спрос растет день ото дня.

Анализ потока нагрузки, безопасность, стабильность, регулирование аварийных ситуаций, напряжения и реактивной мощности – вот некоторые из ключевых вопросов, которые необходимо постоянно оценивать и контролировать. Практические общепринятые методы, используемые для оценки и анализа, являются ненадежными и отнимающими много времени, поэтому в наше время обретает популярность внедрения ИИ в сферу электротехники.

**Основная часть**

Изучив больше о плюсах и минусах искусственного интеллекта, мы сможем принять решение о том, как искусственный интеллект может быть интегрирован с электротехникой, чтобы создать более интеллектуальную систему.

Плюсы искусственного интеллекта:

– Уменьшение количества человеческих ошибок: С увеличением объема

предоставляемых данных искусственный интеллект может полностью свести на нет человеческие ошибки.

- Безопасность: Искусственный интеллект - это тот факт, что людям не приходится напрямую взаимодействовать с ситуациями, которые могут быть рискованными или представлять угрозу для рабочей силы.
- Доступность: Роботы и машины, использующие искусственный интеллект, не устают так, как люди, что также увеличивает совокупное количество часов работы.

Минусы искусственного интеллекта:

- Время внедрения: Из-за нехватки высококвалифицированных программистов и трудностей с разработкой удовлетворительной модели разработка подходящего искусственного интеллекта для решения реальных.
- Стоимость: относительно человеческого фактора искусственный интеллект требует больших материальных вложений.

Области применения в энергосистемах включают:

- Эксплуатация – координация работы установки, планирование технического обслуживания, минимизация потерь.
- Анализ – уменьшение гармонических искажений, конструкция фильтра, регулирование частоты нагрузки, расход нагрузки.
- Управление энергосистемами, такими как регулирование напряжения, контроль стабильности, регулирование расхода электроэнергии, регулирование частоты нагрузки.
- Автоматизация энергосистем, таких как восстановление, управление, диагностика неисправностей, сетевая безопасность.

Применение искусственного интеллекта в электротехнике.

Как уже обсуждалось, некоторые проблемы в энергосистемах не могут быть решены обычными методами. Определение неисправности в линиях электропередачи может передавать информацию об этой неисправности в операционную систему ИИ. Затем эта система обрабатывает эту информацию, чтобы дать нам четкий вывод о том, в чем заключается неисправность.

Различные датчики могут быть добавлены к окружающей среде и другим условиям окружающей среды. Затем эти условия могут

быть проанализированы ИИ, который обрабатывает их, а затем изменит параметры линии по порядку для повышения производительности ЛЭП.

### **Заключение**

Искусственный интеллект – развивающаяся область, и применение искусственного интеллекта в различных областях исследований только растет день ото дня. Электротехника требует большого обдумывания, когда дело доходит до производства, технического обслуживания и безопасности, и именно здесь на сцену выходит искусственный интеллект.

Искусственный интеллект имеет свою долю преимуществ и недостатков, но влияние, которое эти преимущества оказывают на электрические системы в целом, намного перевешивает недостатки. Были подробно рассмотрены

доступные интеллектуальные ресурсы и различные области применения искусственного интеллекта в электротехнике.

Можно также сделать вывод, что искусственный интеллект является чрезвычайно жизнеспособной технологией, которая может быть применена в области электротехники для того, чтобы не только упростить жизнь, но и обеспечить высокую степень эффективности и надежности системы.

Несколько продвинутые, эффективные и интеллектуальные алгоритмы широко разрабатываются для повышения точности решений многих реальных задач в различных областях, таких как стабильность напряжения и наклона, управление потоком мощности, оценка степени заряда и диагностика роторной системы.

Эта статья дает общее представление о применении искусственного интеллекта в электротехнике.

### Литература

1. Journal of Current Research in Engineering and Science [Том 3, Выпуск 2, Статья 3] 2022 / сост. доктор технических наук Вену Мадхава Чари.
2. Кокуева В.В., Эрдниева Б.Ю. Области применения искусственного интеллекта // Молодой ученый. 2020. № 11. С. 359–365.
3. К. Чандра Шекар; Прити Чандра; К. Венугопала Рао “Диагностика неисправностей в областях промышленного применения с использованием технологий интеллектуального анализа данных и искусственного интеллекта” IEEE International Advance Computing Conference (IACC) стр.: 538-543, 2014.

УДК 621.311

**ИНТЕГРАЦИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ  
INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES**

В.Н. Санько, Д.А. Махонько

Научный руководитель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Sanko, D. Makhonko

Supervisor – O. Pekarchik, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** В данной статье рассматриваются проблемы внедрения и использования возобновляемых источников энергии на территории Республики Беларусь.*

***Abstract:** This article discusses the problems of introduction and use of renewable energy sources in the territory of the Republic of Belarus.*

***Ключевые слова:** Альтернативные источники энергии, интеграция, инфраструктура, энергосистема.*

***Keywords:** Alternative energy sources, integration, infrastructure, energy system.*

**Введение**

В современном мире энергетика играет важную роль, потому что необходимость в электричестве, тепле и других видов энергии постоянно растет. Но традиционные источники энергии, такие как нефть, газ и уголь, не только являются ограниченными и дорогими, но и оказывают пагубное влияние на окружающую среду. По этой причине все больше стран и компаний ищут альтернативные источники энергии, которые были бы экологически чистыми и более доступными. Однако с применением возобновляемых источников энергии, таких как солнечная и ветровая энергия, возникнут новые проблемы, связанные с внедрением этих источников в существующую сетевую инфраструктуру. В данной статье рассматриваются технологии, которые используются для интеграции возобновляемых источников энергии, а также перспективы данной области.

**Основная часть**

Один из важнейших вызовов при интеграции возобновляемых источников энергии в сетевую инфраструктуру заключается в создании устойчивой и надежной энергосистемы. Для этой цели необходимо внедрить эффективную систему хранения электроэнергии, которая будет позволять сохранять и использовать электричество, произведенное возобновляемыми источниками энергии.

Однако, несмотря на сложности, интеграция возобновляемых источников энергии в сетевую инфраструктуру имеет большой потенциал для создания экологически чистой и устойчивой энергосистемы. [2]

Благодаря постоянному развитию технологий и повышению производительности возобновляемых источников энергии, они становятся все более доступными и экономически выгодными. Кроме того, интеграция

возобновляемых источников энергии помогает сократить зависимость от ископаемых топлив, что становится важным шагом в борьбе с изменением климата и вредными выбросами. Проанализируем выработку энергии в Республики Беларусь в процентном соотношении. [1]:

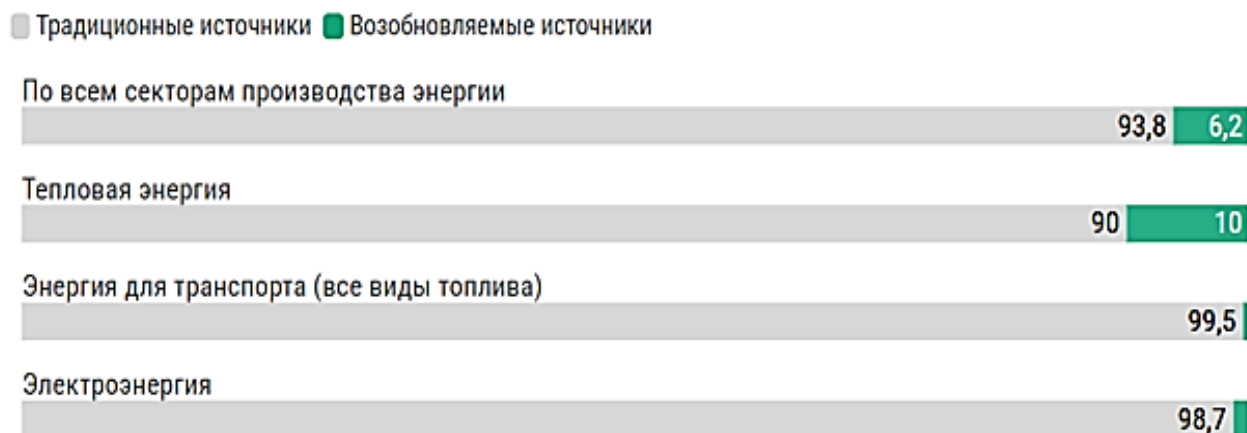


Рисунок 1 – Процент энергии из возобновляемых источников в целом по отдельным секторам

Из рисунка 1 видно, что потребление традиционных источников энергии в различных секторах энергетики в разы выше, чем потребление возобновляемых энергоресурсов.

Возвращаясь к интеграции возобновляемых источников энергии, можно сказать, что она способствует развитию местных экономик и созданию новых рабочих мест. Строительство и эксплуатация инфраструктуры возобновляемых источников энергии требует большого количества работников, а также может привести к созданию новых индустрий, связанных с производством, установкой и обслуживанием оборудования для производства электроэнергии из возобновляемых источников.

Однако, успешная интеграция возобновляемых источников энергии в сетевую инфраструктуру требует тщательного учета множества факторов:

- Прогнозирование спроса на электроэнергию. Для того чтобы эффективно внедрить возобновляемые источники энергии, необходимо точно проанализировать спрос на электроэнергию. Это позволяет оптимизировать использование выработанной энергии и избежать перегрузок электричества.
- Обеспечение стабильности энергосистемы. Возобновляемые источники энергии могут приводить к колебаниям в производстве электроэнергии, что может повлиять на стабильность энергосистемы. Чтобы обеспечить стабильность необходимо использовать технологии хранения электроэнергии, такие как аккумуляторы или гидроаккумуляторы.
- Необходимость больших инвестиций. Для того чтобы использовать возобновляемые источники энергии, такие как солнечные и ветровые установки, часто требуются значительные капиталовложения.
- Необходимость большей площади для установки оборудования. Возобновляемые источники энергии могут потребовать большего



пространства для размещения своих установок, например, ветряных турбин или гидроэлектростанций.[2]

### **Заключение**

В целом, можно сделать вывод, что развитие возобновляемой энергетики имеет значительный потенциал для того, чтобы положительно повлиять на экологические, социальные и экономические аспекты общества. Однако важно учитывать проблемы и факторы, которые могут возникнуть на пути этого развития, и работать над их решением с учетом интересов всех заинтересованных сторон.

### **Литература**

1. Какие возобновляемые источники есть в Беларуси // [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://www.fizika.guo.by/e/368-kakie-vozobnovlyaemyie-istochniki-energii-est-v-belarusi-i-mogut-li-oni-konkurirova?mophdjmohdjekf?aaaimohdbimohdjek?aiесјесјекfcјмор> – Дата доступа: 22.10.2023
2. Возобновляемая энергетика // [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://www.renwex.ru/ru/ii/vozobnovlyaemaya-ehnergetika/> – Дата доступа: 22.10.2023

УДК 621.039

**АНАЛИЗ ПЛАВУЧЕЙ АЭС**  
**ANALYSIS OF FLOATING NUCLEAR POWER PLANTS**

А.В. Шунькевич, А.И. Тишкова

Научный руководитель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Shunkevich, A. Tishkova

Supervisor – O. Piakarchik, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** в данной статье рассматривается плавучая АЭС, её общая информация, схемы, устройство. Анализ плавучей АЭС позволит понять цели её строительства, преимущества и недостатки по сравнению с наземными станциями, её целесообразность в строительстве и возможные угрозы от неё.

**Abstract:** this article discusses floating nuclear power plants, their general information, schematics, and device. Analysis of a floating nuclear power plant will make it possible to understand the goals of its construction, advantages and disadvantages in comparison with ground stations, its feasibility in construction and possible threats from it.

**Ключевые слова:** плавучая АЭС, реакторные установки, парогенератор, ядерный блок, эксплуатация.

**Keywords:** floating nuclear power plant, reactor installations, steam generator, nuclear unit, operation.

**Введение**

Мы все привыкли к тому, что атомные станции строят на земле по типу черновильской АЭС и нам даже в голову не могло прийти, что ядерный реактор можно расположить как-то иначе, но Российский РОСАТОМ представил миру свою новую разработку, на которую они потратили 12 лет кропотливой работы, тем самым удивив мир, называется эта разработка Плавучая атомная тепловая электростанция (ПАТЭС) проекта 20870. По словам создателей данного проекта сказано, что ПАТЭС оснащён ядерным реактором, который сможет питать тепловой и электрической энергией целый город, но как и в любых новых проектах появляются люди, считающие, что это не безопасно и несёт угрозу жизни населения планеты и на это есть поводы, да можно обратить внимание, что уже больше 50-ти лет по мировому океану передвигаются атомные ледоколы и подводные лодки, но и они выполняют свою функции не без происшествий.

**Основная часть**

ПАТЭС – это огромный корабль размером с 12 этажный дом и длиной 144 метра, его можно сравнить с небольшим городом, только вместо домов здесь одноместные каюты для персонала, строилась эта АЭС в северной столице России в Санкт-Петербурге на балтийском заводе. В 2017 году, при пожаре на данном заводе местные жители, не догадывающиеся, что на их территории возводиться такой проект, начали волноваться по поводу безопасности и надобности его, ведь это просто большой корабль с которым может случиться

абсолютно всё и это не раз показывала нам наша история, где люди были уверены в непотопляемости кораблей и во всемогуществе, но получалось иначе.

По завершению строительства АЭС её взяли на буксир до города Мурманск, чтобы загрузить ядерное топливо и запустить ядерный реактор. Сейчас плавучая АЭС располагается на Чукотке в городе Певек, первоначальная идея о создании плавучей АЭС была перспективная и была создана, чтобы обеспечить местное население Чукотки теплой и электрической энергией, но там уже вовсю ведёт свою эксплуатацию Билибинская атомная станция, запущенная в 1974 и у которой срок эксплуатации уже подходит к завершению. Было принято решение о строительстве ПАТЭС, что обошлось примерно в 100 млрд рублей из-за многолетнего затяжного строительства, вместо того, чтобы вывести из эксплуатации местную АЭС или же отремонтировать её.

ПАТЭС состоит из следующих элементов:

- две паротурбинные установки (ПТУ) серии ТК-35/38-3.4с и энергоблок с двумя реакторными установками серии (РУ) КЛТ-40С;
- сооружений, предназначенные для установки, и раскрепления энергоблока, и передачи электрической и тепловой энергией на берег;
- береговых сооружений, предназначенный для передачи выработанной электрической и тепловой энергии во внешние сети для распределения потребителям.

В корпусе энергоблока будут размещаться хранилища свежих тепловыделяющих сборок (ТВС), реакторные и паротурбинные установки, электроэнергетические системы (ЭЭС), хранилища твёрдых радиоактивных отходов (ТРО) и жидких радиоактивных отходов (ЖРО), автоматические системы управления (АСУ) «Лагуна» [2].

В корпусе энергоблока находятся два блока: технологический и жилой. Помимо этого в центральной части энергоблока находится отсек обращения с ядерным топливом и реакторный отсек. Чтобы обеспечить биологической и физической защитой эти отсеки были изолированы от других непроницаемыми переборками, а сами жилые блоки расположились в кормовой части. Там же находится и отсек вспомогательных установок. В технологическом блоке размещено вспомогательное оборудование для работы энергоблока, две паротурбинные установки (ПТУ) и две реакторные установки (РУ). Электротехнический и турбогенераторный отсек расположились в носовой части судна.

По истечению 12 лет судно буксируется на завод для докового и заводского ремонта генераторных блоков. В период работ, сроком в один год, удаляются радиоактивные отходы и происходит заправка реактора свежим топливом.

Итоговая эксплуатация ПАТЭС лежит в диапазоне 34-40 лет из которых три цикла с годичным заводским ремонтом.

Теперь перейдём к основным характеристикам энергоблока.

Таблица 1 – Основные характеристики энергоблока [2]

№	Наименование	Количество
1	Тип судна	Несамородное стоечное
2	Класс регистра	КЕ×(2) А2
Основные массогабаритные и эксплуатационные характеристики ПЭБ		
3	Водоизмещение, тыс. т	21,5
4	Главные размеры, м: – длина – ширина – осадка – высота борта – высота надстройки	140 30 5,56 10 Около 29
5	Экипаж-вахта, чел.	70
6	Автономность, суток: – по ядерному топливу (периоды между перегрузками) – по органическому топливу (аварийные режимы) – по запасам пресной воды – по запасам провизии	2,5-3 года 30 20 60
7	Показатели надёжности: – полный назначенный срок службы – назначенный срок службы до заводского ремонта – продолжительность ремонта – периодичность докования – полный назначенный срок до ремонта основного оборудования	35-40 лет 10-12 лет 1 год 10-12 лет 240-300 тыс.ч
8	Потребные ресурсы для эксплуатации: – количество безвозвратного забора воды для технического водоснабжения (безвозвратный водозабор), $m^3 / год$ – количество воды для питьевых нужд, $m^3 / сут$ – объём канализационных сбросов, $m^3 / сут$ – количество электроэнергии на собственные нужды, $MВт(эл.)$	3650 18 25 9,3

Энергетическая часть ПАТЭС состоит из неядерного (вспомогательного) и ядерного (основного) блока, которые суммарно вырабатывают 300 МВт тепловой энергии и 70 МВт электроэнергии. К ядерному блоку относятся две реакторные установки серии КЛТ-40С с тепловой мощностью 150 МВт и две паротурбинные установки с турбогенераторами мощностью 35 МВт.

На рисунке 2 [2] приведена упрощённая тепловая схема ядерного блока.

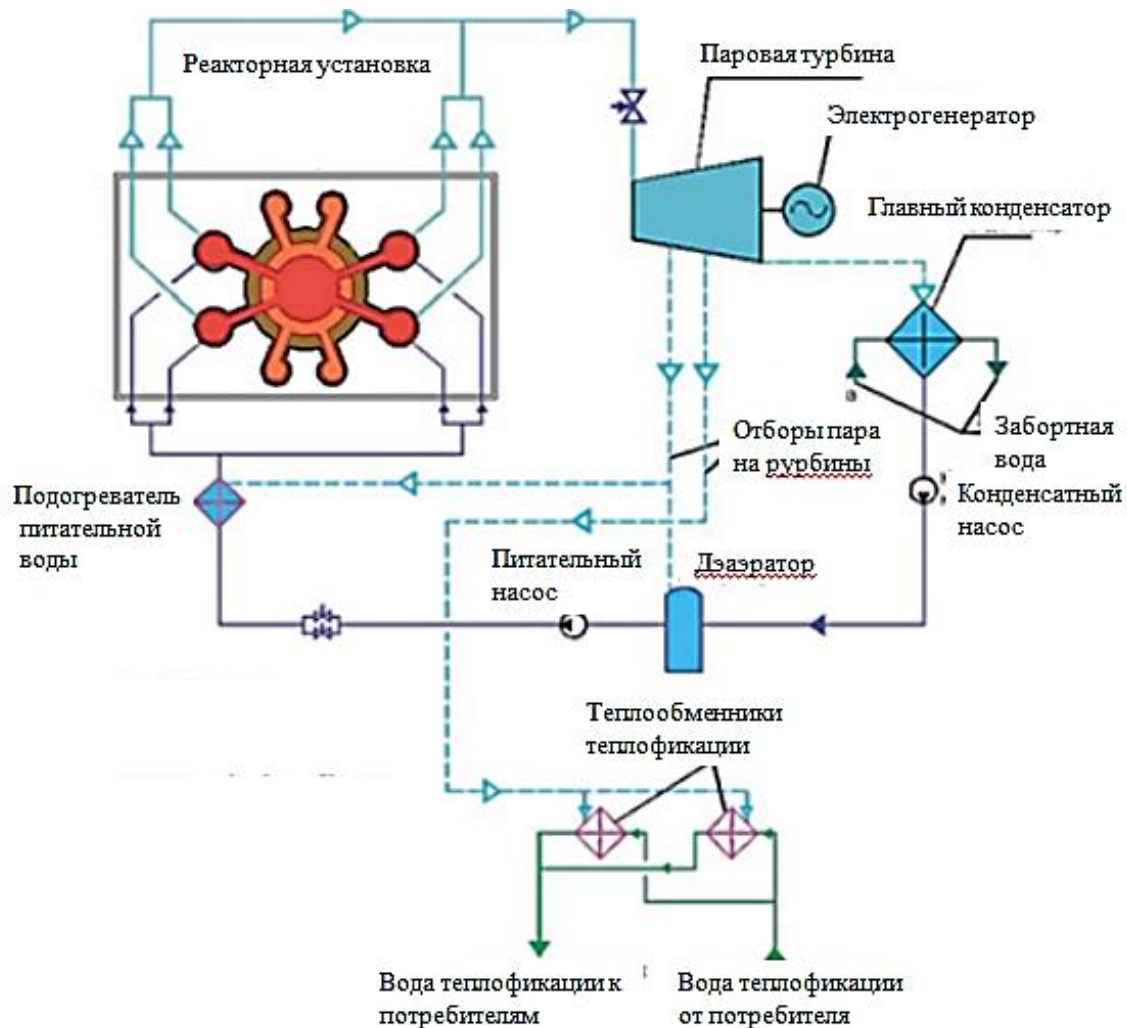


Рисунок 2 – Тепловая схема ядерного блока ПЭБ

В реакторной установке под действием ядерных реакций выделяется количество теплоты, передаваемой жидкости, в результате чего на выходе мы имеем пар. Далее он поступает на паровую турбину, которая вращает электрогенератор. Электрогенератор вырабатывает электрическую энергию, подаваемую потребителям. Пар, отработавший в ступенях турбины, отбирается на подогрев питательной воды в специальном теплообменнике, а также на нагрев воды в теплообменниках теплофикации. Отработавший в турбине пар конденсируют в главном конденсаторе с помощью заборной (морской воды). Образовавшийся конденсат с помощью конденсатного насоса подаётся в деаэрацию, где происходит удаление растворённых газов, главным образом кислорода. Затем с помощью насоса питательная вода поступает в ПГ реакторной установки, и цикл повторяется [2].

Следует отметить, что принцип действия аналогичен как для конденсационных, так и для тепловых электростанций, но в данном случае он основан не на сжигании топлива, а на ядерных реакциях.

Из написанного ранее о стоимости строительства ПАТЭС она не может быть выгодна. По данным РОСАТОМ сообщается, что она должна заменить Билибинскую АЭС на Чукотке, но если задуматься, что расстояние от Певека до Билибино составляет протяжённостью 240 км без наличия требуемых сетей, а

постройка сетей не планируется из-за высокой стоимости строительства, то как станция ПАТЭС, стоящая на якоре в Певеке, сможет заменить АЭС в Билибино.

На самом деле для Чукотки есть большой потенциал для строительства ветростанций, которые как источники возобновляемой энергии значительно дешевле, чем обслуживание плавучей АЭС. Еще одна причина, по которой плавучая АЭС не может заменить существующую ТЭС и АЭС в Билибино на Чукотке, заключается в том, что плавучие АЭС рассчитаны на периоды простоя при перегрузке топлива, а раз в десять лет необходимо выгружать и капитально ремонтировать отработавшее ядерное топливо. АЭС придется покинуть Чукотку, и пока неизвестно, каким образом её заменить на этот период.

### **Заключение**

Строительство ПАТЭС для целей снабдить Чукотку тепловой и электрической энергией по большому счёту не эффективно, исходя из затраченных средств на строительство, а после и эксплуатацию. ПАТЭС имеет некоторые слабые места, а именно в швартовке и прокладке коммуникаций судна на берег, отключение и буксировка на завод для ремонта каждые 10 лет. Эти недостатки создают больше вопросов о выгоде строительства ПАТЭС, эффективности её применения и назначения, кроме того, имеется реальная опасность из-за аварийности данного объекта. Возможно, реализация ПАТЭС на Чукотке является единственным решением, и будут разрабатываться новые технологии, чтобы убрать все недостатки ПАТЭС.

### **Литература**

1. Професионал и Ко [Электронный ресурс] . – Режим доступа: <https://profgbo.ru/wiring/plavucaaa-atomnaa-elektrostanca-pates.html>. Дата доступа: 08.10.2023.
2. Никитин А. Плавучие Атомные станции / А. Никитин, Л. Андреев. Санкт-Петербург: Беллона, 2011. – 50 с.
3. The Moscow Post [Электронный ресурс] . – Режим доступа: [http://www.moscowpost.ru/economics/plavuchaja\\_aessamajagajaavantjura\\_kirie](http://www.moscowpost.ru/economics/plavuchaja_aessamajagajaavantjura_kirie) Дата доступа: 10.10.2023.



УДК 006.91

ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ  
ПАРАМЕТРОВ В ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ  
REMOTE METHODS OF MEASURING THERMAL PARAMETERS IN  
INDUSTRIAL HEAT POWER ENGINEERING

К.В. Журавлёва, Н.А. Хотенко

Научный руководитель – Е.Н. Савкова, к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

С. Zhuravleva, N. Khotenko

Supervisor – Y. Saukova, Candidate of Technical Sciences, Docent

Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** В данной статье рассматриваются современные методы исследования тепловых параметров на объектах промышленной теплоэнергетики.

**Annotation:** This article discusses modern methods of studying thermal parameters in industrial heat power engineering.

**Ключевые слова:** Тепловизор, матрица, оптика, дымовая труба, дисплей.

**Key words:** Thermal imager, matrix, optics, chimney, display.

### Введение

Дистанционные средства исследования – это средства, применяемые для исследования изучаемого объекта без непосредственного контакта измерительного прибора с ним. Такие виды исследования имеют большой практический смысл и используются в различных областях. В основном это относится к тем областям, где имеют дело с подвижными объектами, где бесконтактные измерения необходимы с точки зрения безопасности персонала, где расстояния слишком велики или, где измеряемые температуры слишком высоки для термопар или других контактных датчиков, где нужно фиксировать показания на всём исследуемом объекте, а не конкретную поверхность, с которой будет контактировать прибор, также это актуально для тех областей, где нужно зафиксировать местонахождение поломки или дефекта, исследовать поле, фон и так далее. Присутствие таких приборов на промышленных предприятиях, в особенности на объектах с повышенной опасностью, строго необходимо. Отрасль промышленной теплоэнергетики относится к таким видам предприятий, где нужно наблюдать за изменениями среды, поверхностями конструкций, целостностью изоляции тепловых сетей и исправным обменом вещества между термодинамическими системами. Если измерительный прибор будет показывать ошибочные показания, это может привести к авариям или большим экономическим потерям, вызванных повышенным выходом тепла с уходящими газами или перерасходом необходимого для работы тепловой установки топлива.

### Основная часть

В промышленной теплоэнергетике основными дистанционными средствами исследования являются приборы, предназначенные для измерения

температур объектов и температурных перепадов. Прибор, позволяющий в доступной форме передать информацию о температуре поверхности исследуемого объекта без непосредственного контакта с ним, называется тепловизором. На технологических объектах он используется в целях исследования и диагностики материалов и компонентов теплоэнергетических систем, для нахождения дефектов и утечек в теплоизоляции. Позволяет контролировать производственный процесс, снижая риски различных аварийных состояний. Используется при установке оборудования и его проверке на пригодность. Сравнивают измеренные термометром показания и нормативные, исследуют динамику изменения температуры в случае изменения показателя нагрузки, определяют присутствие избыточного уровня температуры на отдельных местах установки. При обследовании, например, дымовой трубы тепловизионный метод чаще всего является предшествующим этапом диагностики, по результатам которого определяют области конструкции для инструментального контроля и последующего ремонта. Для служб эксплуатации постоянный тепловизионный мониторинг позволяет обнаружить дефекты на самой ранней стадии их появления, что сильно повышает надежность и безопасность работы дымовых труб, предотвращает внеплановые потери и простои на производстве.

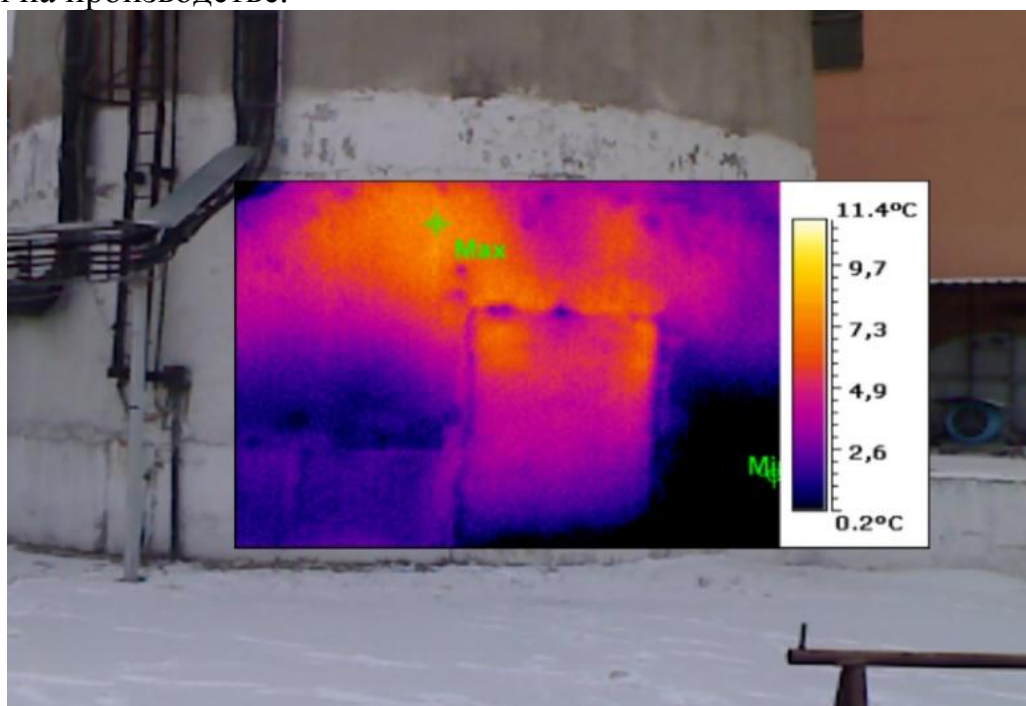


Рисунок 1 –Тепловизионная диагностика поверхности дымоходной трубы в зимнее время

Таблица 1 – Результаты диагностики

Emissivity	0.98
Humidity	70 %
Distance	1.8
Ambient	18.5 °C
MaxTemp	8.4 °C

Тепловизионные инспекции могут быть очень эффективны для обнаружения утечек из паропроводов, дефектов теплоизоляции паропроводов, неисправных пароуловителей. Кроме этого, термография может сохранить время и деньги путём обнаружения и картирования протечек в подземных линиях пароснабжения. Так же это позволяет определять повреждённые сыростью элементы кровли электростанции.

Принцип работы тепловизора заключается в фиксировании радиационной температуры. Оптическая система фокусирует на матрице тепловизора инфракрасный сигнал, исходящий от объекта. Матрица тепловизора состоит из большого числа пикселей, расположенных в виде сетки. Современные тепловизоры, как правило, строятся на основе специальных матричных датчиков температуры – болометров. Они представляют собой матрицу миниатюрных тонкоплёночных терморезисторов. Каждый пиксель (ячейка) на матрице реагирует на сфокусированное на него инфракрасное излучение, нагревается и увеличивает своё сопротивление, после передаёт электрический сигнал, который преобразуется в картинку на дисплее. Эквивалентная шуму разность температур (NETD), или температурная чувствительность – важный параметр, характеризующий качество матрицы тепловизора. Данный параметр характеризует такую температуру наблюдаемого объекта, сигнал от которой равен сигналу от шума. Когда тепловизор включён на матрицу попадает не только излучение исследуемой поверхности, но и сторонний шум. Когда шум равен самой малой разнице температур, поддающейся измерению – тепловизионный детектор больше не может различать полезный тепловой сигнал и формировать изображение наблюдаемых объектов. Чем выше уровень шума, тем выше NETD детектора и тем хуже детектор способен различать малые и незначительные температурные разницы. С меньшим значением NETD более контрастными и заметными будут детали объектов даже с малыми различиями в температуре. Эквивалентная шуму разность температур измеряется в милликельвинах (мК).

$$\text{NETD} < 25 \text{ мК (идеальный тепловизор)} \quad (1)$$

$$\text{NETD} < 30 \text{ мК (отлично)} \quad (2)$$

$$\text{NETD} < 40 \text{ мК (хорошо)} \quad (3)$$

$$\text{NETD} < 50 \text{ мК (приемлемо)} \quad (4)$$

Чувствительность тепловизора – это способность матрицы обнаружить разницу температур между двумя соседними точками. Измеряется в милликельвинах. Чем ниже данное значение, тем более незначительный перепад виден на экране. Чувствительность 100 мК означает, что между соседними точками на матрице должна быть разница не менее 0,1 °С. В противном случае прибор не распознает это, закрасив оба пикселя одним цветом. Чувствительность в 50 мК снижает этот порог до 0,05 °С. Чувствительность важна при выявлении микротрещин и утечек, а также выявлении областей действия повышенных температур.

Важной характеристикой тепловизора является и его поле зрения – FOV. Его измеряют при поверках прибора. Определяется по вертикали и горизонтали.

Это оптический параметр, отражающий размеры видимого в объектив пространства при съёмке конкретного объекта. Измеряется в градусах. Чем меньше показатель FOV, тем дальше можно удалиться от объекта, сохранив качество изображения на дисплее. iFOV – это угол поля зрения, попадающий в один пиксель матрицы тепловизора. Измеряется в мрadian. Он вычисляется при делении показателя FOV по одной из осей на количество пикселей матрицы. Значение переводится в миллирадианы. Если  $L$  – расстояние от оптики тепловизора до исследуемого объекта в метрах, при умножении iFOV на  $L$  мы получим  $S$ , где  $S$  – это минимальный размер объекта, при котором он остаётся видимым на дисплее (мм<sup>2</sup>) [1].

Погрешность измерения температуры и пороги чувствительности прибора указываются в техническом паспорте. Согласно ГОСТ Р 8.619 – 2006, определяют основную погрешность тепловизора, направляя его на эталонный излучатель на расстоянии, обеспечивающем перекрытие апертурой излучателя (способности собирать свет и противостоять дифракционному размытию деталей изображения) не менее 20% угла поля зрения тепловизора. Находят среднее  $t_{cp}$  значение температуры излучателя (среднее в пяти точках на дисплее). Затем определяют среднее значение  $[t_{cp}]$  температуры по области, ограничивающей изображение апертуры излучателя на термограмме.

$$t = [t_{cp}] - t_{cp} \quad (5)$$

Так же при поверках определяют пороги чувствительности тепловизора и его неравномерность чувствительности по полю.

Преобразуя сигнал с матрицы на дисплей, мы получаем цветную картинку, на которой разные оттенки цвета означают соответствующие им температуры. Отклонение оттенков цвета от фактического значения температуры на современных устройствах составляет  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Температурные пороги означают, что если температура исследуемой поверхности больше максимальной или меньше минимальной, то для неё не будет соответствующего оттенка цвета на тепловизоре. В промышленной теплоэнергетике используются тепловизоры с большими пределами измеряемых температур.

Если учитывать эквивалентную шуму разность температур, расстояние до исследуемого объекта, качество оптики, матрицы и чувствительность тепловизора, то на исправном дисплее может показываться температура, незначительно отличающаяся от истинной. В современных тепловизорах эта погрешность составляет  $\pm 2^\circ\text{C}$  градусов Цельсия (указывается в техническом паспорте тепловизора). Ошибки в настройке тепловизора зачастую могут дать погрешность, которая значительно превосходит паспортный предел погрешности тепловизора. Настройка в тепловизоре наиболее точного значения коэффициента излучения (КИ) и отражённой температуры – две довольно сложные задачи количественного анализа. Разность температур несмотря на погрешность будет видна и при выявлении участков с повышенной температурой при инспекционных работах на теплоэнергетических предприятиях такая погрешность не будет являться значительной. При



диагностике поверхностей дымовых труб показываемая разность температур всё равно будет легко определена

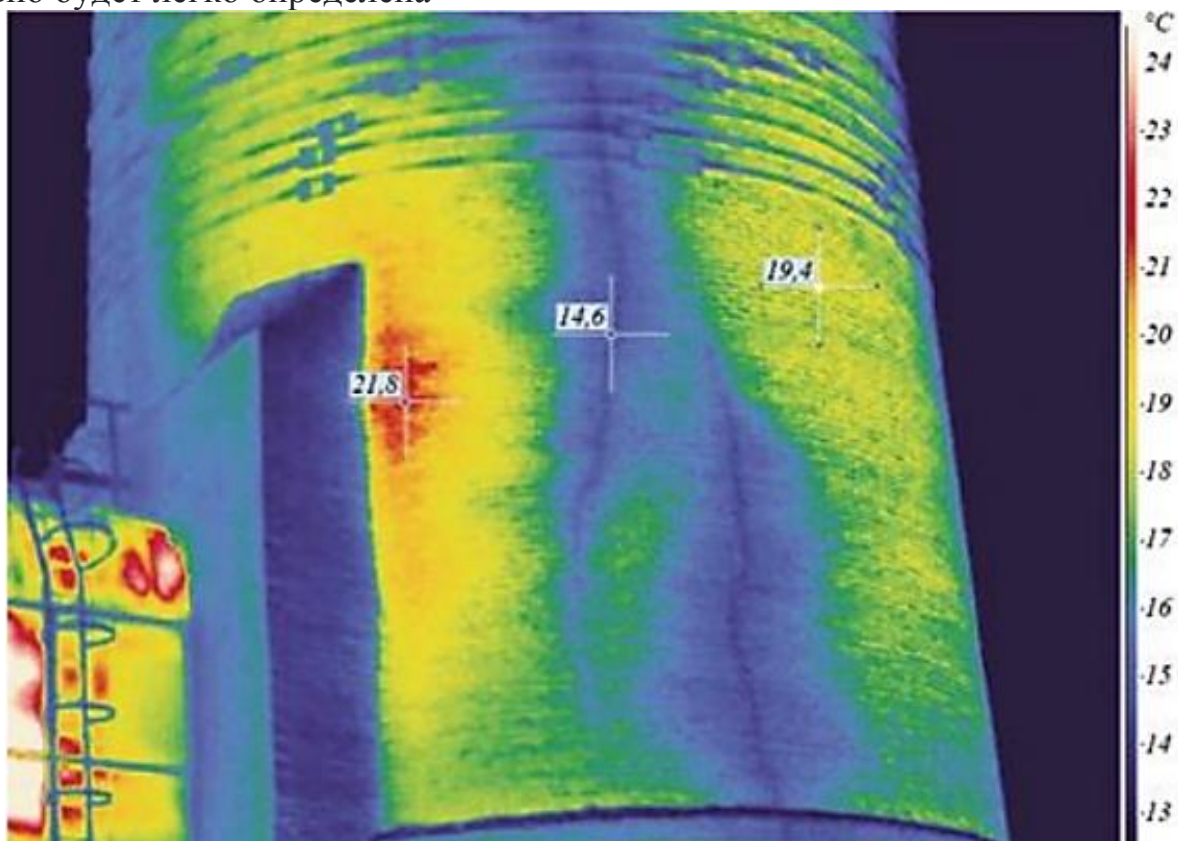


Рисунок 1 – Визуальное отображение разности оттенков при различных температурах

Рынок тепловизоров на территории РБ в основном представляют Китайские и Европейские производители. Промышленные тепловизоры производят такие компании, как Testo SE & Co. KGaA(Германия), Yukon Advanced Optics(США), Fluke Corporation(США) и её дочерняя компания Pulsar. Крупнейшая компания по производству и разработке тепловизоров Flir Systems (США). Китайские тепловизоры представляют фирмы Hikvision, Sytong, iRay, Pard, Conotech, Arkon. На территории РФ осуществляется сборка китайских тепловизоров и производство их такими фирмами как Infratech, Fortuna, Циклон. В РБ производством тепловизоров занимаются заводы фирм Пульсар и Диполь, собирают тепловизоры компании Fortuna. На данный момент по качеству сборки американские и европейские тепловизоры лидируют, однако цены на продукцию этих производителей очень высоки. Высокие цены на тепловизоры обеспечиваются стоимостью материалов (германий, кремний) и стоимостью калибровки сенсора(матрицы). До недавнего времени монополией на производство болометрических матриц обладало только несколько зарубежных компаний. Россия стала четвертой страной, сумевшей разработать собственную тепловизионную матрицу (ЦНИИ «Циклон»). Стоимость германиевой линзы и кремниевой матрицы составляет до 90% цены тепловизора. Цены на промышленные тепловизоры могут достигать 6 тыс. бел. руб.

### **Заключение**

В наше время очень актуально совершенствовать средства дистанционного исследования тепловых параметров. Повышение чувствительности

тепловизоров, дальности их действия позволит проводить необходимые исследования и предотвращать аварийные ситуации, повышать экономичность теплоэнергетических предприятий и уменьшать их воздействие на окружающую среду.

### Литература

1. ПП «БРОМ» [Электронный ресурс]/ как поле зрения тепловизора связано с расстоянием до объекта. – Режим доступа: <https://brom.ua/ru/kak-pole-zreniya-teplovizora-svyazano-s-rasstoyaniem-do-obekta/> – Дата доступа: 29.10.2023
2. КИП-Эксперт ООО [Электронный ресурс]/ Профессиональный тепловизор testo 890-2 (комплект Профи). – Режим доступа: <https://kip-expert.by/p4067682-professionalnyj-teplovizor-testo.html> / – Дата доступа: 29.10.2023
3. Руководство пользователя Flir Systems. Publ. No. T559038 Rev. a296 – RUSSIAN(RU) – July 29, 2008
4. Инфракрасная термография в энергетике. Т 1. Основы инфракрасной термографии / Под ред. Р. К. Ньюпорта, А. И. Таджикибаева, авт.: А. В. Афонин, Р. К. Ньюпорт, В. С. Поляков и др. – СПб.: Изд. ПЭИПК, 2000. – 240 с.



УДК 621.316

**СОВРЕМЕННАЯ РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА  
MODERN RELAY PROTECTION**

М.Р. Хританьков, А.А. Цалко

Научный руководитель – Е.Н. Савкова, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
M. Hritankov, A. Tsalko  
Supervisor – Y. Saukova, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** Данный текст охватывает сущность и важность релейной защиты (РЗ) в современных электроэнергетических системах. Текст обсуждает требования к РЗ, включая оперативность, селективность, чувствительность и надежность, и подчеркивает активное внедрение современных технологий, таких как искусственный интеллект и машинное обучение, в развитие этой области.

**Ключевые слова:** релейная защита, оперативность, селективность, чувствительность, энергосистема

**Abstract:** This text defines the essence and degree of relay protection (RP) in modern electric power technologies. The text discusses the requirements for RP, including efficiency, selectivity, sensitivity and reliability, and promotes the active implementation of modern technologies such as artificial intelligence and machine learning in the development of this field.

**Keywords:** relay protection, efficiency, selectivity, sensitivity, energy system.

**Введение**

Релейная защита (РЗ) представляет собой критически важный аспект электрической автоматики, необходимый для обеспечения непрерывной работы энергосистемы, предотвращения повреждений оборудования и минимизации последствий аварий. РЗ состоит из автоматических устройств, которые при обнаружении нештатной ситуации определяют проблемный участок и отключают его от электрической сети.

**Основная часть**

В процессе работы РЗ постоянно контролирует состояние защищаемых элементов, чтобы своевременно обнаруживать повреждения или отклонения в работе системы и реагировать соответствующим образом.

При аварийных ситуациях релейная защита должна выявить и выделить неисправный участок, воздействуя на силовые коммутационные аппараты, предназначенные для размыкания токов повреждения.

Релейная защита взаимодействует с другими элементами электрической автоматики, обеспечивая непрерывное электропитание и электроснабжение клиентов. На сегодняшний день область релейной защиты активно развивается, и уже сейчас используются микропроцессорные устройства и компьютерные программы для защиты и управления оборудованием и системой в целом.

Требования к релейной защите.

В соответствии с ТКП 181-2022 и ТКП 385-2022 основной целью разрабатываемых устройств защиты является обеспечение надежной электроснабжения потребителей. Для достижения этой цели они должны соответствовать следующим основным требованиям: оперативности, селективности, чувствительности и надежности.

Оперативностью считается возможность быстрого включения защиты после обнаружения повреждения. Для линий электропередачи напряжением 35 кВ и выше, применение оперативной защиты обязательно на участках, где повреждение может вызвать снижение напряжения до 60-65 % на подстанционных шинах, через которые передается мощность от работающих параллельно станций системы. Оперативные защиты включают в себя первые ступени токовых реле, первые ступени дистанционных реле, а также продольные и поперечные дифференциальные защиты.

При выборе параметров уставок необходимо учитывать селективность с учетом наличия автоматической резервной мощности и автоматической повторной активации. Также важно учитывать влияние работы устройств технологической автоматики и блокировки цеховых агрегатов и других механизмов при определении уставок селективности. Селективность действия аппаратов защиты должна быть обеспечена в цепях оперативного тока. Для каждой электроустановки необходимо составить карту селективности с указанием номинальных токов защитных аппаратов и их уставок, которая должна быть утверждена ответственным лицом за электрохозяйство потребителя.

Устройства релейной защиты и автоматики, находящиеся в эксплуатации, должны быть постоянно включены, за исключением тех случаев, когда их назначение и принцип действия, режим работы электрической сети и условия селективности требуют их временного отключения.

Обычно устройства релейной защиты и автоматики выполняются на основе микропроцессорных элементов и имеют возможность интеграции в телемеханику технологических процессов с использованием цифрового интерфейса.

Питание устройств релейной защиты и автоматики может осуществляться от постоянного тока, выпрямленного тока, а в некоторых случаях – от трансформаторов тока и напряжения.

Релейная защита классифицируется: дифференциальная защита, дуговая защита, максимальная токовая защита, токовая отсечка, защита минимального напряжения, дистанционная защита, дифференциально-фазная (высокочастотная) защита

Перспективы развития релейной защиты.

В перспективе одним из ключевых направлений развития релейной защиты станет расширение её функциональности с применением искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО). Эти технологии возможным образом автоматизируют анализ данных о состоянии электроэнергетической сети, выявляют потенциальные проблемы и принимают решения о включении

защиты, что в конечном итоге снижает риск аварий и повышает надежность энергосистемы.

Ещё одним важным направлением развития релейной защиты и автоматики в 2023 году является внедрение систем управления нагрузкой. Эти системы оптимизируют распределение нагрузки в сети, предотвращая перегрузки и обеспечивая более эффективное использование доступных мощностей.

Важным также остаётся процесс перехода к цифровой модели управления энергосистемой в 2023 году. В этой модели все устройства и системы интегрируются в единую сеть, что обеспечивает операторам полную информацию о состоянии сети и способствует оперативному принятию решений.

Примеры энергетических объектов где используется современное РЗА: ветроэнергетические установки; ПС Сельмаш, Могилев 110/10; ТЭС Тогто, Китай; СУРГУТСКАЯ ГРЭС-2, Россия; Островецкая АЭС.

### **Заключение**

С развитием технологий и внедрением искусственного интеллекта и машинного обучения, релейная защита будет способна более эффективно анализировать данные и принимать автоматические решения, что способствует повышению надежности энергосистемы.

### **Литература**

1. Релейная защита. Методические указания к курсовому проектированию для студентов специальности 1-53 01 04 «Автоматизация и управление энергетическими процессами» (специализация 1-53 01 04 03 «Автоматизация и релейная защита электроустановок») БНТУ, 2007
2. Релейная защита: определение, функции и принципы работы [Электронный ресурс режим доступа] – Режим доступа: <https://i-mt.net/relejnaya-zashhita-opredelenie-funktsii-i-printsipy-raboty/> . Дата доступа: 07.11.2023.

УДК 621.311.019.3

**МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ  
ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
METROLOGICAL SUPPORT OF INDUSTRIAL ENERGY ENTERPRISES  
OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

В.В. Дуров

Научный руководитель – Е.Н. Савкова, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Durov

Supervisor – Y. Saukova, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** В данной работе пойдет речь об метрологическом обеспечении предприятий и о лабораториях, предназначенных для поверки и калибровки средств измерений.*

***Abstract:** This work will discuss the metrological support of enterprises and laboratories intended for verification and calibration of measuring instruments.*

***Ключевые слова:** метрологическое обеспечение, промышленная энергетика, предприятие, сертификация, калибровка.*

***Key words:** metrological support, industrial energy, enterprise, certification, calibration.*

### **Введение**

Метрологическое обеспечение промышленного предприятия представляет собой установление и применение научных и организационных основ, соблюдения правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерения в соответствии с ГОСТ. Роль метрологического обеспечения заключается в обеспечении контроля качества измерительного оборудования или измерительных средств, повышении эффективности производства, а также гарантию на безопасность и соблюдение технических регламентов. По материалам государственного информационного фонда Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь, можно привести примеры оборудования и средств измерений которые используются предприятиями Республики Беларусь в промышленной энергетике.

### **Основная часть**

Электрические измерительные приборы: амперметры, вольтметры, омметры для измерения тока, напряжения и сопротивления в электрических цепях.

Датчики давления: измеряют давление в каких-либо системах промышленной энергетики, таких как паровые котлы или газовые турбины. Датчик давления также как и счетчик электроэнергии может быть аналоговым и цифровым.

Датчики количества и расхода: могут измерять объем или расход различных веществ, таких как вода, пар, газы или жидкости, используемые в процессах промышленной энергетики.

Спектральные анализаторы: применяются на предприятии для анализа спектра электромагнитного излучения, чтобы определить содержание различных элементов и соединений в газах или жидкостях.

Газоанализаторы: применяются для определения состава газовых смесей, примерами могут быть отходящие газы в газовых турбинах. Газоанализаторы измеряют концентрацию газов, чаще всего вредных веществ по типу углекислого газа или оксидов азота.

Тепловизоры: используются для обнаружения и измерения теплового излучения. Тепловизоры используются на предприятии в целях контроля тепловых потерь, выявления перегрева оборудования и оценки эффективности процессов теплопередачи.

Измерители параметров окружающей среды: датчики которые служат для измерения различных параметров окружающей среды, таких как температура, влажность, давление, скорость ветра и концентрация вредных веществ. Эти измерения нужны для обеспечения безопасности и эффективности работы на предприятии.

Спектрометры: применяются для анализа спектра электрического, оптического или электромагнитного излучения. Функции спектрометра заключается в определении диапазона частот, длину волны или энергию излучения.

В зависимости от конкретных потребностей и областей применения, могут быть использованы и другие виды оборудования и измерительных приборов. Теперь рассмотрим, как происходит калибровка оборудования и их поверку, так же мы рассмотрим лаборатории которые на данный момент работают и занимаются: испытаниями, калибровкой, поверкой, измерениями. Информацию предоставил электронный ресурс на 22.10.2023 Белорусский Государственный Центр Аккредитации.

Испытательная лаборатория – это аккредитованная организация, которая в лабораторных условиях проводит испытания различных видов продукции. На данный момент (22.10.2023) существуют 2040 действующих лабораторий по всей Беларуси.

На основании протоколов испытаний, полученных в испытательной лаборатории, орган по сертификации принимает решение о выдаче сертификата соответствия. Кроме этого, схемы декларирования продукции производителем предусматривают участие испытательной лаборатории, а протоколы, полученные в ходе этих испытаний, относятся к перечню документов, составляющих доказательную базу декларации. Сведения о них заносятся в бланк декларации.

Функции испытательной лаборатории сводятся к следующему:

- проведение сертификационные испытания в своей области аккредитации;
- постоянное поддержание соответствие требованиям аккредитации;
- обеспечение достоверности, объективности и требуемой точности результатов испытаний;

- приём на испытания для целей сертификации по требованиям безопасности только образцов, четко идентифицированных в качестве представителей сертифицируемой продукции изготовителя;
- ведение учета всех предъявляемых претензий по результатам испытаний;
- уведомление заказчика о намерении поручить проведение части испытаний другой аккредитованной лаборатории и проводить их только с его согласия.

Калибровочная лаборатория – это самостоятельная организация или подразделение предприятия, выполняющее работы по калибровке средств измерений. Калибровкой называются работы по установлению зависимости между показаниями измерительного средства и размером входной измеряемой величины. На 22.10.2023 рабочих лабораторий насчитывается около 46. Суть калибровки состоит в том, чтобы обеспечить точность и объективность работы средств измерений. Проведение калибровки подтверждается выдачей сертификата.

Методики проверки средств измерений:

- Метод непосредственного сличения с эталоном.
- Метод сличения с использованием компаратора – прибора сравнения.
- Метод прямых измерений величины.
- Метод косвенных измерений величины.

Поверочная лаборатория – это учреждение, осуществляющее поверку и калибровку различных измерительных приборов и оборудования. Ее задача заключается в том, чтобы проверить точность и соответствие измерительных приборов установленным стандартам и требованиям. Услуги могут быть разными в соответствии с квалификацией сотрудников и наличием оборудования.

Задачи поверочных лабораторий заключаются:

- Поверка СИ массы, давления, вакуума, параметров движения, расхода количества жидкостей, газов и др.
- Аттестация испытательного оборудования.
- Проведение оценки состояния измерений в аналитических, измерительных и испытательных лабораториях с выдачей свидетельства утвержденной формы.

Государственную поверку средств измерений осуществляют уполномоченные юридические лица и иные юридические лица, такие как индивидуальные предприниматели, уполномоченные Госстандартом на осуществление государственной поверки, из числа юридических лиц, аккредитованных в соответствии с правилами аккредитации на поверку. При этом государственную поверку осуществляют непосредственно государственные поверители.

Различают следующие виды поверок:

- первичная – проводится при выпуске средств измерений из производства и после ремонта;
- периодическая – проводится через межповерочные интервалы,



- установленные с учётом обеспечения пригодности к применению на период между поверками;
- внеочередная – проводится до окончания срока действия периодической поверки при вводе средства измерений в эксплуатацию или необходимости подтверждения пригодности СИ к применению;
  - инспекционная – проводится при осуществлении государственного метрологического надзора и метрологического контроля за состоянием и применением средств измерений;
  - экспертная – проводится при возникновении спорных вопросов по метрологическим характеристикам, исправности СИ и пригодности их к применению.

Измерительные (электроизмерительные) лаборатории – проводят комплексные и точечные проверки силы тока и напряжения, диагностику нагрузок, ревизии внутренних и внешних линий, проводят испытания электроустановок и электрооборудования под нагрузкой и так далее. Задачами лаборатории является мониторинг технического состояния электросети и электрооборудования, установленного в разнообразных инфраструктурных объектах, производственных помещениях, общественных и жилых сооружениях.

В каких случаях нужна такая лаборатория:

- Рассчитать уровень пожарной безопасности промышленного объекта
- Подготовить проект на любой тип зданий
- Проверить работоспособность систем после капитального ремонта или реконструкции постройки
- Увеличить степень технической безопасности объекта или его отдельных участков
- Подключить к системе новое оборудование или бытовые приборы
- Установка теплых полов в помещении
- Перевести жилой фонд в нежилой

Деятельность лаборатории заключается в:

- Тестирование сети при сдаче готового объекта. Совершается после строительства, монтажа техники, реконструкции. По итогам обследования оформляется отчет с выводами о возможности ввода объекта в эксплуатацию
- Регулярные испытания. Позволяют контролировать уровень сопротивления кабелей, состояние изоляции, соблюдение требований пожарной безопасности
- Профилактические замеры. Помогают обнаружить и устранить неисправности техники

### **Заключение**

Метрологическое обеспечение, стандартизация и сертификация играют важную роль в обеспечении качества и безопасности продукции и услуг на промышленных предприятиях. Кроме того, метрологическое обеспечение является неотъемлемой частью обеспечения безопасности и экологичности предприятий промышленной энергетики. Правильная работа и калибровка

измерительных приборов позволяет своевременно выявлять возможные неисправности и нарушения в работе энергетических систем, а также принимать меры по их устранению. Это позволяет предотвратить возможные аварии и отказы в работе систем, а также избежать негативного воздействия на окружающую среду.

### Литература

1. Основы метрологии, стандартизации и сертификации / Антонюк Евгений Михайлович [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://etu.ru/assets/files/Faculty-Fibs/Vvedenie-v-specialnost/Antonyuk.pdf> / – Дата доступа: 23.10.2023
2. Госстандарт (Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://gosstandart.gov.by/> – Дата доступа: 23.10.2023
3. Белорусский государственный институт метрологии [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://belgim.by/> – Дата доступа: 23.10.2023

УДК 621.311

**РОЛЬ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЭНЕРГЕТИКЕ  
THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ENERGY**

В.Д. Леонов, Е.В. Ломаченков

Научный руководитель – О.С. Шауро, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Leonov, E. Lomachenkov

Supervisor – O. Shauro, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** в статье изложены основные паттерны применения искусственного интеллекта в энергетике. Произведен анализ глубины внедрения ИИ в производственные процессы в сфере энергетики и дана оценка перспективности дальнейшего развития машинного обучения для повышения эффективности выработки энергии.

**Abstract:** the article outlines the main principles of using artificial intelligence in the energy sector. An analysis was carried out of the development of AI in production processes in the energy sector and increasing the efficiency of further development of machine learning to assess the efficiency of energy production.

**Ключевые слова:** Энергетика, искусственный интеллект, машинное обучение, экология, оптимизация, прогнозирование, мониторинг.

**Keywords:** Energetics, artificial intelligence, machine learning, ecology, optimization, forecasting, monitoring.

**Введение**

В современном мире цифровой революции искусственный интеллект (ИИ) прошел через множество трансформаций и стал ключевым катализатором изменений в различных отраслях. Однако, среди всех областей, в которых ИИ оказал серьезное воздействие, энергетика, возможно, представляет одно из самых обещающих и важных применений. Искусственный интеллект в энергетике – это не просто технологический прорыв, но и мощный инструмент для преобразования и совершенствования индустрии, которая стоит в центре современной цивилизации. Наши будущие поколения будут зависеть от энергетики, и ИИ становится ключом к обеспечению их потребностей в электроэнергии, при этом соблюдая требования экологической устойчивости.

**Основная часть**

Искусственный интеллект могут использовать в энергетике в следующих примерах:

- Прогнозирование спроса на энергию. Искусственный интеллект (ИИ) в энергетике играет важную роль в прогнозировании спроса на электроэнергию. Эффективное прогнозирование спроса позволяет предсказывать, сколько энергии будет нужно в будущем на определенных участках электроэнергетической сети. Это имеет ряд важных применений:
- Оптимизация производства: на основе прогнозов спроса компании могут

- более точно планировать производство электроэнергии, что способствует экономии ресурсов и снижению производственных затрат.
- Снижение потерь энергии: точные прогнозы спроса позволяют эффективнее управлять передачей и распределением энергии, что снижает потери на транспорте и распределении.
  - Интеграция возобновляемых источников: прогнозы спроса позволяют лучше интегрировать в работу сети возобновляемые источники энергии, такие как солнечные и ветровые электростанции.
  - Управление распределением энергии: ИИ также используется для управления распределением электроэнергии в реальном времени. Это включает следующие аспекты:
    - Автоматическое регулирование нагрузки: ИИ способен мониторить текущие нагрузки на сети и автоматически регулировать подачу энергии, чтобы обеспечить равномерное распределение и избегать перегрузок.
    - Оптимизация пути передачи энергии: системы ИИ могут вычислять оптимальные маршруты передачи энергии, чтобы сократить потери на передаче и оптимизировать работу сети.
    - Работа с переменными нагрузками: ИИ позволяет адаптировать работу сети к переменным нагрузкам, таким как использование электроэнергии электрическими автомобилями.
    - Оптимизация потребления: ИИ может адаптировать потребление электроэнергии в реальном времени, что имеет ряд преимуществ:
    - Эффективное использование возобновляемых источников: ИИ может реагировать на изменения в производстве энергии от солнечных и ветровых источников, регулируя потребление, чтобы максимизировать использование возобновляемой энергии.
    - Учет индивидуальных потребностей: системы ИИ могут учитывать индивидуальные предпочтения и потребности потребителей, оптимизируя потребление в реальном времени. Показателем пример Google, которая одна из первых стала применять искусственный интеллект оптимизации затрат на охлаждение оборудования в центрах обработки данных. Показатель PUE (Power Usage Effectiveness) – стандарт отрасли для оценки энергоэффективности ЦОД. Для его определения необходимо вычислить отношение полной электроэнергии, потребляемой таким центром к энергии, расходуемой оборудованием. На рисунке 1 представлен график изменения PUE в зависимости от того осуществляет ли ИИ контроль над потреблением. В данном случае ключевые параметры, по которым происходило обучение искусственного интеллекта – температура и потребление энергии в зависимости от трафика, обрабатываемого оборудованием, от времени суток и еще многих факторов, совокупность которых позволила корпорации сократить объем потребляемой электроэнергии до 40%.

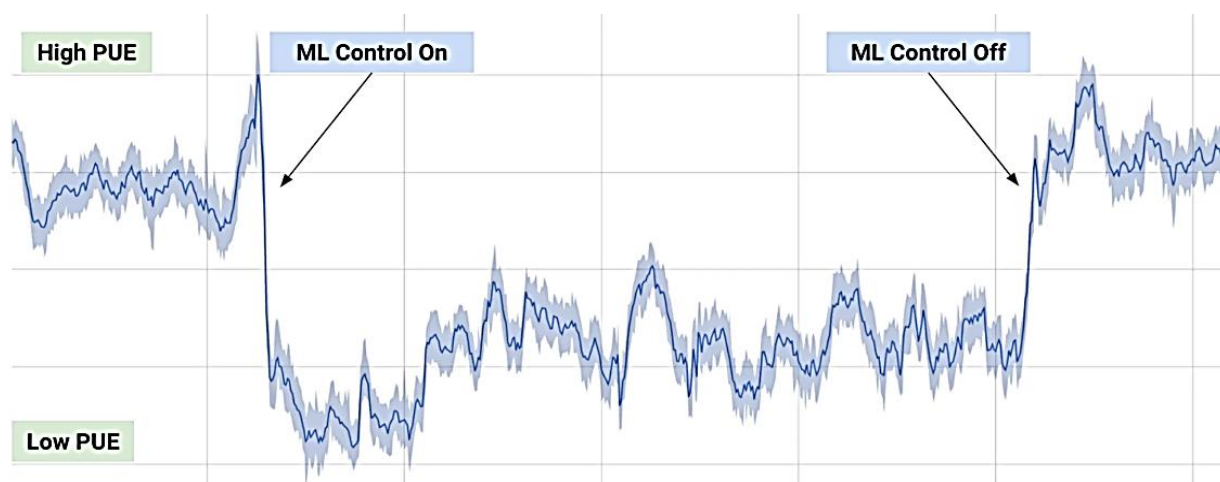


Рисунок 1 – График изменения PUE в зависимости от режима работы ИИ

- Экономия на стоимости электроэнергии: ИИ может регулировать потребление, исходя из цен на электроэнергию в разное время суток, что позволяет сэкономить на затратах.
- Мониторинг и обнаружение неисправностей: Системы машинного обучения и искусственного интеллекта могут обеспечивать более надежный мониторинг и обнаружение неисправностей в оборудовании энергетических систем. Это важно для:
  - Предотвращения аварий и сбоев: системы мониторинга могут выявлять даже незначительные отклонения в работе оборудования и предпринимать меры для предотвращения серьезных аварий.
  - Планового технического обслуживания: ИИ помогает оптимизировать расписание технического обслуживания, что позволяет снизить длительные простои и увеличить надежность работы оборудования.
  - Увеличения срока службы оборудования: благодаря мониторингу и раннему обнаружению проблем, можно увеличить срок службы энергетического оборудования.

### Заключение

В настоящее время электрические системы управляются при помощи компьютеров, ведь человек физически не способен обрабатывать такое огромное количество информации. Управлять всеми параметрами очень сложно, поэтому на помощь человеческому интеллекту приходит искусственный, то есть цифровая система на основе искусственного интеллекта. Вышеперечисленные применения искусственного интеллекта в энергетике содействуют повышению эффективности и надежности энергетических систем, а также улучшению устойчивости и экономической эффективности в этой важной отрасли.

### Литература

1. DeepMind AI Reduces Google Data Centre Cooling Bill by 40% // Google DeepMind : сайт. – URL: <https://deepmind.google/discover/blog/deepmind-ai-reduces-google-data-centre-cooling-bill-by-40> (дата обращения: 30.10.2023)
2. Бутл, Р. Искусственный интеллект и экономика: Работа, богатство и благополучие в эпоху мыслящих машин / Р. Бутл. – Москва : Интеллектуальная Литература, 2020. – 432 с. – ISBN 978-5-907394-25-4.

3. Березовский, Н. И. Технология энергосбережения : [учебное пособие для вузов по специальности “Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент”] / Н. И. Березовский, С. Н. Березовский, Е. К. Костюкевич; Белорусский институт правоведения. – Минск : БИП-С Плюс, 2007. – 151 с.: ил.

4. Василенко, А. Б. Современная энергетика и энергетика будущего : технологии производства, нетрадиционные источники, экологическая безопасность / А. Б. Василенко, В. В. Тетельмин. – Москва : URSS: ЛЕНАНД, 2018. – 238 с.: ил., табл., схем.



УДК 621.389

**ЭЛЕКТРОННЫЙ НОС И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ  
ELECTRONIC NOSE AND ITS APPLICATION**

А.П. Германович, Т.А. Гришков

Научный руководитель – О.С. Шауро, старший преподаватель  
Белорусский национально технический университет, г. Минск

A. Germanovich, T. Grishkov

Supervisor – O. Shauro, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** *Статья рассматривает создание и применение компактного устройства, способного анализировать состав веществ, подобно носу человека или животного.*

**Annotation:** *The article considers the creation and application of a compact device capable of analyzing the composition of substances, like a human or animal nose.*

**Ключевые слова:** *электронный нос, анализ веществ, искусственный интеллект, базы данных, контроль качества, медицинская диагностика.*

**Key words:** *electronic nose, substance analysis, artificial intelligence, databases, quality control, medical diagnostics.*

**Введение**

Развитие технологий в области электроники и робототехники в настоящее время привело к возможности человека создавать устройства, дополняющие или даже имитирующие некоторые функции органов чувств человека. Обоняние является одним из ключевых таких чувств, благодаря его наличию человек определяет возможные опасности, делает выводы о спелости плодов и многое другое. Особенно сильно обоняние развито у животных, например, собак. Это их качество активно используется для поиска запрещенных веществ, определения по запаху некоторых заболеваний и иных целей. Таким образом создание прибора для анализа запахов является задачей, имеющей множество разнообразных применений. Для анализа газов в промышленности и лабораториях используют хроматографию. Данный метод позволяет качественно определить качественный и количественный состав пробы, но имеет существенные недостатки, а именно, высокую цену и большие габариты. Появилась задача разработать портативное устройство, не теряющее при этом необходимого функционала – электронного носа.

**Основная часть**

В 1982 году [1] были начаты разработки электронного носа. Вместо крупногабаритных хроматографов было необходимо создать компактное устройство, которое могло бы сравниться с носом человека или животного. Принцип работы электронного носа заключается в том, что он должен улавливать молекулы веществ, находящихся в окружающей среде, анализировать их качественный и количественный состав и делать вывод о свойствах образца. Сложностью повторения природной системы обоняния является то, что человек ориентируется в запахах на основе предыдущего опыта,

ассоциаций, инстинктов, запахи могут смешиваться и ощущаться по-разному. Поэтому система сенсоров должна работать в связке с искусственным интеллектом, подключенным к базам данных. Таким образом для симулирования работы обоняния необходимо пройти стадии, указанные на рисунке 1.



Рисунок 2– Стадии процесса обнаружения запаха

В наше время сенсорную систему реализуют в виде полимерной пластины, на которой располагаются электроды, чувствительные к требуемым веществам. Когда воздух проходит через пластину, происходит реакция чувствительного элемента с молекулами из образца, в результате чего меняется сопротивление элемента. Замеряемые изменения могут быть незначительными, что позволяет с большой точностью определять наличие конкретных молекул. Сравнительная таблица для подбора материалов для датчиков бала приведена в статье профессоров Токийского медицинского университета [2].

Таблица 1 – Методы обнаружения газов в образцах

Целевое вещество	Механизм обнаружения
SO <sub>2</sub>	Поверхностная акустическая волна
Сафрол	Кварцевые микровесы
Спирт этиловый	Металлоксидный полупроводник
Бензол, Этилбензол, Толуол, Ксилол	Полимерный композит из технического углерода
NH <sub>3</sub> HCl	Углеродное нановолокно
Триметиламин	Биоэлектронный нос на основе пептидных рецепторов
Клетка рака молочной железы, Z-3-гексен-1-ол	Биол-электронный нос на основе усиков дрозофилы

Технология электронного носа имеет широкие перспективы применения. Это сфера контроля качества пищевой промышленности, распознавание опасных концентраций веществ на вредных производствах и медицинская сфера, поиск запрещенных веществ. Особый интерес представляет медицинская диагностика с использованием электронного обоняния. Давно известна методика обнаружения заболеваний по запаху выделений кожи, мочи и дыхания человека. Благодаря применению электронного носа можно автоматизировать и упростить такую диагностику. В статье научных сотрудников Сидианского университета [3] приводится статистика, согласно которой обнаружение заболеваний при помощи измерения запахов тела пациентов даёт более точный результат на ранних стадиях заболеваний. Так рак легких определяется на 2 года раньше, чем при помощи классических методов диагностики.

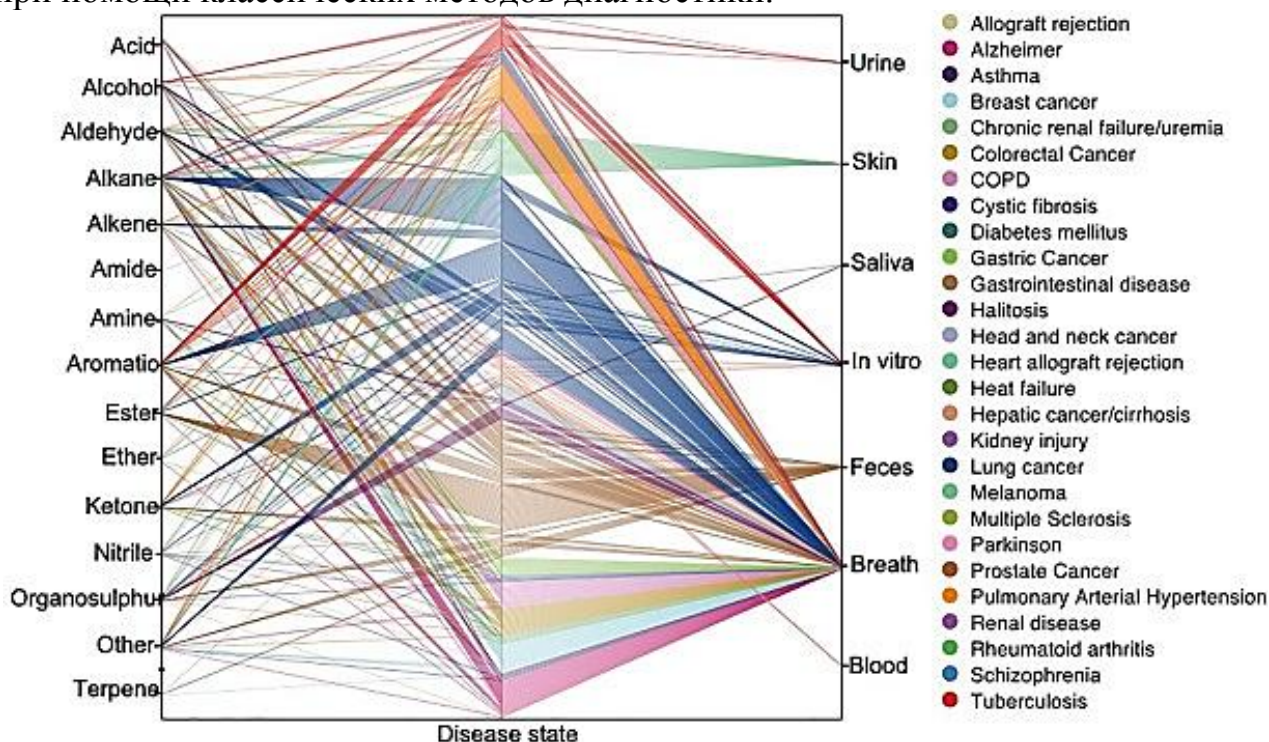


Рисунок 3 – Выделяемые вещества при различных заболеваниях

Несмотря на значительное развитие технологии электронного носа, существует ряд проблем, которые тормозят массовое распространение таких устройств. В статье Политехнического университета Милана [4] авторы рассуждают о существенных недостатках современных разработок. Среди них можно перечислить влияние температуры и влажности, а также временного дрейфа на чувствительность датчиков, так же необходимо корректно разрабатывать отдельные алгоритмы для каждой зоны применения датчика из-за специфичности газового состава в разных условиях. Особое внимание авторы уделили методологии стандартизации выпуска электронных носов, определения степени точности измерений для каждой сферы применения. Так как для определения зрелости плодов и диагностирования заболеваний допустимая погрешность будет существенно варьироваться, то и используемые приборы не могут быть одинаковыми.

## Заключение

Технология электронного носа обладает множеством перспектив для применения в различных сферах. На данный момент создание аппарата, способного полностью заменить обоняние человека или животного затруднительно ввиду сложности создания полностью автономной и при этом многофункциональной системы. Благодаря развитию электроники упрощается конструкция приборов, датчики становятся более компактными, что приближает создание полноценного аналога природному носу. Однако уже сейчас можно активно применять данные технологии в узких сферах, например, там, где основные параметры среды уже известны и можно откалибровать чувствительность датчиков до необходимых значений (производственные участки, медицинские кабинеты). В перспективе развитие данной сферы открывает целую нишу продуктов, способных удешевить контроль параметров газовой среды, контроль качества продукции, автоматизировать охрану труда на вредных производствах, улучшить качество диагностирования в медицинских учреждениях, использоваться в местах массовых скоплений людей для обеспечения общественной безопасности.

## Литература

1. Persaud K., Dodd G. Analysis of discrimination mechanisms in the mammalian olfactory system using a model nose. *Nature* 299, Pages 352–355 (1982).
2. Weiwei Wu, Taiping Lu, Hossam Hauck, *Electronic Nose Sensors for Healthcare*, Editor(s): Roger Narayan, *Encyclopedia of Sensors and Biosensors (First Edition)*, Elsevier, 2023, Pages 478-504.
3. Weiwei Wu, Taiping Lu, Hossam Hauck, *Electronic Nose Sensors for Healthcare*, Editor(s): Roger Narayan, *Encyclopedia of Sensors and Biosensors (First Edition)*, Elsevier, 2023, Pages 728-741.
4. Eusebio L., Capelli L., Sironi, S. Electronic Nose Testing Procedure for the Definition of Minimum Performance Requirements for Environmental Odor Monitoring. *Sensors* 16, no. 9: 1548.



УДК 621.311

**ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ  
PROBLEMS OF MODERN ENERGY**

Е.О. Буча, Д.С. Снитко

Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

E. Bucha, D. Snitko

Supervisor – S. Sizikov, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

*Аннотация:* на сегодняшний день существуют несколько проблем, связанных с производством, потреблением и устойчивостью энергетики.

*Abstract:* Today there are several problems associated with energy production, consumption and sustainability.

*Ключевые слова:* Энергетика, электростанции, ресурсы, климат, энергоэффективность.

*Keywords:* Energy, power plants, resources, climate, energy efficiency.

**Введение**

Энергия является жизненно важным ресурсом, который питает различные аспекты нашей современной цивилизации. Однако на сегодняшний день существуют несколько проблем, связанных с производством, потреблением и устойчивостью энергетики. В данном докладе мы рассмотрим некоторые из главных проблем и предложим пути их решения.

**Основная часть**

Экологические проблемы традиционной энергетики

Основная часть электроэнергии производится на тепловых электростанциях (ТЭС). Далее идут гидроэлектростанции (ГЭС) и атомные электростанции (АЭС).

Тепловые электростанции.

Во многих странах более 50% энергии производится на тепловых электростанциях (ТЭС). Такие станции используют различные виды топлива, включая уголь, мазут, газ и сланцы. Однако исследования показывают, что запасы этих ископаемых ограничены. Например, угля хватит на 100-300 лет, нефти на 40-80 лет, а природного газа на 50-120 лет.

Коэффициент полезного действия ТЭС, то есть эффективность преобразования топлива в электроэнергию, варьируется в среднем от 36% до 39%. У ТЭС также есть значительное потребление воды. Например, типичная станция мощностью 2 миллиона кВт ежедневно потребляет 18 000 тонн угля, 2500 тонн мазута и 150 000 кубических метров воды. Кроме того, для охлаждения отработанного пара ТЭС требуется ежедневно использовать 7 миллионов кубических метров воды, что приводит к тепловому загрязнению водоема-охладителя.

Тепловые электростанции также характеризуются высоким уровнем радиационного и токсичного загрязнения окружающей среды. Обычный уголь и

его зола содержат вредные примеси, такие как уран и другие токсичные элементы, в концентрациях, превышающих содержание в земной коре.

Строительство крупных ТЭС или их комплексов еще более увеличивает загрязнение окружающей среды. Например, возможны новые проблемы, вызванные ускоренным сжиганием кислорода из-за фотосинтеза растений на территории электростанции или избыточной концентрацией углекислого газа в нижнем слое атмосферы.

Уголь является наиболее перспективным источником ископаемого топлива из-за огромных его запасов по сравнению с нефтью и газом. Основные мировые запасы угля находятся в России, Китае и США. Однако на данный момент основная часть энергии производится на ТЭС с использованием нефтепродуктов. Переход к использованию угля повлечет за собой экологические проблемы, материальные затраты и изменения в промышленности. Некоторые страны уже начали процесс перестройки энергетической структуры с целью снижения зависимости от ископаемого топлива.

**Гидроэлектростанции.**

Основные преимущества гидроэлектростанций (ГЭС) включают низкую стоимость производства электроэнергии, быструю окупаемость (сравнительно с тепловыми электростанциями), высокую маневренность, что особенно важно в периоды пиковой нагрузки, а также возможность накопления энергии.

Однако, даже если использовать весь потенциал рек на планете, это сможет удовлетворить лишь четверть современных потребностей человечества.

Однако строительство ГЭС, особенно на равнинных реках, вызывает множество экологических проблем. Водохранилища, необходимые для обеспечения стабильной работы ГЭС, вызывают изменения климата на больших расстояниях и служат источником загрязнений. Водохранилища становятся животными источниками биологического и химического загрязнения воды, что приводит к ухудшению ее качества. Проблемой также является нарушение естественных процессов рыбоводства, затопление плодородных земель и изменение уровня подземных вод.

Более перспективным вариантом является строительство ГЭС на горных реках, поскольку они имеют более высокий гидроэнергетический потенциал по сравнению с равнинными реками. При этом водохранилища, создаваемые на горных территориях, оказывают меньшее воздействие на плодородные земли, поскольку обычно не требуют больших площадей для поглощения воды.

**Атомные электростанции**

Атомные электростанции (АЭС) имеют ряд экологических преимуществ. Они не выделяют углекислый газ и загрязняющие вещества в том же объеме, что и тепловые электростанции (ТЭС). Количество радиоактивных веществ, образующихся при эксплуатации АЭС, также невелико. В течение долгого времени АЭС считались наиболее экологически чистым типом электростанций и перспективной альтернативой ТЭС, оказывающих влияние на глобальное потепление.

Однако безопасность эксплуатации АЭС остается проблемой. Замена большей части ТЭС на АЭС не представляется осуществимой из-за огромных



экономических затрат. Катастрофа в Чернобыле изменила отношение людей к АЭС и вызвала сомнения относительно их будущего развития. Существуют проблемы, связанные с безопасностью реакторов, возможностью глобальных аварий, проблемой выбросов диоксида углерода и другими.

В целом, АЭС имеют экологические преимущества, но их безопасность и экономическая целесообразность вызывают сомнения и требуют дальнейшего изучения и разработки.

Избыточное потребление и истощение ресурсов.

Избыточное потребление энергии - это ситуация, когда потребление энергии превышает потребности общества. В современном мире индустриальное развитие и повышение уровня жизни приводят к росту потребления энергии во всех ее формах - электричество, топливо, тепло и прочее. Это можно видеть, например, в увеличении электрических нагрузок от бытовых приборов, электромобилей и других электроустановок. Избыточное потребление энергии приводит к нескольким проблемам:

- Истощение ресурсов. Традиционные источники энергии, такие как нефть, уголь и природный газ, являются ограниченными, исчерпаемыми ресурсами. Когда слишком много энергии потребляется, наши ресурсы истощаются быстрее, чем восстанавливаются. Это может привести к дефициту энергии и росту цен на энергию.
- Угроза окружающей среде. Большая часть современных источников энергии основана на использовании ископаемого топлива, такого как уголь, нефть и природный газ. Сжигание этих топлив приводит к высоким выбросам парниковых газов и загрязнению окружающей среды. Это ведет к изменению климата, ухудшению качества воздуха и воды, а также негативному влиянию на местные экосистемы.
- Экономические последствия: Избыточное потребление энергии также может привести к экономическим проблемам. Рост потребления энергии требует строительства новых энергетических объектов, таких как электростанции или скважины, что требует значительных инвестиций. Более высокая стоимость энергии также может оказывать негативное влияние на экономику, поскольку повышенные затраты на энергию могут снижать конкурентоспособность предприятий и ухудшать финансовое положение домохозяйств.

Решение проблемы избыточного потребления энергии состоит в принятии мер по повышению энергоэффективности и переходе к более устойчивым источникам энергии. Это включает в себя использование энергоэффективных технологий, усовершенствование энергетической инфраструктуры, сознательное использование энергии и развитие возобновляемых источников энергии. Поддержка и стимулирование энергосберегающих программ и исследований в области новых технологий также важны для решения этой проблемы.

Изменение климата и угрозы окружающей среде

Изменение климата. Потребление и производство энергии из традиционных ископаемых источников, таких как уголь, нефть и природный газ, является основным источником выбросов парниковых газов, таких как углекислый газ (CO<sub>2</sub>) и метан. Эти парниковые газы воздействуют на атмосферу, создавая эффект теплового усиления, что приводит к глобальному потеплению и изменению климата. Последствия изменения климата включают повышение температуры, экстремальные погодные явления, повышение уровня морей и угрозу для экосистем и мировой продовольственной безопасности.

Загрязнение окружающей среды: Добыча, транспортировка и сжигание ископаемых топлив имеют негативное воздействие на окружающую среду. Сжигание угля и нефти приводит к выбросу вредных веществ, таких как сернистый ангидрид (SO<sub>2</sub>), оксиды азота (NO) и другие токсические вещества, которые загрязняют воздух и вносят вклад в формирование смога и проблем с качеством воздуха. Неконтролируемая выемка угля может вызывать опустынивание и загрязнение почвы, а разливы нефти могут иметь существенные последствия для морской и наземной жизни.

Угроза биоразнообразию: Излишнее использование традиционных ископаемых видов энергии приводит к потере биоразнообразия. С помощью поверхностной добычи угля и нефти разрушаются экосистемы, включая леса и водные экосистемы. Это ведет к потере растений и животных, а также может привести к угрозе вымирания многих видов.

Решение проблемы изменения климата и угроз окружающей среде связано с переходом к устойчивым источникам энергии и снижением выбросов парниковых газов. Это может быть достигнуто путем расширения использования возобновляемых источников энергии, таких как солнечная и ветровая энергия. Также важно увеличить энергоэффективность, сокращать потребление энергии, повышать энергетическую эффективность зданий и транспортных средств. Внедрение инновационных технологий и разработка глобальных договоренностей о сокращении выбросов парниковых газов являются необходимыми шагами для решения этой проблемы.

### **Заключение**

Современная энергетика сталкивается с рядом серьезных проблем, которые требуют немедленного внимания и решения. Избыточное потребление энергии и истощение ресурсов приводят к нерациональному использованию исключительно ограниченных природных ресурсов, которые в настоящее время составляют основу мировой энергетики. Это может привести к истощению этих ресурсов и непредсказуемым последствиям для будущих поколений.

Другая серьезная проблема, связанная с современной энергетикой, - это изменение климата и угрозы окружающей среде. Использование традиционных ископаемых источников энергии способствует выбросу парниковых газов, которые вызывают глобальное потепление и изменение климата. Помимо этого, загрязнение окружающей среды и угроза биоразнообразию также связаны с добычей и использованием этих ископаемых ресурсов.

Решение этих проблем требует перехода к устойчивым источникам энергии и улучшения энергетической эффективности. Расширение использования

возобновляемых источников энергии, таких как солнечная и ветровая энергия, и снижение выбросов парниковых газов становятся все более неотложными задачами. Кроме того, важно внедрять инновационные технологии и разрабатывать международные соглашения на глобальном уровне, чтобы обеспечить устойчивое развитие и сохранение окружающей среды для будущих поколений.

В заключение, решение проблем современной энергетики требует совместных усилий государств, научных исследователей, промышленности и общества в целом. Это вызов, которому необходимо уделить серьезное внимание сегодня, чтобы обеспечить устойчивое и энергетически эффективное будущее для всех.

### Литература

1. Экологические проблемы энергетического обеспечения человечества [Электронный ресурс]/ Экологические проблемы энергетического обеспечения человечества – Режим доступа <http://nuclphys.sinp.msu.ru/ecology/ecol/ecol05.htm/>. – Дата доступа: 15.10.2023.
2. Энергетика и окружающая среда [Электронный ресурс]/ Энергетика и окружающая среда – Режим доступа: [http://www.ncm.unn.ru/files/2015/11/Current\\_environmental\\_problems.pdf/](http://www.ncm.unn.ru/files/2015/11/Current_environmental_problems.pdf/). – Дата доступа: 15.10.2023.

УДК 629.311

**НЕЭФФЕКТИВНОСТЬ И НЕ ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ  
ПО СРАВНЕНИЮ С МАШИНАМИ С ДВИГАТЕЛЯМИ  
ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ****THE INEFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL FRIENDLINESS OF  
ELECTRIC VEHICLES COMPARED TO CARS WITH INTERNAL  
COMBUSTION ENGINES**

Д.С. Кубрин, А.С. Важник

Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

D.Kubryn, A.Vazhnik,

Supervisor – S. Sizikov, Candidate of Technical Sciences, Docent

Belarusian national technical university, Minsk

*Аннотация:* Рассмотрена проблема, связанная с неэффективностью и экологическим вредом электромобилей по сравнению с автомобилями, работающими на двигателях внутреннего сгорания.

*Annotation:* Paper will address the issue of the inefficiency and environmental harm of electric vehicles compared to internal combustion engine vehicles.

*Ключевые слова:* Двигатели внутреннего сгорания (далее ДВС), электромобили, коэффициент полезного действия (далее КПД).

*Keywords:* Internal combustion engine (ICE), coefficient of performance (COP), electric cars.

**Введение**

Добротным примером является структурированный анализ энергетической эффективности процессов, связанных с производством и передачей электроэнергии, а также использованием электромобилей. Основная цель статьи – предоставить читателям действующую информацию о неэффективности электромобилей и последствиях их использования в текущем состоянии производства электроэнергии.

**Основная часть**

Основная часть энергии, получаемая в мире это энергия, полученная при сжигании полезных ископаемых. По данным Международного агентства по энергетике, на момент 2022 года 30% всей производимой электроэнергии составляет – нефть, 23% природный газ, 28% за счет сжигания угля (рисунок №1). Это 81% всей энергии в мире производится на тепловой электростанции, из чего можно сделать вывод, что для зарядки электромобиля используются ископаемые ресурсы. Следует отметить, что доля производимой электроэнергии за счет сжигания снизилась на 5% по сравнению с 2000 годом. Такой большой процент обусловлен дешевизной топлива, строительства, обеспечения и сравнительной простотой технологии тепловой электростанции по сравнению с использованием возобновляемых источников таких как: АЭС, ВЭС и т.д.



Рисунок 1 – Диаграмма производства энергии в мире.

Один из мировых показателей эффективности преобразования энергии из тепловой в электрическую и ее передачу служит КПД.

КПД (коэффициент полезного действия) тепловых электростанций (ТЭС) может различаться в зависимости от типа и конкретных характеристик станции. Общепринято считать, что КПД тепловых электростанций на уровне 30-40%. КПД станции определяет, какая часть затраченной энергии будет переведена в полезную электроэнергию, а какая часть будет теряться в виде тепла на нагрев элементов ТЭС, инерцию турбины и т.д.

Для передачи электроэнергии от источника до потребителя на большие расстояния с минимальными потерями необходимо использовать линии передачи высокого напряжения (ЛПВН). КПД ЛПВН зависит от множества факторов, включая протяженность передачи, тип материала, погодных факторов и т.д. КПД ЛПВН довольно высок и составляет 95-98%.

Чтобы использовать переданную через ЛПВН электроэнергию необходимо понизить напряжения на трансформаторной станции, КПД которой составляет 98-99% из-за потери в обмотке, вызванной сопротивлением проводников, рассеяния магнитного потока и т.д.

Электричество от трансформатора до зарядки автомобиля также доставляется с потерями и точное число потери высчитать практически невозможно и связано это с прокладкой инженерных сетей. Но можно предположить, что КПД от трансформатора до розетки составляет 96-98%.

Необходимо также учесть, что при зарядке автомобиля от розетки часть электроэнергии без возврата затрачивается на нагрев. Для электромобилей с литий-ионными аккумуляторами КПД составляет 90-95%.

Также при использовании автомобиля электроэнергия из аккумулятора попадает в электромотор, в котором электрическая энергия переходит в механическую. КПД электромотора в современных автомобилях составляет 85-95% связано это с простотой конструкции по сравнению с двигателями внутреннего сгорания средний КПД которых составляет 40%.

Для простоты будущих расчетов будут приниматься средние значения всех показателей:

- Было получено 35% от сожженных полезных ископаемых на ТЭС
- 3,5% от полученной электроэнергии было потеряно на ЛПВН, что составляет 33,775% от исходных 35%.
- 1,5% от принятой электроэнергии с ЛПВН было потеряно на трансформаторе, что составляет 33,275% от исходных 33,775%.
- 3% было потеряно от трансформатора до розетки, что составляет 32,277% от исходных 33,275%.
- 7,5% было потеряно при зарядке аккумулятора от розетки, что составляет 29,857% от исходных 32,277%.
- 10% было потеряно в электромоторе, что составляет 26,872% от исходных 29,857%.

Конечная эффективность электромобиля от изначального сжигания полезных ископаемых до использования составляет 29,857% КПД, что в 1,33 раза менее эффективно по сравнению с машинами с двигателем внутреннего сгорания, КПД которого составляет 40%. Это означает, что при использовании одинакового количества ресурсов, электромобиль проедет меньше чем машина с ДВС в 1,33 раза, а вреда экологии будет столько же.

Помимо неэффективности электромобилей существует проблема переработки, которую следует учитывать с учетом увеличения продаж и развития машиностроения. Одна из основных проблем - это переработка литий-ионных аккумуляторов, срок эксплуатации которых довольно низок и правильная утилизация которых требуется для минимизации вреда окружающей среде. Один из возможных путей - это разборка аккумуляторов и восстановление компонентов. Специализированные центры, где эксперты проводят разборку аккумуляторов и восстанавливают каждый компонент, такой как катоды, аноды и электролиты. Это позволит повторно использовать ценные ресурсы и снизить потребность в новых материалах. Но зачастую такие аккумуляторы сжигаются, а что не удалось сжечь закапывают в землю тем самым нанося вред окружающей среде. Процент правильно переработанных аккумуляторов в мире составляет 5%. Не стоит забывать, что при добыче лития и очистке его от примесей для производства будущих аккумуляторов остается пустая порода и солевой раствор которые больше никак нельзя использовать и их просто выкидывают.

### **Заключение**

Расчетным путем, мы установили, что современные электромобили не эффективны и не экономичны по затратам по сравнению с машинами с ДВС, а также не экологичны как могло казаться из-за трудностей переработки литий-ионных аккумуляторов и необходимости употребления большего количества ресурсов. Одна из основных причин производства электромобилей – политическая, поскольку главными добытчиками и экспортёрами лития и кобальта для производства электромобилей являются бедные страны такие как: Чили, Конго, Австралия. Технология электромобилей действительно будет лучше устаревшей технологии ДВС только в том случае, когда больше 50% производимой электроэнергии будет за счет не сжигания топлива, также будет решена проблема переработки аккумуляторов.



### Литература

1. International Energy Agency (IEA). [Онлайн] Доступно по: <https://www.iea.org/> (по состоянию на 10 октября 2023).
2. Мировая энергетическая статистика. [Онлайн] Доступно по: <https://energystats.enerdata.net/> (по состоянию на 10 октября 2023).
3. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции: Учебник для теплоэнерг. спец. вузов. – М.-Л.: Энергия, 1967. – 400 с.; переиздание 1976, последнее – в 1987 г.

УДК 621.311

**ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ  
НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**  
**THE IMPACT OF A THERMAL POWER PLANT ON THE ENVIRONMENT**

А.И. Лужинская, А.О. Алексеевич

Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

А .Luzhynskaya, A. Alexeevich

Supervisor – S. Sizikov, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** В статье рассматривается актуальная проблема загрязнения окружающей среды тепловыми электростанциями. Представлены виды воздействий первостепенного значения и приведены методы по снижению вредных веществ в выбросах.

**Annotation:** The article deals with the actual problem of environmental pollution by thermal power plants. Presents the types of environmental impacts of primary importance and methods for reducing harmful substances in emissions.

**Ключевые слова:** тепловая электростанция, окружающая среда, экология, выбросы, золошлаковые отходы, мероприятия.

**Key words:** thermal power plant, environment, ecology, emissions, events slag, waste.

### Введение

Окружающая среда – первооснова жизни индивидуума, а ископаемые ресурсы и вырабатываемая из них энергия являются основой современной цивилизации. Известно, движущей силой преобразования состояния окружающей среды является энергия, то есть количественная мера, выражающая внутреннюю активность материи, возможность сложных систем к совершению работы или переустройствам во внешней среде.

В топливно-энергетическом комплексе наиболее современные технологии существенно воздействуют на природную среду и фактически не задумываются над последствиями равновесного состояния. Влияние воздействий выбросов на компоненты географической оболочки, то есть на атмосферу, гидросферу, литосферу требует безотлагательного исследования энергетического подхода и изучения состава ограниченных ресурсов земли.

### Основная часть

ТЭС является источником электрической и тепловой энергии. Они производят до 75% общей выработки электроэнергии мира. Большая часть топлива превращается в отходы, поступающие в окружающую среду в виде газообразных и твердых продуктов сгорания. При этом основная масса отходов в несколько раз превышает массу использованного топлива.

Воздействия ТЭС на окружающую среду можно разделить на группы:

- Первая группа – физические воздействия. Они представляют собой тепловое загрязнение; электромагнитное воздействие, акустическое воздействие, радиационное;

- Вторая группа – непосредственные воздействия. Они связаны с привнесением или изъятием из природной среды отдельных компонентов. Например, химическое загрязнение, выбросы вредных веществ и другое;
- Третья группа – косвенные воздействия. Они включают химические реакции вредных веществ, выброшенных в атмосферу и гидросферу, гравитационное осаждение твердых частиц и аэрозолей.

При строительстве крупных ТЭС или их комплексов загрязнение более существенно. Из-за этого могут возникать новые эффекты, например, обусловленные превышением скорости сжигания кислорода над скоростью его образования за счет фотосинтеза земных растений на данной местности, или вызванные увеличением концентрации углекислого газа в приземном слое.

В процессе работы ТЭС образуются дымовые газы, которые являются основным источником загрязнения атмосферы, водного бассейна, почвы, флоры и фауны. Объем дымовых газов выбрасываемых крупной ТЭС составляет около 1800 м<sup>3</sup>/с. Среди них наибольшую опасность представляют зола, двуокись серы и окислы азота (NOX).

Зола есть ничто иное как твердые частицы негорючих элементов угля. В основу заложены оксиды Si, Mg, Ca, S, Fe и некоторые другие, а также незначительное количество мышьяка и тяжелых металлов (Pb, Cr, Zn). Хотя большую часть золы можно отфильтровать, каждый год в атмосферу в виде отходов ТЭС попадает около 250 млн. тонн мелкодисперсных аэрозолей. Они считаются ядрами конденсации для паров воды и образования осадков; а, попадая в органы дыхания человека и других организмов, могут вызвать различные респираторные заболевания.

Наибольшей высокой биологической активностью обладает диоксид азота, он оказывает сильное раздражающее действие на слизистую оболочку глаз и дыхательные пути. Колоссальное негативное влияние на здоровье человека проявляют тяжёлые металлы. В больших дозах, проникая в организм, в течение кратковременного периода они способны вызвать острые отравления. При длительном воздействии в малых количествах такие вещества, как мышьяк, хром и никель могут проявлять свои канцерогенные качества.

Окись серы, попадающая с выбросами в атмосферу, наносит большой вред животному и растительному миру, она разрушает хлорофилл, имеющийся в растениях, повреждает листья и хвою.

Окись углерода, попадая в организм человека и животных, соединяется с гемоглобином крови, в результате чего в организме возникает дефицит кислорода, и, как следствие, происходят различные заболевания, связанные с разрушением нервной системы.

Оксид азота понижает прозрачность атмосферы и способствует образованию смога. Пентаксид ванадия, который имеется в составе золы, отличается высокой токсичностью, при попадании в дыхательные пути человека и животных, он вызывает сильное раздражение, нарушает деятельность нервной

системы, кровообращение и обмен веществ. Своеобразный канцероген бензапирен может вызывать онкологические болезни.

Выбросы ТЭС считаются основой таких сильных канцерогенных веществ, как полиароматические углеводороды (антрацен, пирен, бенз(а)пирен и др.). В отходах угольных ТЭС содержатся оксиды кремния и алюминия. Эти абразивные материалы способны разрушать легочную ткань и вызывать такое заболевание, как силикоз. Серьезную угрозу несут складированные золы и шлаков возле ТЭС. Для этого необходимы значительные территории, которые долгое время не используются, а также являются источниками накопления тяжелых металлов и повышенной радиоактивности.

Электромагнитное же воздействие ТЭС на окружающую среду проявляется в виде электромагнитных полей, генерируемых воздушными линиями высокого напряжения. Электромагнитные поля в больших дозах также несут угрозу здоровью человека.

Из косвенных воздействий большое влияние на окружающую среду имеет гравитационное осаждение аэрозолей и определяется по силе действия загрязняющих веществ на зелёные насаждения и микроклимат города

Со сточными водами ТЭС в водоёмы и водотоки попадают загрязняющие вещества, которые оказывают влияние на жизнедеятельность биоценоза. Биоценоз – сообщество живых организмов, животных и растений. В водоёмах происходит изменение состава примеси и приближение их к равновесию. При поступлении в водоём сточных вод это равновесие нарушается. При этом в водоёме интенсифицируются процессы, которые приводят его в оптимальное состояние, то есть происходит самоочищение водоёма. Основными из процессов самоочищения являются следующие:

- Окисление органических веществ;
- Осаждение грубодисперсных и коагуляция коллоидных примесей;
- Нейтрализация кислот и оснований, которое приводит к изменению водородного показателя pH;
- Установление углекислотного равновесия в воде водоёма;
- Гидролиз ионов тяжёлых металлов с образованием гидроксидов и выпадением их в осадок.

На этап самоочищения водоёма влияют следующий ряд факторов: состав примесей, концентрация кислорода в воде, температура воды, концентрация вредных примесей и показатель pH. Для процесса самоочищения значимым является кислородный режим водоёма. В случае поступления в водоём большого количества органических веществ возможен недостаток кислорода в воде, так как он расходуется на окисление органических веществ. В итоге происходит накопление органических веществ, их гниение и, следовательно, качество воды резко ухудшается.

Земли вблизи водохранилищ, непосредственно примыкающих к тепловым электростанциям, подвергаются постоянному потоплению из-за повышения уровня грунтовых вод, в результате происходит заболачивание значительных территорий. Под действием воды при формировании береговой линии

разрушаются участки почвы, происходит абразия. Абразионные циклы длятся десятилетиями, при этом происходит переработка большой массы почвогрунтов, заиливание дна водохранилища и загрязнение воды.

Один из компонентов, загрязняющих окружающую среду, – это шумовое воздействие. Энергетическое оборудование, как правило, является источником значительного шума. Однако основные источники шума, такие как паровые котлы, турбины, генераторы, редуционно-охладительные устройства, расположены внутри помещения ТЭС. Следовательно, они не оказывают значительного влияния на прилегающую к ТЭС территорию. От оборудования, расположенного вне главного корпуса, шум может распространяться за пределы территории станции. Это обстоятельство, принадлежащее всем типам электростанций, наибольшее значение имеет для ТЭЦ, которые расположены обычно в городском массиве. Их влияние на районы жилой застройки может оказаться существенным. Источниками постоянного шума, оказывающими существенное воздействие на окружающий район, являются тягодутьевые машины, газораспределительные пункты, трансформаторы, градирни, места забора воздуха из атмосферы и на выбросы из дымо-вых труб, особенно периодические продувки пара в атмосферу.

Для снижения воздействия негативной энергетики необходимо:

- Использовать усовершенствованное очистное оборудование. в данное время на большинстве ТЭС улавливаются твердые выбросы при помощи установки фильтров. при этом наиболее вредные загрязнители улавливаются в небольшом количестве;
- Сократить поступление соединений серы в атмосферный воздух путем предварительной десульфурации наиболее часто используемых разновидностей топлива. химические или физические методики позволят извлечь из топливных ресурсов свыше половины серы до начала их сжигания;
- Внедрение новых технологий сжигания топлива, например, сжигание в кипящем слое, которое уменьшает количество загрязняющих веществ в отходящих газах;
- Замена в ТЭС пылеочистительного оборудования на новое, с более высоким КПД;
- Использование замкнутых водооборотных и энерготехнологических циклов;
- Создание оборотных систем с повторным использованием подогретой воды, как источника низкопотенциального тепла и свежей воды в цикле ТЭС;
- Модернизация технологий очистки сточных вод перед их возвращением в водоемы и осуществление необходимого контроля;
- Оснащение оборудования и объектов ТЭС защитными и экранирующими устройствами.

### Заключение

Таким образом, решение проблемы негативного воздействия ТЭС на окружающую среду требует комплексного подхода с применением различных мероприятий, а при проектировании, строительстве новых ТЭС планирование их оснащения эффективными средствами очистки от сбросов и выбросов загрязняющих веществ, утилизации отходов, использования экологически безопасных видов топлива.

### Литература

1. Виноградов А.Ю. Экологические аспекты размещения и строительства тепловых электростанций// Приволжский научный вестник. 2016. №2(54). С. 40-42.
2. Гаак В.К., Квитко Г.В. Воздействие ТЭС на окружающую среду и способы его снижения// Современная наука: тенденции развития. 2016. № 15. С. 144-149
3. Крылов Д.А. Воздействие микроэлементов от угольных ТЭС на окружающую среду и здоровье людей // Энергия: экономика, техника, экология. 2012. № 8. С.9-16.
4. Носков А.С., Савинкина М.А., Анищенко Л.Я. Воздействие ТЭС на окружающую среду и способы снижения наносимого ущерба. - Новосибирск. Изд.ГПНТБ, 2005. - с. 8-22.



УДК 621.311

**ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ  
THERMAL POWER PLANT**

Н.А. Патенко, П.А. Жуков

Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

N. Patenko, P. Zukov

Supervisor – S. Sizikov, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** Теплоэлектростанция, почему она лучше, чем другие станции по добыче электроэнергии и в каких аспектов она уступает.

**Abstract:** The thermal power plant, why is it better than other stations for the production of electricity and in what aspects is it inferior.

**Ключевые слова:** ТЭС, теплоэлектростанция, электроэнергия, энергия, добыча.

**Keywords:** CHP, thermal power plant, electricity, energy, mining.

**Введение**

ТЭС (тепловая электростанция) - это производственное предприятие, которое генерирует электроэнергию и тепловую энергию.

Принцип работы ТЭС:

- Процесс сгорания топлива: Топливо (например, уголь) сжигается в котле, где происходит выделение огромного количества тепла. Это тепло используется для нагрева воды, которая превращается в пар.
- Производство пара: Нагретая вода превращается в пар с помощью котла. Высокотемпературный пар под высоким давлением передается через турбину.
- Процесс работы турбины: Пар, проходящий через турбину, приводит ее в движение. Турбина превращает кинетическую энергию пара в механическую энергию вращения. Турбины на ТЭС обычно многоступенчатые, чтобы увеличить эффективность.
- Генерация электроэнергии: Механическая энергия вращающейся турбины передается на генератор, который превращает ее в электрическую энергию. Генератор производит переменный ток электричества.
- Процесс конденсации: После прохождения через турбину, пар конденсируется в конденсаторе, возвращаясь к жидкому состоянию. Это осуществляется с помощью объекта охлаждения, которым может быть река, озеро или охладитель.
- Производство тепловой энергии: Помимо производства электроэнергии, ТЭС также производит тепловую энергию. Горячая вода, полученная при конденсации пара, может быть использована для отопления или горячего водоснабжения в городах и промышленных объектах.

### Основная часть

Важно отметить, что процесс работы ТЭС может отличаться в зависимости от используемого топлива и конкретных характеристик станции. Однако, основные принципы работы остаются похожими на описанные выше. ТЭС обладает рядом преимуществ по сравнению с другими видами добычи электроэнергии:

- Высокая эффективность: ТЭС обладает высокой эффективностью преобразования топлива в электрическую и тепловую энергию. Благодаря совмещению процессов производства электроэнергии и тепла, можно достичь высоких коэффициентов полезного действия станции, что увеличивает энергетическую эффективность.
- Гибкость: ТЭС способны работать на различных видах топлива, включая уголь, природный газ, нефть и другие. Это позволяет адаптировать работу станции к изменяющимся рынкам топлива и обеспечивает надежность в поставке электроэнергии.
- Высокая надежность источника энергии: ТЭС являются стационарными объектами, что обеспечивает их высокую надежность и стабильность в поставке электроэнергии. Они могут работать независимо от внешних условий, таких как погода, и обеспечивать стабильное энергоснабжение.
- Возможность использования отходов: ТЭС могут использовать различные виды топлива, включая отходы сельского хозяйства и другие отходы производства. Это позволяет снизить затраты на утилизацию отходов и сократить негативное воздействие на окружающую среду.
- Низкие затраты на транспортировку: ТЭС обычно расположены близко к потребителям электроэнергии и тепла, что снижает затраты на транспортировку и потери энергии в процессе передачи.

В целом, ТЭС представляют собой эффективный и надежный способ добычи электроэнергии и тепла, что делает их привлекательными для использования в различных отраслях и регионах. Однако, при выборе энергетических решений, также важно учитывать экологические аспекты и сравнивать их с другими возможными вариантами.

На данный момент более 60% энергии в мире добывается за счет тепловых электростанций. Но не стоит забывать, что ТЭС также опасная по ряду причин:

- Выбросы вредных веществ: ТЭС, которые работают на топливе, таком как уголь или нефть, могут выпускать в атмосферу большое количество вредных веществ, таких как углекислый газ, сернистый ангидрид, оксиды азота и другие. Эти выбросы могут приводить к загрязнению воздуха и негативно влиять на здоровье людей и окружающую среду.
- Распространение тепла: ТЭС производят большие количества тепла, которое может быть опасным, если оно не контролируется. Неконтролируемое распространение тепла может вызывать пожары и повреждения окружающих объектов.
- Возможность аварий: ТЭС содержат большое количество сложных механизмов, оборудования и трубопроводов, что делает их

подверженными возникновению различных аварийных ситуаций, таких как отказ оборудования, утечка топлива или пара, возгорание и взрывы. Это может быть опасно для работников и окружающей среды

- Риск загрязнения водных и природных ресурсов: ТЭС используют воду для охлаждения и производства пара. Отработанная вода, содержащая химические вещества и токсины, может быть выброшена в реки или озера, что может привести к загрязнению водных ресурсов и нанести ущерб экосистемам.
- Глобальное потепление: Использование некоторых видов топлива, таких как уголь и нефть, ведет к высоким выбросам парниковых газов, таких как углекислый газ. Это может способствовать глобальному потеплению и изменению климата, что представляет угрозу для живых организмов и экологической стабильности.

Все эти факторы подчеркивают важность применения современных технологий и строгих нормативных требований для обеспечения безопасности и защиты окружающей среды при работе ТЭС.

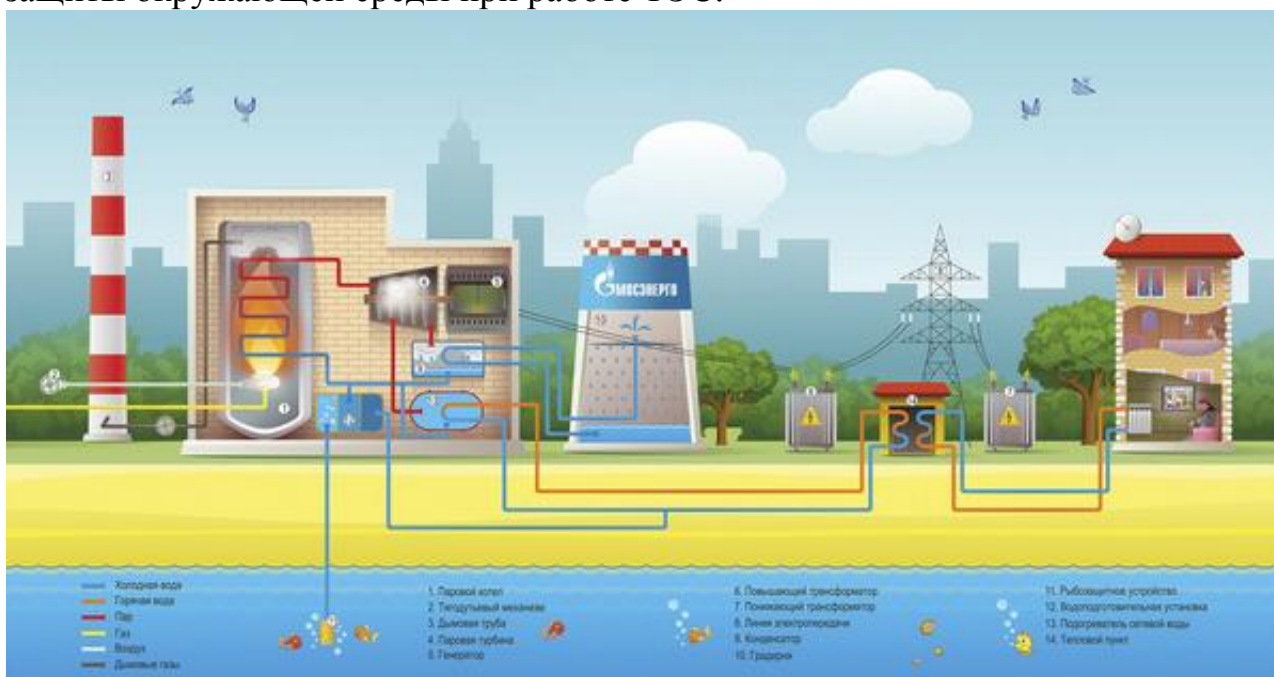


Рисунок 1 – Примерный принцип работы ТЭС

Сравнение старого ТЭЦ (теплоэлектроцентрализованного) и новой ТЭС может осуществляться по различным критериям, таким как энергоэффективность, экологическая безопасность, стоимость производства энергии и другим.

**Энергоэффективность:**

Старая ТЭС, основанная на устаревшей технологии, может иметь низкую эффективность преобразования топлива в электричество. Новая ТЭС, которая использует передовые технологии, может достигать гораздо более высокой энергоэффективности.

**Экологическая безопасность:**

Старая ТЭС может быть значительным источником загрязнения воздуха и выбросов парниковых газов в атмосферу. Новые ТЭС, оборудованные системами

фильтрации и очистки выбросов, могут существенно снизить негативное воздействие на окружающую среду и климат.

Стоимость производства энергии:

Старые ТЭС могут требовать более высоких затрат на обслуживание и ремонт, так как их технологии устарели и требуют больше ресурсов для работы. Новые ТЭС, оснащенные современным оборудованием, могут быть более экономически эффективными и требовать меньших затрат на эксплуатацию.

В целом, новая ТЭС имеет потенциал быть более эффективным, экологически безопасным и экономически выгодным по сравнению со старой ТЭС. Однако, необходимо учитывать все факторы, включая стоимость обновления и модернизации, доступность ресурсов и потребности региона, прежде чем принять решение об обновлении или замене ТЭС.

Есть несколько причин, по которым ТЭС будет продолжать работать в течение длительного времени:

- Большая потребность в электроэнергии: ТЭС являются основными источниками электричества для большого количества городов и регионов. Потребность в электроэнергии по-прежнему растет, особенно с увеличением числа населения и развитием промышленности.
- Большие запасы топлива: ТЭС, работающие на угле или газе, обычно имеют доступ к большим запасам этих видов топлива. Это позволяет им работать на протяжении многих лет без необходимости прерывания производства.
- Инфраструктура и техническое оборудование: ТЭС, построенные в прошлом, обычно имеют хорошо развитую инфраструктуру и надежное техническое оборудование. Это позволяет им продолжать работать даже при возникновении некоторых сбоев или проблем.
- Низкая стоимость производства электроэнергии: ТЭС, особенно работающие на угле или газе, обычно имеют низкую стоимость производства электроэнергии в сравнении с другими источниками, такими как солнечная или ветровая энергия. Это делает их более конкурентоспособными и способными поддерживать долгосрочную экономическую устойчивость.
- Необходимость балансирования электросети: ТЭС часто используются для балансирования электросети, особенно во время пикового спроса. Они могут быстро включаться и выключаться, что делает их ценными для обеспечения надежности энергоснабжения.
- Технологический прогресс: с появлением новых технологий и методов улучшения эффективности и снижения вредных выбросов, ТЭС могут быть обновлены и модернизированы, чтобы продолжать работать на протяжении длительного периода времени.

### **Заключение**

В целом, ТЭС являются надежными источниками электроэнергии, которые будут продолжать играть важную роль в энергетической системе на протяжении

длительного времени. Поэтому теплоэлектростанция в данный момент самая популярная по добыче электроэнергии и самая эффективная.

### Литература

1. Моделирование эффективности перехода на собственную генерацию [Электронный ресурс] [https://www.jsdrm.ru/jour/article/view/705?locale=ru\\_RU/](https://www.jsdrm.ru/jour/article/view/705?locale=ru_RU/) – Дата доступа: 15.10.2023.
2. Процент по добычи электроэнергии [Электронный ресурс] <https://investinbelarus.by/docs/Energy.pdf/> – Дата доступа: 15.10.2023.



УДК 621.311

**СБАЛАНСИРОВАННАЯ ЭНЕРГЕТИКА  
BALANCED ENERGY**

А.Р. Чернухо, И.А. Кучеров

Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Chernuho, I. Kucherov

Supervisor – S. Sizikov, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

*Аннотация:* Этот доклад посвящен вопросу развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в Беларуси.

*Abstract:* This report is devoted to the development of renewable energy sources (RES) in Belarus.

*Ключевые слова:* энергия, энергетическая безопасность, ВИЭ, источники энергии, развитие энергетики.

*Keywords:* energy, energy security, RES, energy sources, energy development

**Введение**

Для нас основными видами генерации являются тепловые электростанции, где потребляемым сырьём является импортируемый природный газ, и, с недавних пор, атомная электростанция, потребляющая ядерное топливо, также ввозимое из-за рубежа. Недостаток собственных невозобновляемых источников энергии (около 84% всех углеводородов импортируется извне) ставит Беларусь в зависимое положение, что плохо отражается на энергетической безопасности. В связи с этим встаёт вопрос о поиске альтернативы. Географически близкий нам Европейский Союз видит своё будущее в полном переходе на возобновляемые источники энергии и снижении выбросов, загрязняющих окружающую среду, вплоть до нулевых выбросов к 2050 году. Но насколько реалистичным и выгодным для промышленности и конечных потребителей может быть похожий сценарий для нас? Ведь помимо улучшения экологической обстановки это бы сделало нашу энергетику менее зависимой от импорта, в первую очередь газа. Чтобы ответить на этот вопрос нужно учесть множество факторов и извлечь уроки из опыта других стран, которые начали отводить большую роль ВИЭ раньше.

**Основная часть**

Шаги в области «зелёной энергетики» предпринимаются давно и достигнуто немало. Впервые вопрос о возобновляемой энергии был принят, когда появилась директива № 3 «О приоритетных направлениях укрепления экономической безопасности государства» в 2007 году. Официально Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь насчитывает 481 установку ВИЭ (по видам энергии, использующие: энергию биогаза, энергию биомассы, энергию солнца, энергию движения водных потоков, энергию ветра). Потенциал ветра и солнца в наших широтах достаточен для энергосбережения. В Могилёвской области введена в эксплуатацию и



работает солнечная электростанция мощностью 109 МВт, которая является мощнейшей в Восточной Европе. Возможная выработка электроэнергии с помощью окупаемых ВЭУ со сроком окупаемости менее 8 лет с учётом стимулирующих коэффициентов может составить 20% собственного энергопотребления страны. По мере роста цен на энергоносители и электроэнергию выгода внедрения ветроэнергетики будет распространяться на территории с более низкими скоростями ветра. Гидропотенциал всех водотоков Республики Беларусь официально оценивается в 850 МВт, технически доступный – 520 МВт, экономически целесообразный – 250 МВт. На реке Западная Двина самая мощная в стране гидроэлектростанция – Витебская ГЭС. Мощность станции – 40 МВт.

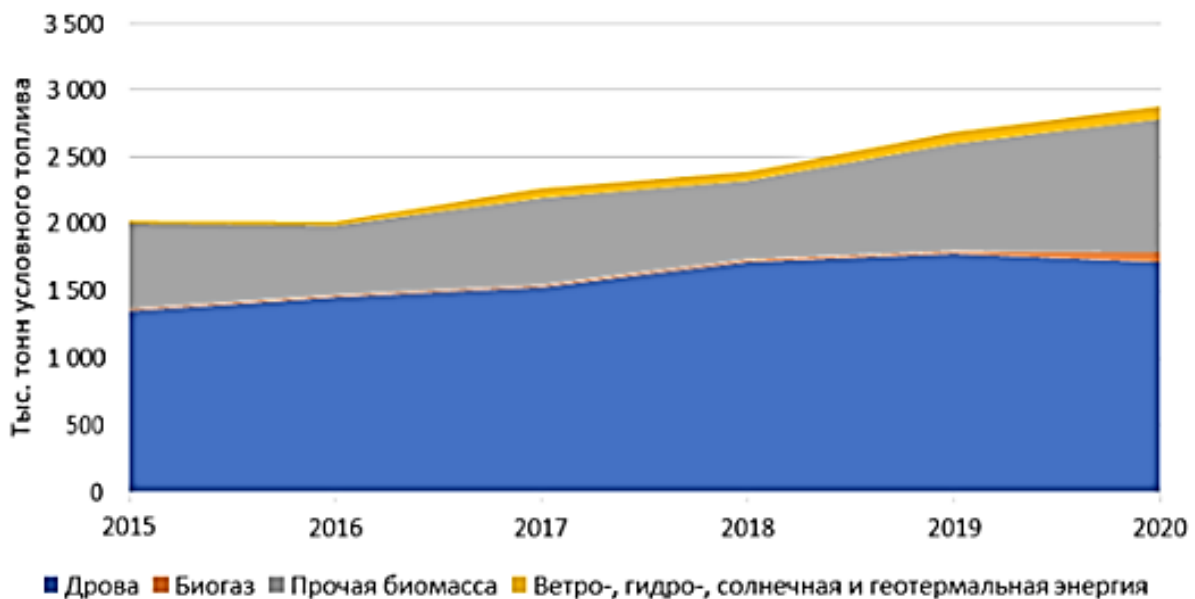


Рисунок 1 – структура и объем ВИЭ в энергосистеме Беларуси

Беларусь планирует добиться сокращения импорта природного газа. В связи с этим в рамках новой государственной программы «Энергосбережение» на 2021-2025 годы предусматривается ввод в эксплуатацию энергоисточников на древесном топливе, что позволит заместить более 170 млн.куб.м. импортируемого природного газа. А сейчас начинает развиваться совершенно новая тема в возобновляемой энергетике: выращивание быстрорастущей древесины. В соответствии с результатами, достигнутыми в ряде зарубежных стран, среднегодовой урожай при трехлетней ротации ивы может достигать 10-15 тонн сухого вещества с гектара. Собранная биомасса может использоваться как источник энергии. Однако доля биомассы в общем балансе энергии Беларуси составляет всего около 5%, что свидетельствует о недостаточном использовании этого ресурса. Для увеличения доли биомассы в энергетике Беларуси необходимо преодолеть ряд технических, экономических, социальных и политических препятствий. Среди них можно выделить следующие:

- недостаток современных технологий и оборудования для сбора, переработки и использования биомассы;
- высокие затраты на инвестиции, транспортировку и хранение биомассы;

- низкая осведомленность и заинтересованность населения и предпринимателей в использовании биомассы;
- отсутствие четкой и стабильной правовой и нормативной базы для развития биомассы.

Также опыт других стран показал, что «зелёная энергетика» не может полноценно функционировать без поддержки традиционной энергетики. Тому пример Американский штат Техас, 25% электроснабжения которого приходится на долю ветряной энергии, где в феврале 2021 года случился энергетический коллапс: от мороза и наледи остановились практически все ветряки, в итоге без света и тепла остались 5 миллионов домовладений. Стоит учесть, что Техасская энергосистема является обособленной, что исключает получение помощи из соседних штатов. Беларусь же может получить помощь из других стран, но стоит всегда помнить о энергетической независимости, насколько это возможно. Также стоит учесть, что в Беларуси есть проблемы с обеспечением баланса мощности и это ограничивает ввод ВИЭ в энергосистему.

Несмотря на вышеперечисленные нюансы интерес у инвесторов в «зелёную энергетiku» оказался таким огромным, что для сбалансированного развития пришлось ввести квоты (величина мощности электроустановки, использующие ВИЭ, которую можно подключить к электросетям в год) и регулирование. Регулирование значит, что когда энергосистема проходит минимум, ей не нужна выработка энергии, то в первую очередь минимум будет регулироваться станциями энергосистемы, затем будет снижаться генерация блокстанций, работающих на газу, и в третью очередь – возобновляемых источников. Если не учесть все последствия и слишком быстро отказаться от российского газа, то можно повторить судьбу нашего соседа – Латвийской Республики. Латвийский парламент 14 июля 2022 года утвердил поправки к закону «Об энергетике», предусматривающие полный запрет на поставки природного газа в Латвию с 1 января 2023 года. В июне 2022 латвийская Delfi сообщил о решении оператора повысить тарифы на газ в Латвии на 6-90% с 1 июля 2022 года. До этого глава Минэкономики заявлял, что Латвия намерена в максимально сжатые сроки отказаться от импорта российского природного газа и рассчитывает заменить его поставками американского сжиженного газа (СПГ). Но большую часть американского газа добывают из глубоко залегающей породы методом фрекинга, который наносит серьёзный вред окружающей среде. А для транспортировки СПГ в Европу требуется большое количество энергии.

Автоматизация энергоблоков с каждым годом всё растёт, в то время как, на многих электростанциях используется программное обеспечение, которое разрабатывается в Европейском Союзе, Японии и др. Странах. В последнее время, помимо Беларуси, ставку на углеродные источники сделали Египет (АЭС «Эдь Дабаа»), Турция (строящаяся АЭС «Аккую»), Саудовская Аравия, Узбекистан, Казахстан. Как отмечал президент, благодаря открытию АЭС мы имеет возможность развивать различные отрасли экономики, повышать уровень жизни населения и укреплять энергетическую безопасность.

Однако, несмотря на все преимущества атомной энергии, она также имеет ряд серьезных недостатков, которые необходимо учитывать при планировании будущего развития энергетического сектора Беларуси. В частности, атомная энергия:

- требует больших капитальных затрат на строительство, обслуживание и модернизацию АЭС;
- сопряжена с риском радиационных аварий, которые могут иметь катастрофические последствия для окружающей среды и здоровья людей;
- создает проблему обращения с отработанным ядерным топливом, которое остается радиоактивным в течение тысячелетий и требует безопасного хранения и утилизации;
- способствует распространению ядерного оружия, поскольку технологии обогащения урана и переработки плутония могут быть использованы для военных целей.

Поэтому необходимо опираться только на этот источник энергии, а искать альтернативы, которые были бы более экологичными, экономичными и безопасными. Например, возобновляемые источники энергии, такие как солнечная, ветровая, гидроэлектрическая и биомассовая энергия, могут снизить зависимость Беларуси от импорта энергоносителей, сократить выбросы парниковых газов и создать новые рабочие места в зеленой экономике. Кроме того, можно использовать энергосберегающие технологии и повышать энергоэффективность производства и потребления, что также способствует снижению энергетической интенсивности ВВП и улучшению конкурентоспособности Беларуси на мировом рынке.

Можно сказать, что атомная энергия является важным элементом энергетического баланса Беларуси, но она не может быть единственным или доминирующим источником энергии в долгосрочной перспективе. Необходимо развивать комплексный подход к решению энергетических проблем, который бы учитывал экономические, экологические и социальные аспекты. Только так можно обеспечить устойчивое развитие энергетического сектора Беларуси и повысить ее энергетическую безопасность и независимость. Хотелось бы подчеркнуть, что Беларусь стоит перед сложным выбором в области энергетики, который определит ее будущее в ближайшие десятилетия. С одной стороны, атомная энергия предоставляет возможность удовлетворить растущий спрос на электроэнергию, снизить зависимость от импорта газа и нефти и уменьшить углеродный след страны. С другой стороны, атомная энергия несет в себе множество рисков и проблем, связанных с безопасностью, экологией, экономикой и политикой.

Поэтому, необходимо стремиться к более сбалансированному и разнообразному энергетическому портфелю, который бы включал не только атомную, но и возобновляемую энергию, а также меры по повышению энергоэффективности и энергосбережению.

В связи со стремительным развитием производства электротранспорта наличие такого надёжного и производительного источника энергии, как АЭС, является одним из необходимых условий для развития электротранспорта. Электротранспорт - это вид транспорта, который использует электричество в качестве источника энергии для движения. Электротранспорт может быть разделен на две категории: транспорт, который полностью работает на электричестве, такой как электромобили, электровелосипеды и электросамокаты, и транспорт, который использует гибридные системы, такие как гибридные автомобили и поезда. Развитие электротранспорта в Беларуси имеет ряд преимуществ для решения энергетических проблем в стране. Во-первых, электротранспорт способствует снижению зависимости от импорта нефти и газа, которые являются основными источниками топлива для транспорта в Беларуси. Во-вторых, электротранспорт способствует снижению выбросов парниковых газов и загрязнения воздуха, которые негативно влияют на окружающую среду и здоровье населения. В-третьих, электротранспорт способствует повышению энергетической безопасности и эффективности, так как он может использовать возобновляемые источники энергии, такие как солнечная, ветровая и биомасса. Для развития электротранспорта в Беларуси необходимо принять ряд мер, которые будут стимулировать спрос и предложение на этот вид транспорта. Среди этих мер можно выделить следующие:

- создание нормативно-правовой базы, которая будет регулировать стандарты качества, безопасности и экологичности электротранспорта;
- предоставление финансовых и налоговых льгот для производителей и потребителей электротранспорта, таких как субсидии, кредиты, скидки и освобождения от пошлин и налогов;
- развитие инфраструктуры для поддержки работы электротранспорта, такой как сеть зарядных станций, парковочных мест и дорожных знаков;
- проведение информационно-образовательных кампаний для повышения осведомленности и интереса общественности к электротранспорту.

### **Заключение**

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) являются перспективным направлением развития энергетики Беларуси, так как они способствуют повышению энергетической безопасности, снижению зависимости от импорта углеводородов и улучшению экологической ситуации. Беларусь уже имеет определенный опыт и потенциал в использовании различных видов ВИЭ, таких как солнечная, ветровая, гидроэнергия и биомасса. Однако, для полноценного перехода на «зелёную» энергетику необходимо учитывать множество факторов, таких как экономическая целесообразность, техническая доступность, климатические условия и надежность энергоснабжения. Опыт других стран показывает, что ВИЭ не могут полностью заменить традиционные источники энергии, а лишь дополнять их. Поэтому, для достижения сбалансированной энергетики необходимо развивать как ВИЭ, так и традиционные источники энергии, в том числе атомную энергетику.

### Литература

1. Основные проблемы энергетики и возможные способы их решения. В.Я. Ушаков. [Электронный ресурс] // <https://core.ac.uk/download/pdf/53068041.pdf> – Дата доступа: 15.10.2023.
2. Энергетика: проблемы настоящего и возможности будущего В.Г. Родинов. [Электронный ресурс] // <https://avidreaders.ru/read-book/energetika-problemy-nastoyaschego-i-vozmozhnosti-buduschego.html> – Дата доступа: 15.10.2023.
3. Есть ли место ВИЭ в энергосистеме Беларуси. [Электронный ресурс] // <https://eenergy.media/archives/25> – Дата доступа: 15.10.2023.



УДК 621.311

**РОЛЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЕКТОРА В ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА  
THE ROLE OF THE ENERGY SECTOR IN CLIMATE CHANGE**

Д.Д. Шишко, Е.В. Закревская

Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

D. Shishko, E. Zakrevskaya

Supervisor – S. Sizikov, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** В данной статье рассказывается о влиянии энергетики на изменение климата. Подробно рассмотрены различные виды парниковых газов, а также использование энергоэффективных технологий.

**Abstract:** This article describes the impact of energy on climate change. Various types of greenhouse gases are considered in detail, as well as the use of energy-efficient technologies.

**Ключевые слова:** изменение климат, энергетический сектор, парниковый эффект, глобальное потепление, возобновляемые источники энергии, энергоэффективность.

**Keywords:** climate change, energy sector, greenhouse effect, global warming, renewable energy sources, energy efficiency.

**Введение**

Энергетика играет значительную роль в изменении климата планеты.

Изменение климата – колебания климата Земли в целом или отдельных её регионов с течением времени, выражающиеся в статистически достоверных отклонениях параметров погоды от многолетних значений за период времени от десятилетий до миллионов лет (рисунок 1)

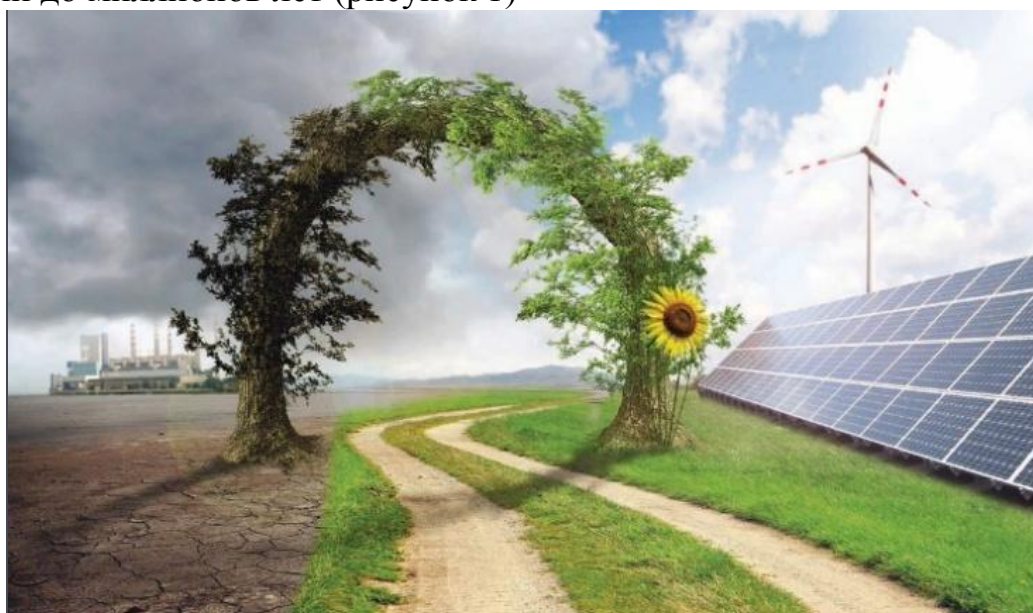


Рисунок 1 – Изменение климата



Изменения климата обусловлены переменами в земной атмосфере, процессами, происходящими в других частях Земли, таких как океаны, ледники, а также эффектами, сопутствующими деятельности человека.

На протяжении последнего столетия человечество активно развивало использование источников энергии, в основе которых лежат ископаемые топлива, такие как нефть, уголь и газ. Это привело к негативным последствиям для окружающей среды и климата в целом.

Но как именно энергетический сектор влияет на изменение климата и как можно сократить его негативные последствия?

### Основная часть

Энергетический сектор играет важную роль в изменении климата. Значительная доля глобальных выбросов связана с производством электроэнергии и тепла путем сжигания ископаемых видов топлива. Большая часть электроэнергии по-прежнему производится посредством сжигания угля, нефти или газа, в результате чего образуются выбросы парниковых газов, таких как углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ), метан ( $\text{CH}_4$ ) и оксид азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Эти газы являются главными причинами глобального потепления и изменения климата.

Углекислый газ  $\text{CO}_2$  – наиболее важный парниковый газ. Его концентрация в 2005 году увеличилась на 35% (с  $280 \text{ млн}^{-1}$  до  $379 \text{ млн}^{-1}$ ) по сравнению с доиндустриальным периодом – до 1750 года. (Напомним, что концентрация парникового газа измеряется количеством молекул данного газа, содержащегося в миллионе ( $\text{млн}^{-1}$ ) или миллиарде ( $\text{млрд}^{-1}$ ) молекул атмосферного воздуха.)

Метан  $\text{CH}_4$  – второй по значимости парниковый газ. Его концентрация по сравнению с доиндустриальным периодом увеличилась в 1,5 раза (с  $715 \text{ млрд}^{-1}$  до  $1774 \text{ млрд}^{-1}$ ).

Концентрация закиси азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ) за то же время увеличилась на 18% (с  $270 \text{ млрд}^{-1}$  до  $319 \text{ млрд}^{-1}$ ). (рисунок 2).



Рисунок 2 – Парниковые газы

Эти газы удерживают тепло от солнца в атмосфере, что приводит к повышению температуры поверхности Земли – явлению, известному как парниковый эффект.

Парниковый эффект – это процесс, в котором газы вызывают поглощение и излучение инфракрасного излучения и, таким образом, нагрев нижних слоев атмосферы поверхности Земли (рисунок 3)

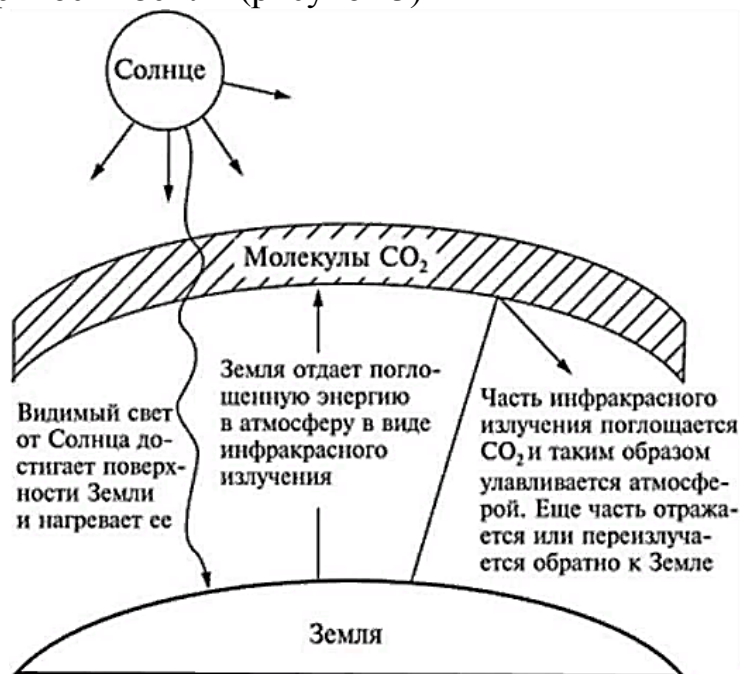


Рисунок 3 – Механизм парникового эффекта

Покрывая Землю, выбросы парниковых газов задерживают солнечное тепло. Это приводит к глобальному потеплению и изменению климата. В настоящее время планета нагревается быстрее, чем когда-либо в истории человечества. Повышение температуры со временем меняет погодные условия и нарушает обычный природный баланс. Это создает множество рисков для людей и всех остальных форм жизни на Земле.

Глобальное потепление имеет серьезные последствия для планеты и человечества. Оно вызывает увеличение частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений, таких как ураганы, наводнения и засухи. Также наблюдается таяние ледников и арктического льда, подъем уровня морей и океанов, а также угроза для множества видов животных и растений. Э

Энергетическая отрасль может оказывать негативное воздействие на окружающую среду и климат не только через выбросы парниковых газов, но и через другие процессы, связанные с производством и использованием различных источников энергии.

Строительство гидроэлектростанций, хотя и является возобновляемым источником энергии, может вызывать изменения в гидрологической системе региона. Затопления и изменение баланса водных ресурсов могут повлиять на экосистемы и животный мир в окружающей местности.

Производство солнечных панелей и ветряных электростанций также требует определенного объема ресурсов и материалов. При добыче этих

ресурсов и процессах производства могут возникать проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды и разрушением экосистем.

Климат меняется – как должен измениться энергетический сектор, какие меры полезны в такой ситуации?

- Переход к возобновляемым источникам энергии: Поддержка развития солнечной, ветровой и гидроэнергетики поможет снизить зависимость от ископаемых видов топлива и уменьшить выбросы парниковых газов (рисунок 4).



Рисунок 4 – Возобновляемые источники энергии

- Энергоэффективность: Сосредоточение на энергоэффективных технологиях и строительстве зданий с низким энергопотреблением поможет сократить потребление энергии и уменьшить негативное воздействие на климат.
- Развитие электрической инфраструктуры: Поддержка развития электромобилей и создание соответствующей инфраструктуры для зарядки поможет сократить выбросы вредных веществ и улучшить качество воздуха.
- Исследования и инновации: Инвестиции в исследования и разработку новых технологий в сфере энергетики могут привести к открытию более эффективных и экологически чистых способов производства и распределения энергии.
- Образование и информирование: Повышение осведомленности об



изменении климата и его последствиях может помочь вовлечь общество и содействовать принятию более экологичных решений.

- Планирование режима работы станции и объема производимой электроэнергии должно опираться на вероятный рост максимальных температур воздуха, числа дней с высокими температурами и ростом температуры холодного периода года, сокращение климатической зимы и отопительного периода;
- Необходима разработка и создание систем охлаждения на станции, которые могут работать в условиях роста температур воздуха, а также адаптация энергетики в условиях уменьшения потребления тепловой энергии в холодный период года.

### **Заключение**

Энергетический сектор играет важную роль в борьбе с изменением климата. Развитие и использование возобновляемых источников энергии, таких как солнечная, ветровая и гидроэнергетика, может значительно сократить выбросы парниковых газов и уменьшить зависимость от ископаемых топлив. Климатического кризиса можно избежать, если мир начнет действовать решительно и сообща и примет меры, необходимые для снижения выбросов углекислого газа.

Таким образом, необходимо более существенно расширять использование солнечной и ветряной энергии. Инвестиции необходимы также для расширения использования энергоэффективных технологий, в том числе интеллектуальных цифровых технологий и энергоэффективных технологий для дома. Изучение и совершенствование химической технологии по улавливанию, связыванию и захоронению углекислого газа также требует финансирования. Кроме того, инвестиции следует направить на развитие водородной, атомной и термоядерной энергетики. Все эти меры могут помочь остановить глобальное потепление и защитить наше будущее.

### **Литература**

1. Елизаров Д. П. «Тепло-энергетические установки электростанций». - М., 1982г. 3. Акимова Т. А., Кузьмин А. П. «Экология. Природа-Человек-Техника» : М.– 2001г.
2. Твайделл. Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии: Пер. с англ. - М. Энергоатомиздат. 1990.
3. Экология энергетики: Учебное пособие / Под общей редакцией В. Я. Путилова: М.– 2011г.

УДК 681.11.031.1

**ПРОБЛЕМЫ ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ: ПОИСК ЭФФЕКТИВНЫХ  
ИСТОЧНИКОВ И ТЕХНОЛОГИЙ**  
**PROBLEMS OF ENERGY STORAGE: SEARCH FOR EFFICIENT  
SOURCES AND TECHNOLOGIES**

А.В.Лагун

Научный руководитель – В.А. Мухина, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Lagun

Scientific supervisor – V. Mukhina, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** Сохраняющаяся тенденция увеличения использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) на различных уровнях электроэнергетической системы приводит к росту неопределенности в их эксплуатации и управлении. Уязвимость ВИЭ к непредвиденным изменениям погодных условий требует дополнительных ресурсов поддержки, которыми являются системы хранения энергии (СХЭ). Однако существующие ИСС имеют ограниченные возможности для удовлетворения всех требований современных коммунальных энергосистем. Поэтому гибридизация нескольких ИСС для создания комбинированной ИСС является потенциальным решением вышеуказанных проблем.

**Annotation:** The continuing trend of increasing the use of renewable energy sources (RES) at various levels of the electric power system leads to increased uncertainty in their operation and management. The vulnerability of RES to unforeseen changes in weather conditions requires additional support resources, which are energy storage systems (CES). However, existing ICS have limited capabilities to meet all the requirements of modern utility power systems. Therefore, hybridization of several ISS to create a combined ISS is a potential solution to the above problems.

**Ключевые слова:** Возобновляемые источники энергии, системы хранения энергии, гибридное хранение энергии, технологии хранения энергии.

**Keywords:** Renewable energy sources, energy storage systems, hybrid energy storage, energy storage technologies.

### **Введение**

Энергетический сектор находится на переломном этапе, когда проводятся важные структурные реформы, направленные на обеспечение всеобщего доступа к недорогой, надежной, устойчивой и современной энергии, обеспечение всеобщего доступа к устойчивой и современной энергетике. Ключевым моментом является преобразование энергетической системы.

### **Основная часть**

Интеграция различных традиционных и возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в широком диапазоне мощностей. Путем разработки политических, рыночных и нормативных условий для привлечения инвестиций

и инноваций. Создание интеллектуальных сетей и технологических инноваций на основе эффективных, надежных и устойчивых технологий.

Крупномасштабные источники энергии и интеллектуальные сети являются важной составляющей эффективного использования энергоресурсов. Его применение можно найти во всех областях энергосистемы, включая генерацию, передачу, распределение и сбыт.

Возможности включают:

- Повышение энергоэффективности, расширение энергосбережения, снижение затрат на строительство.
- Новые энергетические системы, повышающие качество и надежность энергоснабжения.
- Оптимизация электроэнергетической системы, содействие управлению использованием электроэнергии и эксплуатационным потреблением.
- Разработка и коммерциализация технологий хранения энергии оказывает значительное влияние на электроэнергетическую систему.

В последние годы инженерные, тактические и академические исследования быстро развивались и привели к многочисленным достижениям. Исследования в области технологий хранения энергии расширились от малых до крупных масштабов. Некоторые страны (например, Япония и страны ЕС) проводят политику поощрения и поддержки промышленного развития технологий хранения энергии.

Основными проблемами, с которыми сталкиваются различные объекты при внедрении ВИЭ, являются нестабильность напряжения, несоответствие и мониторинг нагрузки, колебания частоты и низкое качество электроэнергии. Системы хранения энергии (СХЭ) и ВИЭ могут быть решены путем их интеграции в микросети. Такая интеграция позволяет снизить колебания мощности, улучшить качество электроэнергии, регулировать частоту и предоставлять дополнительные вспомогательные услуги.

СНЭ также играет важную роль в развитии электроэнергетической системы и расширении использования возобновляемых источников энергии для обеспечения электроэнергией потребителей в удаленных районах.

К настоящему времени в мире развернуты технологии хранения энергии демонстрационного уровня. К числу разработанных технологий относятся:

- Свинцово-кислотные, литий-ионные, натрий-серные, проточные, супербатареи, литий-ионные, натрий-серные, проточные батареи, суперконденсаторы и сверхпроводящие магнитные батареи.
- Свинцово-кислотные аккумуляторы, литий-ионные аккумуляторы, натрий-серные аккумуляторы, проточные аккумуляторы, суперконденсаторы и сверхпроводящая магнитная энергия.

Отставание. Наиболее быстрыми темпами общая установленная мощность накопителей энергии росла в службах регулирования частоты, где на долю накопителей энергии приходится до 23% от общей установленной мощности. Литий-ионные батареи и маховичные накопители энергии являются наиболее распространенными технологиями. Наибольшее количество приложений в этой



области имеют такие компании, как BYD, A123 System и LG Chem. Особенно в некоторых странах и регионах накопители энергии, наряду с быстрым развитием возобновляемой энергетики, ослаблением электрических сетей и старением электроустановок, привлекают все большее внимание. Наиболее широко используются сернонатриевые и литий-ионные аккумуляторы, на долю которых приходится 81% общей установленной мощности. Наименьшую долю – 13% – занимают накопители энергии, применяемые в распределенной генерации и микросетях.

Литий-ионные и свинцово-кислотные аккумуляторы являются основными технологиями хранения энергии, на долю которых приходится 77% от общей установленной мощности. Соответствующие проекты были продемонстрированы в островном, промышленном/коммерческом, бытовом/общественном и сельском секторах. Следует отметить, что каждый тип накопителей энергии имеет свои преимущества и недостатки. Идеальное применение СНЭ требует потребления/производства больших объемов как энергии, так и электричества. Первое из них требует использования большого количества энергии. Однако накопители энергии ограничены либо мощностью, либо энергоемкостью. Поэтому оптимальным является сочетание двух или более систем хранения энергии. Системы, объединяющие два или более типов НЭ, образуют гибридную СНЭ. Например, аккумуляторы характеризуются низкой удельной мощностью, высокой удельной энергией, коротким сроком службы и низкой самоэнергией, низкой способностью к саморазряду и низкой стоимостью/временем с одной стороны. С другой, суперконденсаторы имеют низкую удельную энергию, высокую удельную мощность и высокую скорость заряда, длительный срок службы и высокую емкость саморазряда.

Таким образом, сочетание аккумуляторов и суперконденсаторов позволяет использовать их взаимодополняющие характеристики.

Преимущества внедрения гибридной СНЭ заключаются в следующем:

- Минимизация первоначальных затрат (за счет разделения мощности и энергии) по сравнению с одной системой накопления энергии (за счет разделения мощности и энергии).
- Повышение общей эффективности системы
- Увеличение емкости и срока службы хранилища. (Минимизация динамической нагрузки на вторичную систему хранения и оптимизация работы).

Технологии хранения энергии – это новаторская технология, позволяющая одновременно «генерировать» и «использовать» энергию. Технология накопления энергии – это новаторская технология, позволяющая одновременно «генерировать» и «использовать» электроэнергию, что было характерно для традиционных энергетических технологий, интеграция в сеть возобновляемых источников энергии. Она подходит для широкого спектра применений, включая интеграцию в энергосистемы на основе возобновляемых источников энергии, передачу и распределение электроэнергии, распределенную генерацию и микросети. Являясь гибким источником энергии, накопители энергии широко

реализуются и подходят для различных применений, таких как производство электроэнергии, передача электроэнергии, распределенная генерация, микросети и регулирование частоты.

<b>В сетевом комплексе</b>	<b>В промышленности</b>
Компенсация пиков (peak shaving). Первичный и вторичный резерв энергосистемы. Регулирование частоты	Резервное энергоснабжение. Ценовой арбитраж (peak – off-peak). Снижение платежей за мощность. Повышение категорийности энергоснабжения. Повышение пиковой потребляемой мощности
<b>В изолированных системах</b>	<b>В частных хозяйствах</b>
Обеспечение статической и динамической устойчивости. Балансирование генерации и потребления. Управление реактивной мощностью	Резервное энергоснабжение. Буферизация генерации ВИЭ. Ценовой арбитраж

Рисунок 1 – Преимущества применения гибридных СНЭ

### Заключение

Результаты показывают, что накопители энергии широко используются в энергетических системах, связанных с производством возобновляемой энергии. Они также демонстрируют очевидные коммерческие преимущества и перспективы, такие как снижение пиковой нагрузки и регулирование частоты энергосистемы. Применение накопителей энергии в распределенной генерации и микросетях также продолжает расти, причем значительный прогресс достигнут в области передачи и распределения энергии. Значительный прогресс также наблюдается в технологии хранения энергии. Технологии хранения энергии на всех этапах играют ключевую роль в обеспечении безопасной, стабильной и экономичной работы электрических сетей и имеют широкие перспективы применения. Развитие и расширение технологий хранения энергии не только улучшает характеристики накопителей энергии, но и совершенствуются стратегии оперативного контроля и управления, снижение затрат и стабильная поддержка рынка и политики для устойчивого развития отрасли хранения энергии.

### Литература

1. EPRI. Electricity energy storage technology option-A white paper primer on application, costs, and benefits. 2010. URL: <https://www.epri.com/research/products/1022261>. Woori Investment and Securities. Industry Analysis Rechargeable Battery Industry.[S.l.],2011. URL: <https://www.reuters.com/article/markets-korea-stocks/idUSTOE70501R20110106.166>
2. ИнЭнерджи. Области применения. URL: <https://inenergy.ru/sne>.
3. Литий-ионные аккумуляторы (мировой рынок), 2020. <https://www.tadviser.ru>

4. Мировая энергетика-2050. Международный центр устойчивого энергетического развития под эгидой ЮНЕСКО (МЦУЭР),
5. ЗАО «Глобализация и Устойчивое развитие. Институт энергетической стратегии» (ИЭС). URL: [http://www.energystrategy.ru/editions/docs/WB\\_2050\\_219-end.pdf](http://www.energystrategy.ru/editions/docs/WB_2050_219-end.pdf).
6. Пути перехода к устойчивой энергетике. Ускорение энергетического перехода в регионе ЕЭК ООН / Серия публикаций ЕЭК ООН по энергетике № 67, 2020. URL: [https://unece.org/fileadmin/DAM/energy/images/PATHWAYS/Home/FINAL\\_Report\\_Pathways\\_to\\_Sustainable\\_Energy\\_-\\_RUSSIAN.pdf](https://unece.org/fileadmin/DAM/energy/images/PATHWAYS/Home/FINAL_Report_Pathways_to_Sustainable_Energy_-_RUSSIAN.pdf).
7. Рынок систем накопления электроэнергии в России: потенциал развития. Экспертно-аналитический доклад. Москва, 2018. URL: <https://www.csr.ru/upload/iblock/d11/d1165e0f8aa6d8909cf454>
8. Системные операторы крупнейших энергосистем: будущее мировой энергетики уже сегодня. Журнал «ЭнергоРынок» №9. 2012. URL: <http://e-m.ru/er/2012-09/30758/>.
9. Усачева И.В., Пономарева Л.В., Антоненко В.В. Микросети для локального энергоснабжения децентрализованных потребителей: обзор международного опыта / Научные труды Вольного экономического общества России. 2021. Т. 229. № 3. С. 167–184.
10. Широкомасштабное развитие возобновляемых источников энергии и его влияние на рынок электроэнергии и сетевую инфраструктуру / Доклад «Расширение трансграничного сотрудничества в области энергетики путем внедрения энергии ветра и солнца в энергетические системы стран СНГ для достижения ЦУР7», 2020. URL: [https://unece.org/sites/default/files/2021-01/RUSUNECE\\_14.11.20.pdf](https://unece.org/sites/default/files/2021-01/RUSUNECE_14.11.20.pdf)

УДК 551.58

**ЭНЕРГЕТИКА И ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА: СВЯЗЬ И МЕРЫ  
ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ**  
**ENERGY AND CLIMATE CHANGE: CONNECTIONS AND COUNT  
MEASURES**

П.В. Басюк

Научный руководитель – В.А. Мухина, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

P. Basuk

Supervisor – V. Muhina, Senior Lecturer,  
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** в статье проанализированы разные факторы, влияющие на современные климатические изменения, рассмотрены проблемы прогнозирования и последствия этих изменений, с учетом вклада развивающейся энергетической отрасли.*

***Abstract:** the article analyzes various factors affecting modern climate change, discusses the problems of forecasting and the consequences of these changes, taking into account the contribution of the developing energy industry.*

***Ключевые слова:** энергетика, климат, парниковые газы, глобальное потепление.*

***Key words:** energy, climate, greenhouse gases, global warming*

### **Введение**

Энергетика имеет огромное влияние на климат, поскольку большая часть производства энергии основана на сжигании ископаемых топлив, что приводит к выбросу большого количества парниковых газов в атмосферу. Климат планеты - это не только температурный режим в земной атмосфере, это - энергетический баланс планеты Земля. Энергетический баланс зависит от внешнего потока солнечной (космической) энергии и обратной реакции планеты, обусловленной ее накопленным потенциалом.

Использование ископаемых топлив, таких как уголь, нефть и природный газ, в энергетической промышленности является основной причиной глобального потепления и изменения климата. Изменение климата, вызванное энергетикой, может привести к участию экстремальных погодных явлений, таких как ураганы, наводнения и засухи, которые могут иметь серьезные последствия для экосистем и жизни людей.

### **Основная часть**

Изменение климата – это глобальный процесс, который включает в себя повышение средней температуры на планете, изменение осадков, уровня морей и других климатических параметров. Это явление вызвано главным образом антропогенными факторами, такими как выбросы парниковых газов, особенно углекислого газа (CO<sub>2</sub>), метана (CH<sub>4</sub>) и оксида азота (N<sub>2</sub>O), в атмосферу.

Климат Земли подвержен периодическим изменениям за счет изменений орбиты, расстояния от Земли до Солнца, в процесс вращения и многих других факторов. Все это написано в теории циклов Миланковича. Но это всё

происходит в рамках долгого времени от десятков до сотен тысяч лет, и на таких масштабах действительно эти факторы главные, с этим связаны, например, крупные оледенения.

Энергетика играет важную роль в изменении климата, так как производство и потребление энергии являются основными источниками выбросов парниковых газов. Основные источники энергии, такие как ископаемые топлива (уголь, нефть и газ), являются основными источниками выбросов парниковых газов. Сжигание этих топлив для получения энергии приводит к выбросу большого количества углекислого газа в атмосферу, что усиливает парниковый эффект и вызывает глобальное потепление.

Однако существуют также возобновляемые источники энергии, такие как солнечная, ветровая и гидроэнергетика, которые имеют гораздо меньшее влияние на изменение климата. Использование этих источников энергии помогает снизить выбросы парниковых газов и предотвратить дальнейшее изменение климата.

Изменения климата и влияние энергетики заключается в поиске и применении более экологически чистых источников энергии для снижения выбросов парниковых газов и ограничения глобального потепления. Это включает в себя разработку новых технологий, стимулирование энергоэффективности и переход к устойчивому и низкоуглеродному развитию.

### **Заключение**

На основе вышеизложенного можно сделать вывод о том, что влияние энергетики на изменение климата является значительным и необходимо принимать меры для снижения его негативных последствий. Использование ископаемых топлив, таких как уголь, нефть и газ, приводит к большим выбросам парниковых газов, что усиливает парниковый эффект и вызывает глобальное потепление. Однако возобновляемые источники энергии, такие как солнечная, ветровая и гидроэнергетика, имеют гораздо меньшее влияние на изменение климата.

Для снижения выбросов парниковых газов и ограничения глобального потепления необходимо разрабатывать новые технологии, стимулировать энергоэффективность и переходить к устойчивому и низкоуглеродному развитию. Применение экологически чистых источников энергии поможет сократить негативное влияние энергетики на изменение климата и сохранить нашу планету для будущих поколений.

### **Литература**

1. Климатические изменения и энергетики: влияние, прогнозы и последствия [Электронный ресурс] // <https://cyberleninka.ru/article/n/klimaticheskie-izmeneniya-i-energetika-vliyanie-prognozy-i-posledstviya/viewer> – Дата доступа: 15.10.2023.

2. Способы предотвращения изменения климата [Электронный ресурс] // [https://studbooks.net/1222238/ekologiya/sposoby\\_predotvrascheniya\\_izmeneniya\\_klimata](https://studbooks.net/1222238/ekologiya/sposoby_predotvrascheniya_izmeneniya_klimata) – Дата доступа: 15.10.2023.

3. Устойчивые источники энергии и их роль в борьбе с изменением климата [Электронный ресурс] // <https://dzen.ru/a/ZJWxnpvfPCySPyYQ> – Дата доступа: 15.10.2023.

4. Развитие энергетики как решение проблемы антропогенного изменения климата [Электронный ресурс] // <https://studfile.net/preview/3795771/page:7/> – Дата доступа: 15.10.2023.



УДК 621.355

**ЭВОЛЮЦИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АККУМУЛЯТОРОВ  
THE EVOLUTION OF BATTERY MANUFACTURING**

Е.В. Исаченко

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

E. Isachenko

Supervisor – G. Mikhaltsevich, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** В данной работе рассматривается эволюция процесса изготовления аккумуляторов. Начиная с первых примитивных батарей, созданных в 18 веке, и заканчивая современными литий-ионными аккумуляторами, автор анализирует изменение в технологии производства, материалах, используемых для изготовления, а также в конструкции аккумуляторов. В целом, данная работа предоставляет собой обзор эволюции производства аккумуляторов, который позволяет лучше понимать современные технологии и возможности их улучшения в будущем.

**Abstract:** This paper examines the evolution of battery production, from the primitive batteries created in the 18<sup>th</sup> century to modern lithium-ion batteries. The author analyzes changes in production technology, materials used for manufacturing, and battery design. Overall, this paper provides an overview of the evolution of battery production, which helps to better understand modern technologies and opportunities for future improvement.

**Ключевые слова:** аккумулятор, производство, технология, материалы, литий-ионный, эффективность.

**Keywords:** battery, production, technology, materials, lithium-ion, efficiency.

**Введение**

Аккумуляторы стали неотъемлемой частью нашей жизни благодаря их использованию в различных устройствах, начиная от мобильных телефонов и заканчивая электромобилями. За последние годы произошла значительная эволюция в изготовлении аккумуляторов, что привело к улучшению их характеристик и повышению эффективности.

**Основная часть**

Аккумуляторы являются одним из ключевых элементов современной электроники и электротехники. Они используются во многих устройствах, от мобильных телефонов до автомобилей и даже космических аппаратов. Аккумуляторы нужны для хранения энергии, которая может быть использована в будущем. Они позволяют устройствам работать без подключения к сети электропитания и обеспечивают независимость от проводов и розеток. Аккумуляторы также помогают уменьшить потребление энергии и сократить затраты на её производство, что в свою очередь способствует экономии ресурсов и защите окружающей среды.

Эволюция аккумуляторов началась более 200 лет назад, когда Алессандро Вольта открыл первый электрический аккумулятор. Желая познать природу электроэнергии и прямо сказать «ощутить его вкус», Алессандро Вольта экспериментировал с монетами из разных металлов. Положив одну на язык, а другую под и соединив её с помощью проволоки, Вольта заметил присутствие характерных кислотных привкусов.

Таким образом, острота вкусовых рецепторов человека приводила к открытию гальванической энергии, явление, описанное итальянским врачом, анатомом и физиком Луиджи Гальвани, который проводил опыты с лягушками в середине XVII века.

Следующим этапом стало создание первого электрического аккумулятора, принцип действия которого заключался в том, что медные и цинкованные пластины, соединённые последовательно, погружали в кислотный раствор. В 1798 году было зафиксировано изобретение первого химического источника тока, получаемого в лаборатории, и автором её стал Алессандро Вольта.

1801 год ознаменовался появлением кратковременного источника питания.

В ходе опытов Готеро (французский физик) используя воду, платиновые электроды и пропуская ток, доказывал, что электроды, после прекращения подачи тока, начинают сами отдавать электричество.

Немецкий химик Иоганн Риттер. После замены платиновых электродов на медные и сформировал цепочки пластин, переложённых кусками сукна, он сделал первую батарею, которая может сначала накопить заряд и затем постепенно отдавать его без участия «гальванической подпитки».

Пятьдесят кружков меди, переложённых кусками сукна, смоченного в солевом растворе и вольтов столб, стали началом эры батарей с возможностью постоянного цикла заряда и разряда. Появляется новая наука – электрохимия.

Начатые в 1854 году немецким врачом Вильгельмом Зингстеденом опыты применения свинцовых электрических электродов, а также их поведения в серной кислоте, через пять лет привели к знаменательным открытиям французского химика Гастона Планте.

Планте в 1859 году проводил исследования с пластинками свинца, свёрнутыми в трубочку и разделёнными полосами сукна. При погружении в подкислённую воду и под действием тока, свинцовые пластинки покрывались активным действующим слоем. Многократное пропускание тока приводило к постепенному росту ёмкости первой свинцово-кислотной батареи, но рутинное осуществление этого трудоёмкого процесса (на изготовление требовалось около 500 часов) приводило к росту итоговой стоимости аккумулятора. Более того, потенциальный заряд аккумулятора был сравнительно невелик.

Наследие Зингстедена и Планте будет усовершенствовано, Камиллом Фором, который пересмотрел процесс производства используемых пластин в аккумуляторе. Ускорить формирование активных слоёв удалось благодаря окислению пластин свинцовыми оксидами. Под воздействием токов вещество стало перекисью и полученные оксиды приобрели пористое состояние, способствующие накоплению газов в электродах.

Кроме разработки и усовершенствования свинцовых батарей была проведена работа над созданием «влажных» элементов Лекланше и их предшественников угольных и цинковых батарей, предложенных Карлом Гасснером в 1888 г. и применяемых до нынешнего времени.

Долгое время аккумуляторы, электричество и всё, что связано с использованием кислых сред, пластин и гальванического электричества, будоражило умы лишь небольшого круга: учёных, физиков, химиков, врачей и людей. Ситуация сильно изменилась, когда в 1827 г. появилась динамо-машина – первый электрический генератор постоянного тока. Эволюция электрогенераторов, конечно же, подтолкнула развитие батарей и аккумуляторов. Узкопрофильные опыты Вольты наконец начали получать промышленное применение.

Изобретатели Томас Эдисон и Вальдмар Юнгнер в 1901 году одновременно патентуют несвинцовый тип батарей: никель-кадмиевые и никель-железные аккумуляторы, которые были более компактными и лёгкими, чем свинцовые аккумуляторы. Они также имели большую ёмкость и могли быть заряжены быстрее.

В батарее Юнгнера была положительная пластина, изготовленная из никеля. Лист кадмия использовался как отрицательный. Значительное повышение ёмкости, многократное снижение веса и неприхотливость к регулярности подзарядки не могли выдерживать практического использования из-за дорогостоящего процесса производства никелевого аккумулятора. Достойная замена была предложенная Эдисоном, элемент никеля-железа, получившим название щелочной аккумуляторной батареи. Появление мощного промышленного генератора, трансформатора и глобальной электроэнергетики привели к резкому повышению популярности портативной электроэнергии. Начинается применение щелочных батарей на кораблях, в машиностроении, транспортных и электрических установках. Первые электрические автомобили появляются на улицах, и конструкторы успели уже сформировать принципы конструкции аккумуляторов и батарей с разным вольтажом.

В 1990-х годах появились литий-ионные аккумуляторы, которые стали настоящим прорывом в технологии аккумуляторов. Они были более компактными, легкими и имели большую ёмкость, чем никель-кадмиевые аккумуляторы. Они также не выделяли вредных веществ при зарядке. Литий-ионные аккумуляторы используются в большинстве современных устройствах, включая смартфоны, планшеты, ноутбуки и электронные книги.

Однако у литий-ионных батарей есть и некоторые недостатки. Они могут быть довольно дорогими в производстве, а также иметь ограниченный жизненный цикл. Также они могут быть опасными в случае перегрева или повреждения, что может привести к возгоранию или взрыву. В целом, литий-ионные батареи являются надёжным и эффективным источником питания для многих устройств, и продолжают развиваться и улучшаться с каждым годом.

С развитием технологий и повышением требований к безопасности, корпуса литий-ионных батарей также эволюционировали. Ранее они часто были выполнены из металла или пластика, что могло привести к перегреву и

возгоранию. Сейчас же, производители используют более безопасные материалы, такие как керамика, стекло и композитные материалы. Кроме того, существует тенденция к уменьшению размеров и увеличению ёмкости батарей. Для этого используют новые материалы для электродов, такие как графен и нанотрубки, а также новые конструкции, например, многослойные батареи. Некоторые производители также экспериментируют с использованием жидких электролитов вместо традиционных твёрдых материалов. Это может улучшить производительность и безопасность батарей.

Сегодня идёт работа над новыми типами аккумуляторов например: графеновые аккумуляторы, которые являются одним из направлений развития аккумуляторных технологий. Графен – это материал, состоящий из одноатомного слоя углерода, который обладает прочностью и гибкостью. Эти свойства делают графен идеальным материалом для создания более эффективных аккумуляторов.

Графеновые аккумуляторы могут иметь более высокую плотность, что означает, что они могут хранить больше энергии на единицу массы, чем традиционные литий-ионные аккумуляторы. Они также могут иметь более высокую скорость зарядки и более длительный срок службы.

Однако, графеновые аккумуляторы все ещё находятся в стадии исследования и разработки, и пока не готовы для широкого использования. Несмотря на это, они представляют большой потенциал для будущих технологий и могут значительно улучшить производительность и эффективность аккумуляторов.

В целом, эволюция аккумуляторов продолжает улучшать производительность и эффективность энергетических систем, что имеет большое значение для будущих технологий и экономики в целом.

### **Заключение**

В целом, эволюция изготовления аккумуляторов продолжается, и с каждым годом появляются новые технологии и материалы, которые делают аккумуляторы более эффективными и экологически безопасными. Однако необходимо учитывать, что производство аккумуляторов имеет некоторые недостатки и проблемы, такие как высокая стоимость, сложность переработки и опасность для окружающей среды. Поэтому важно продолжать исследования и разработки в этой области, чтобы создавать более долговечные, безопасные и экологически чистые аккумуляторы.

### **Литература**

1. Сенницкий, В.П. Самодельные гальванические элементы / В.П. Сенницкий // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://akkumulyatoryavto.ru/samodelnye-galvanicheskie-elementy-sennickij-v-p-1950> – Дата доступа: 07.09.2023.
2. Эволюция аккумуляторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www iPhones.ru/iNotes/445307#google\\_vignette](https://www iPhones.ru/iNotes/445307#google_vignette) – Дата доступа: 07.09.2023.

3. Графеновые аккумуляторы будущего [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://medium.com/@YAYP/graphene-power-ico-графеновые-аккумуляторы-будущего-6d888325a9e9> – Дата доступа 07.09.2023.

4. Теньковцев, В.В. Основы теории и эксплуатации герметичных никель-кадмиевых аккумуляторов / Теньковцев В.В. 1985 // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://akkumulyatoryavto.ru/osnovy-teorii-i-ekspluatacii-germetichnyx-nikel-kadmievux-akkumulyatorov-tenkovcev-v-v-1985> – Дата доступа: 07.09.2023.

УДК 621.396.66

**ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГУЛИРОВКИ  
УСИЛЕНИЯ, И БЛАГОДАРЯ ЧЕМУ ОНА ТАК РАБОТАЕТ  
FEATURES OF AUTOMATIC GAIN CONTROL AND WHY IT WORKS SO**

М.С. Сергеев, А.В. Ротько

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

M. Sergeev, A. Ratsko

Supervisor – G. Mikhaltsevich, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** В данной работе рассматривается принцип работы автоматической регулировки усиления, назначение автоматической подстройки частоты, даны описания основных систем автоматической регулировки усиления.

**Abstract:** This work discusses the operating principle of automatic gain control, the purpose of automatic frequency control, and describes the main systems of automatic gain control systems.

**Ключевые слова:** автоматическая регулировка усиления (APУ), система APУ обратным регулированием, система APУ с прямым регулированием, система APУ со смешанным регулированием, инерционные системы APУ, автоматическая подстройка частоты (АПЧ), автоматическая подстройка частоты гетеродина (АПЧГ).

**Key words:** automatic gain control (AGC), reverse control AGC system, direct control AGC system, mixed control AGC system, inertial AGC systems, automatic frequency control (AFC), automatic local oscillator frequency control (AFC).

**Введение**

Автоматическая регулировка усиления (APУ) используется для поддержания определённого уровня сигнала на выходе усилителя промежуточной частоты (ПЧ). Уровень сигнала должен быть достаточно высок и стабилен, чтобы иметь сигнал ПЧ от радиостанций передаваемый при разной излучаемой мощности, на разных расстояниях и в меняющихся условиях распространения радиосигнала.

**Основная часть**

Принцип работы системы APУ заключается в автоматическом изменении коэффициентов усиления (коэффициентов передачи) отдельных каскадов приемника в ответ на изменения уровня принимаемого сигнала. Системы APУ должны включать в себя регулируемые блоки усиления и цепи управления. Схема управления формирует управляющее напряжение, воздействующее на регулируемый элемент тракта усиления. Обычно он включает в себя выпрямитель, амплитудный детектор (АД) и фильтр нижних частот (ФНЧ).

При минимальном входном напряжении в тракте усиления коэффициент усиления должен быть максимальным, чтобы обеспечить на входе детектора напряжение, необходимое для нормальной его работы. По мере увеличения



входного напряжения в тракте усиления коэффициент усиления должен уменьшаться до значения, обеспечивающего величину сигнала, не превышающего линейный динамический диапазон каскада усиления.

В зависимости от типа функционального назначения регулируемого каскада приемника и источника управляющего напряжения различают три основные системы АРУ:

- с обратным регулированием;
- с прямым регулированием;
- со смешанным регулированием.

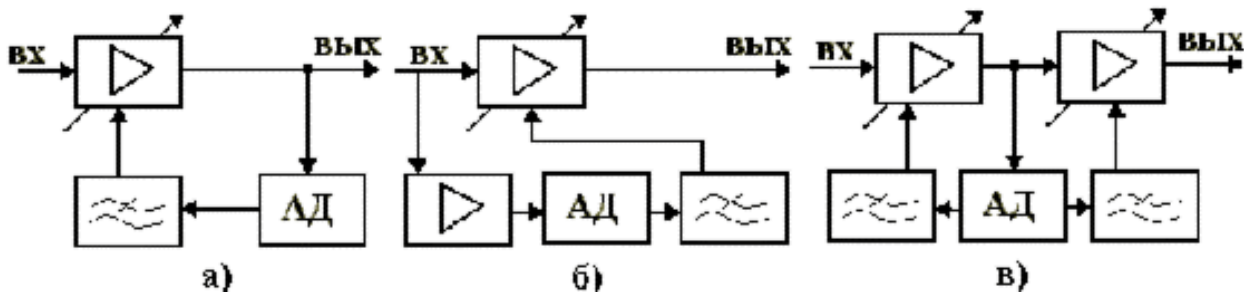


Рисунок 1 – Структурные схемы систем АРУ

В системе управления с обратной связью управляющее напряжение определяется уровнем напряжения сигнала на выходе. Эта система АРУ является самой простой и способна обеспечить почти идеальную амплитудную характеристику приемника.

В системах АРУ с прямым управлением управляющее напряжение определяется напряжением входного сигнала и может быть относительно большим. Перерегулирование происходит по мере увеличения сигнала на входе. То есть по мере дальнейшего увеличения напряжения сигнала на входе выходное напряжение уменьшается. Такая система АРУ требует дополнительного усилителя с достаточно высоким коэффициентом усиления.

Прямое управление также может использоваться в смешанных системах управления, где основным компонентом является обратное управление. Системы АРУ могут быть с усилением выходного сигнала или без него.

Фактически наиболее распространенными на практике являются инерционные системы АРУ с обратной связью, которые включают в себя следующие основные функциональные узлы:

- детектор, выпрямляющий выходной сигнал тракта ПЧ и обеспечивающий возможность формирования управляющего напряжения;
- дополнительные усилители для увеличения управляющего напряжения и повышения эффективности АРУ по мере необходимости;
- цепи, обеспечивающие пороговое напряжение для регулирования задержки;
- фильтры нижних частот, подавляющие высокочастотные составляющие сигналов, в цепях формирования регулирующих напряжений.

Изучив и сравнив структурные схемы систем АРУ с обратной связью, мы обнаружили следующее.

Простейшей схемой является система АРУ без усиления с совмещенным детектированием, содержащая только цепи передачи управляющего напряжения на регулирующий усилитель (РУ) (тракт промежуточной частоты супергетеродинного приемника).

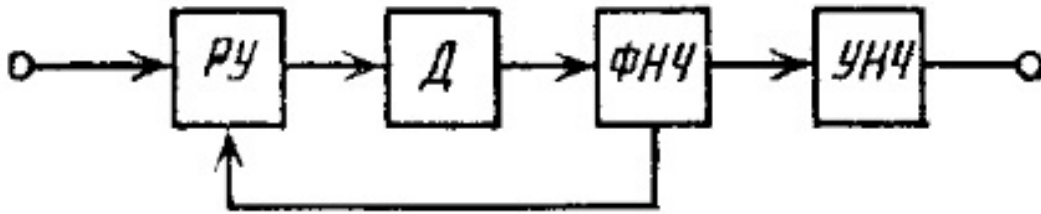


Рисунок 2 – Структурная схема систем АРУ без усиления с совмещенным детектированием

Управление в этом случае осуществляется модулированными колебаниями несущей частоты, которые выделяются и фильтруются ФНЧ в детекторе (Д) радиоприемника.

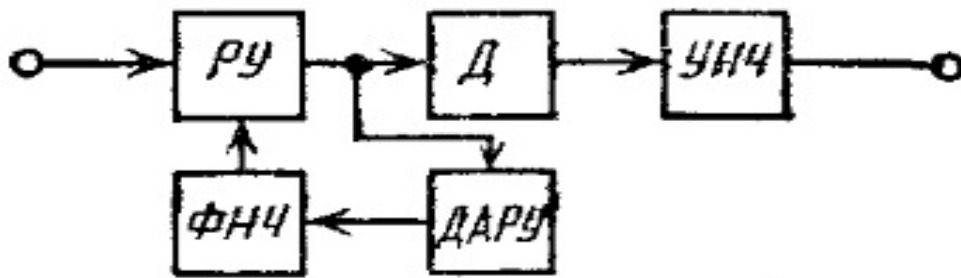


Рисунок 3 – Структурная схема систем АРУ без усиления с отдельным детектированием

Чтобы повысить точность работы и расширить динамический диапазон, системы АРУ могут включать в себя каскады усиления переменного или постоянного тока.

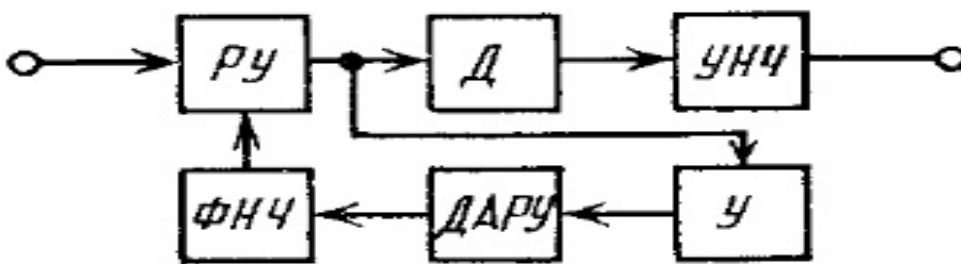


Рисунок 4 – Структурная схема систем АРУ с усилением и отдельным детектированием и усилением по переменному току

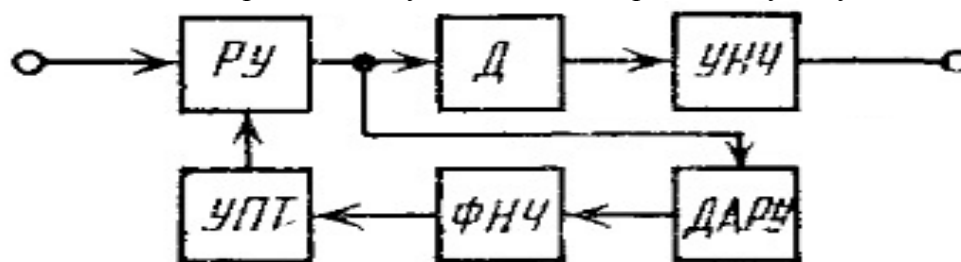
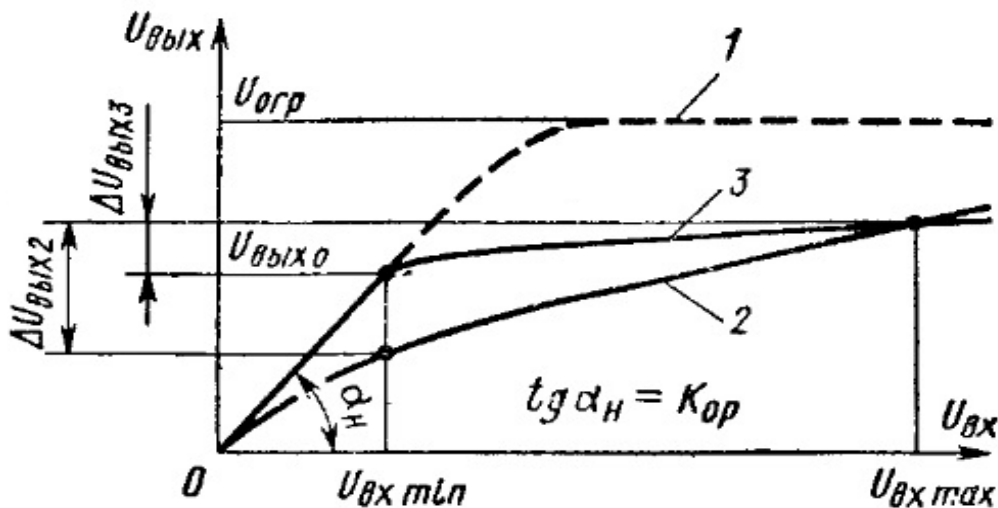


Рисунок 5 – Структурная схема систем АРУ с усилением и отдельным детектированием и усилением по постоянному току

Системы АРУ бывают АРУ с задержкой и АРУ без задержки. В системе АРУ с задержкой регулировки усиления срабатывает только при определенном уровне входного сигнала, так называемом пороге срабатывания системы АРУ, тогда как слабые сигналы не ослабляются схемой АРУ и проходят дальше в УНЧ. В идеальном режиме работы схемы АРУ с задержкой напряжение на входе усилителя постоянно (пунктирная линия). Без АРУ система усиления приёмника линейна. Чтобы принимать амплитудно-модулированные сигналы (АМ) без искажений и сократить время установления, при быстром изменении входного сигнала, следует выбрать более низкое напряжение задержки, чем обычно.



1 – приемников без АРУ, 2 – приемников с АРУ без задержки, 3 – приемников с АРУ с задержкой

Рисунок 6 – Амплитудные характеристики

Управляющей характеристикой системы АРУ является зависимость коэффициента усиления настроенного приемника от управляющего напряжения:

$$K_p = f(U_{рег}) \tag{1}$$

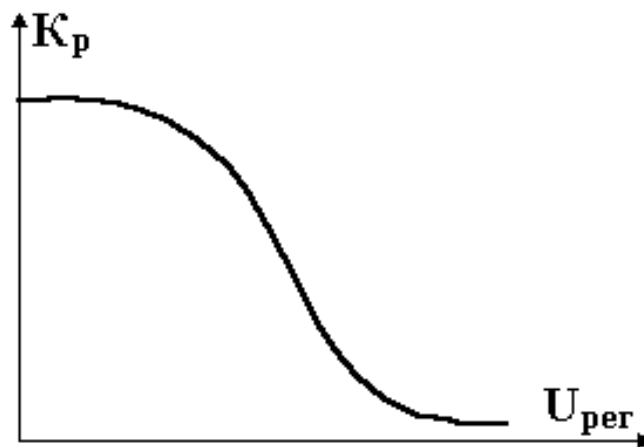


Рисунок 7 – Регулировочная характеристика АРУ

Системы АРУ с задержкой чаще всего используются в современных приемниках. При использовании АРУ с задержкой регулировка усиления начинается только тогда, когда сигнал превышает определенное минимальное

значение, называемое напряжением задержки, которое соответствует выбранному порогу срабатывания.

АРУ без задержек не вводит порог срабатывания и обеспечивает контроль при наличии сигналов любой величины.

В транзисторных радиоприемниках используются различные методы регулирования усиления.

Наиболее распространенным на практике методом управления является изменение режима работы путем подачи управляющего напряжения (УН) на базу биполярного транзистора постоянного тока. По мере уменьшения управляющего напряжения наклон и коэффициент усиления каскада уменьшаются. Однако при большом значении управляющего напряжения влияние нелинейности транзистора возрастает и вносит нелинейные искажения в регулируемый каскад.

В каскаде полевого транзистора управляющее напряжение может быть подано на второй затвор двух затворного транзистора. Потенциал второго затвора управляет величиной крутизны (аналогично каскаду электровакуумных устройств).

Можно использовать дифференциальные усилители для создания управляющих токов.

Также можно управлять коэффициентом усиления каскада усилителя, используя метод «регулируемого аттенюатора».

В таком каскаде органом управления является полевой транзистор (цепь сток-исток), работающий в режиме переменного управляемого сопротивления. В пределах десятков милливольт изменение сопротивления линейно.

Автоматическая подстройка частоты (АПЧ)

В современных супергетеродинных радиоприемных устройствах различного назначения предусматривается автоматическая регулировка (подстройка) частоты гетеродина.

Системы АПЧ приемного гетеродина чаще всего используются для уменьшения отклонений ПЧ от номинальных значений из-за нестабильности частоты передатчика и гетеродина. Использование таких систем означает, что существуют некоторые нестабильности частот передатчика и гетеродина. Выбранная полоса пропускания приемника учитывает эти нестабильности. Применение таких систем целесообразно лишь при значительных различиях частот передатчика и гетеродина. АПЧ также используется для синхронизации фильтров, отслеживающих сигналы с медленно меняющейся частотой или фазой, демодуляторов для сигналов ЧМ и ФМ, а также специальных гетеродинов в приемниках, использующих методы когерентного приема.

Принцип работы системы АПЧ заключается в автоматическом измерении отклонения ПЧ приемника от ее номинального значения. Это отклонение обычно вызвано нестабильностью частоты гетеродина или частоты подстроенного гетеродина (ПГ) так, чтобы указанное отклонение не превышало определенного заданного значения.

В зависимости от цели изменения частоты подстраиваемого гетеродина системы АПЧГ делятся на две группы:

- система АПЧГ для стабилизации частоты гетеродина;
- система АПЧГ для стабилизации промежуточной частоты приемника.

В системе АПЧГ первого типа, стабилизирующей частоту гетеродина супергетеродинного приемника, осуществляется подстройка частоты гетеродина под эталонную частоту.

Обычно в качестве источника опорной частоты используется генератор эталонной частоты (ГЭЧ) с кварцевой стабилизацией частоты. В измерительном элементе (ИЕ) сравниваются колебания регулируемого гетеродина  $\Gamma$  и генератора эталонной частоты ГЭЧ. Измерительный элемент (ИЭ) представляет собой фазовый детектор. При наличии отклонения частоты между  $\Gamma$  и ГЭЧ схема измерительного элемента формирует управляющее напряжение. После фильтрации нижних частот это напряжение усиливается усилителем постоянного тока (УПТ). УПТ воздействует на ВЧ-регулятор частоты гетеродина  $\Gamma$ . Эту задачу решает фильтр нижних частот, а также схема автоматической регулировки усиления, которая заключается в подавлении изменений напряжения, вызванных модуляцией несущей частоты передаваемого сигнала данных.

Этот метод регулировки частоты основан на регулировке фазы двух колебаний с помощью фазового детектора, поэтому этот метод называется «фазовой автоподстройкой частоты» (ФАПЧ). Во втором типе системы АПЧГ промежуточная частота тракта промежуточной частоты приемника стабилизируется. Частоты сигнала (передатчика)  $f_c$  и гетеродина  $f_r$  могут изменяться независимо друг от друга по разным причинам. Такая система УПЧ компенсирует подобные изменения и обеспечивает оптимальный режим работы усилителя, за счет стабилизации значения промежуточной частоты тракта ПЧ.

В системе ЧАПЧ опорной частотой считается промежуточная рабочая частота усилителя и (также) резонансная частота цепи, входящей в состав частного детектора ЧД. В этом случае он становится измерительным элементом. При отклонении частоты  $f_c$  сигнала (передатчика) и гетеродина  $f_r$  от значений, соответствующих точной настройке на промежуточную частоту, изменяется значение частоты сигнала, формируемого смесителем. Это приводит к тому, что на выходе частотного детектора ЧД появляется напряжение, соответствующее величине отклонения частоты от опорного значения.

Напряжение с выхода фильтра нижних частот, назначение которого описано выше, поступает в усилитель постоянного тока УПТ и далее на управляющую цепь регулятора частоты (РЧ). Под воздействием управляющего сигнала РЧ частота гетеродина изменяется в направлении, при котором отклонение частоты уменьшается.

Данный метод подстройки частоты основан на сопоставлении двух частот в частотном детекторе. Поэтому такой метод носит название «частотной автоподстройки частоты (ЧАПЧ)».

### **Заключение**

АРУ используется для расширения динамического диапазона радиоприемника и удержания изменений уровня выходного напряжения ПЧ в

определенных пределах. Это исключает перегрузку каскада при приеме сильных сигналов, предотвращает возникновение недопустимых нелинейных искажений и в то же время обеспечивает нормальную работу оконечного оборудования приемника и позволяет оператору освободиться от ручной регулировки усиления.

Благодаря простоте АРУ используется практически во всех радиоприемниках. Автоматическая регулировка частоты (АРЧ) используется для обеспечения того, чтобы спектр принимаемого сигнала расположен в полосе пропускания приемника, когда частота передачи или настройки схемы приемника изменяются по различным причинам. АРЧ используется практически во всех типах профессионального и вещательного приемного оборудования.

### Литература

1. Буга, Н.Н. Радиоприемные устройства. Учеб. для высших учебных заведений / Н.Н Буга, А.И. Фалько, Н.И. Чистяков – М.: Радио и связь, 1986. – С. 170-198.
2. Белкин, М.К. Справочник по учебному проектированию приемно-усилительных устройств / М.К. Белкин – Киев: Выща школа, 1988. – С. 14-19.



УДК 621.313.322

**СИНХРОНИЗАЦИЯ ГЕНЕРАТОРОВ НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ.  
ПОЛУЧЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ 50 ГЦ В СЕТИ  
SYNCHRONIZATION OF GENERATORS AT POWER PLANTS.  
OBTAINING AN INDUSTRIAL FREQUENCY  
OF 50 HZ IN THE NETWORK**

Н.А. Драчёв

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический Университет, г. Минск

N. Drachov

Supervisor – G. Mikhaltsevich, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** Тема данного исследования – синхронизация электрогенераторов на электростанциях. В работе представлен обзор существующих методов и технологий синхронизации, анализ преимуществ и недостатков каждого подхода. Особое внимание уделено вопросам безопасности и эффективности процесса синхронизации. Исследование также содержит рекомендации по использованию оптимальной схемы синхронизации, основанные на анализе экономической целесообразности и надежности системы.

**Abstract:** The purpose of this study is to synchronize electric generators at a power plant. The article presents an overview of existing synchronization methods and technologies, an analysis of the advantages and disadvantages of each approach. Particular attention is paid to the safety and efficiency of the synchronization process. The study also contains recommendations on the use of an optimal synchronization scheme based on an analysis of the economic feasibility and reliability of the system.

**Ключевые слова:** синхронизация, синхронные генераторы, безопасность, эффективность, надёжность.

**Key words:** synchronization, synchronous generators, safety, efficiency, reliability.

### **Введение**

Синхронизация электрогенераторов – это процесс выравнивания частоты, напряжения и фазы между генераторами и сетью, что позволяет им работать в едином режиме и подавать нужное электричество в сеть. Для большинства сетей электрогенераторы должны синхронизироваться таким образом, чтобы частота генерируемого электричества соответствовала стандартной частоте сети, обычно 50 Гц. Этот процесс обеспечивает надежное и устойчивое энергоснабжение и предотвращает перегрузку системы. Перед включением генератора на параллельную работу необходимо выполнить ряд операций, которые могут проведены вручную, полуавтоматически и автоматически.

### **Основная часть**

Синхронизация генераторов.

Синхронизация на электростанциях является важной процедурой, которая позволяет подключать генераторы для совместной работы – установить

согласование с работающими генераторами, выбор момента для подачи импульса на включение генератора.

Для начала процесса синхронизации, генератор должен находиться в работоспособном состоянии. Это включает в себя проверку правильности настроек, охлаждающей жидкости и других необходимых параметров. После чего он синхронизируется по напряжению с существующей сетью. Это достигается путем регулировки выходного напряжения генератора, чтобы оно было практически равным напряжению сети. Подгоняется такая же частота, как и у рабочей электрической сети, чтобы не возникали проблемы при передаче энергии. Таким образом, генератор регулируется до тех пор, пока его частота не станет практически равной частоте сети. Дальнейшим действием проверяется фаза и согласуется их работа. Фаза генератора должна быть такой же, как и фаза сети, чтобы избежать перегрузки сети или других проблем. После завершения синхронизации необходимо проверить параметры работы, чтобы убедиться, что генератор полностью синхронизирован с сетью и готов передавать энергию. Это включает проверку фазовой последовательности (генераторы должны иметь одинаковую фазовую последовательность), получение частоты близкой или равной частоте в сети, к которой они будут подключены; напряжение генераторов согласовано с напряжением электросети; значение фазового угла между генераторами близкая нулю. Разность междуфазных напряжений на генераторах должна быть минимальной. Последним параметром проверки является амплитуда напряжения генераторов.

В конечном итоге, когда все параметры проверены, генератор может быть подключен к электрической сети с помощью соответствующих коммутационных устройств. Это позволяет обеспечить передачу электричества от генератора в сеть и обеспечивает его работу в согласованности с уже существующими источниками энергии.

Виды синхронизации и допустимое отклонение между генератором и сетью.

Различные методы синхронизации генератора с сетью имеют свои преимущества и недостатки, а допустимое отклонение напряжения зависит от выбранного метода. Вот общие преимущества и недостатки различных методов синхронизации относительно допустимого отклонения напряжения:

– Точная синхронизация

Преимущества: Обеспечивает точное совпадение фаз и частоты между генератором и сетью, минимизируя токи переходных процессов и позволяет генератору сразу подключить к нагрузке.

Недостатки: Требуется специализированных систем синхронизации, более сложной настройки и оборудования, что может повысить стоимость и сложность эксплуатации.

Допустимое отклонение: Обычно отклонение всех параметров небольшое, в пределах от 0,1 до 0,9%

– Грубая синхронизация

Преимущества: Более простой и недорогой метод, требует меньше специализированного оборудования и настройки.

Недостатки: Отклонение фазы и частоты между генератором и сетью может быть значительным, что приводит к большим потерям мощности. Допустимое отклонение: Обычно может составлять до 5% или более в зависимости от требований и стандартов.

– Самостоятельная синхронизация

Преимущества: Позволяет оператору полностью контролировать процесс синхронизации, что может быть полезно в некоторых ситуациях, особенно при отсутствии автоматических устройств синхронизации.

Недостатки: Контроль и настройка требуют опыта и внимательности оператора, и ошибки могут привести к нежелательным последствиям.

Допустимое отклонение: Обычно определяется требованиями и стандартами, но обычно составляет около 1-3% от номинального значения напряжения генератора.

– Автоматическая синхронизация

Преимущества: Обеспечивает автоматическое обнаружение и коррекцию отклонений фазы и частоты, что упрощает процесс и снижает вероятность ошибок оператора.

Недостатки: Требуется установки специализированных автоматических устройств синхронизации, что может увеличить стоимость начальной установки.

Допустимое отклонение: Обычно около 1-3% от номинального значения напряжения генератора.

Важно отметить, что допустимое отклонение напряжения может быть регулируемым и может варьироваться в зависимости от требований и стандартов, установленных для конкретного объекта или системы. Повышенное отклонение может быть допустимым в некритических ситуациях, но часто для обеспечения надежной и безопасной работы системы рекомендуется минимизировать потери.

Параллельное подключение генераторов.

На электростанциях синхронные генераторы соединяются друг с другом параллельно для общей работы на общую электрическую сеть. Когда нагрузка на электрическую сеть мала, работает только основные генераторы, при повышенном энергопотреблении («час пик») включаются резервные генераторы. Этот способ выгоден, так как каждый генератор работает на полную мощность, следовательно, с наиболее высоким коэффициентом полезного действия.

Параллельная работа генераторов:

- Повышает гибкость эксплуатации оборудования электростанций и подстанций, облегчает проведение планово-предупредительных ремонтов генераторов, основного оборудования и соответствующих регулирующих устройств (РУ) при минимуме необходимого резерва.
- Повышает экономичность работы электростанции, она даёт возможность распределять наиболее рационально суточный график нагрузки между агрегатами, достигается наилучшее использование мощности, при этом повышается КПД.

- Повышает надежность и бесперебойность работы электростанций и электроснабжения потребителей.

Для увеличения производства электроэнергии и улучшения распределения многие электростанции соединяются для параллельной работы в мощные энергетические системы.

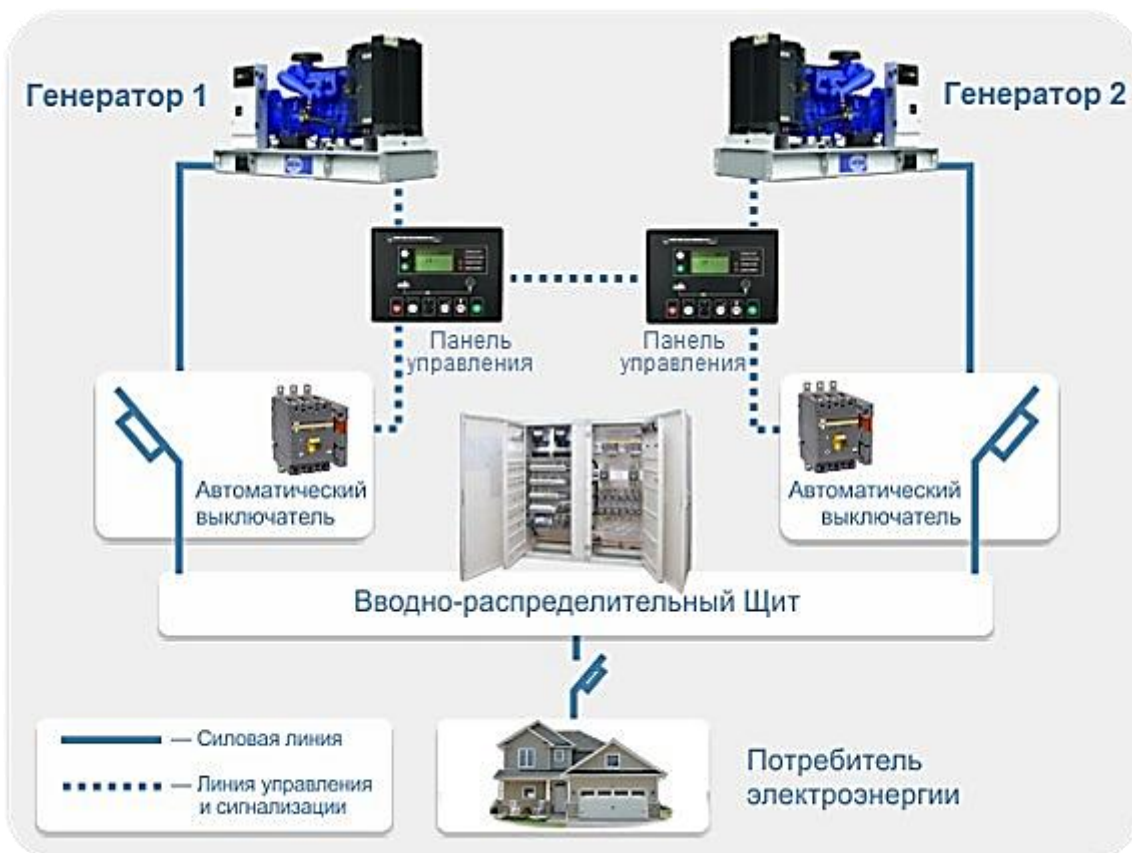


Рисунок 4 – Структурная схема параллельного подключения 2-ух генераторов

Получение промышленной частоты 50 Гц.

На электростанциях частота переменного тока обычно генерируется с использованием вращающихся генераторов, основанных на принципах электромагнитной индукции. В большинстве стран мира стандартная частота электрического тока в энергосистеме составляет 50 Гц, (в некоторых странах используется 60 Гц).

Процесс создания 50 Гц переменного тока на электростанции включает в себя следующие шаги:

- Механическое вращение генератора: В основе этого процесса лежит вращение механического устройства, называемого турбиной, которое может быть запущено различными источниками энергии. Это может быть пар, вода, ветер, или горючие смеси.
- Электромагнитная индукция: Вращение турбины вызывает вращение электромагнитного ротора внутри генератора. Этот ротор находится в магнитном поле, созданном статором.
- Индукция электрического тока: По принципу электромагнитной индукции, изменение магнитного поля в результате вращения ротора порождает переменное электрическое напряжение в обмотках ротора.

- Выход переменного тока: Этот переменный ток, созданный вращением ротора в магнитном поле, имеет форму синусоидального тока. Частота этого тока зависит от скорости вращения ротора и конструктивных особенностей генератора.
- Регулирование частоты: Системы регулирования на электростанции могут использоваться для поддержания стабильной частоты переменного тока на уровне 50 Гц.

Такой метод генерации переменного тока является основным для большинства электростанций и обеспечивает стабильный и надежный источник электроэнергии для энергосистем.

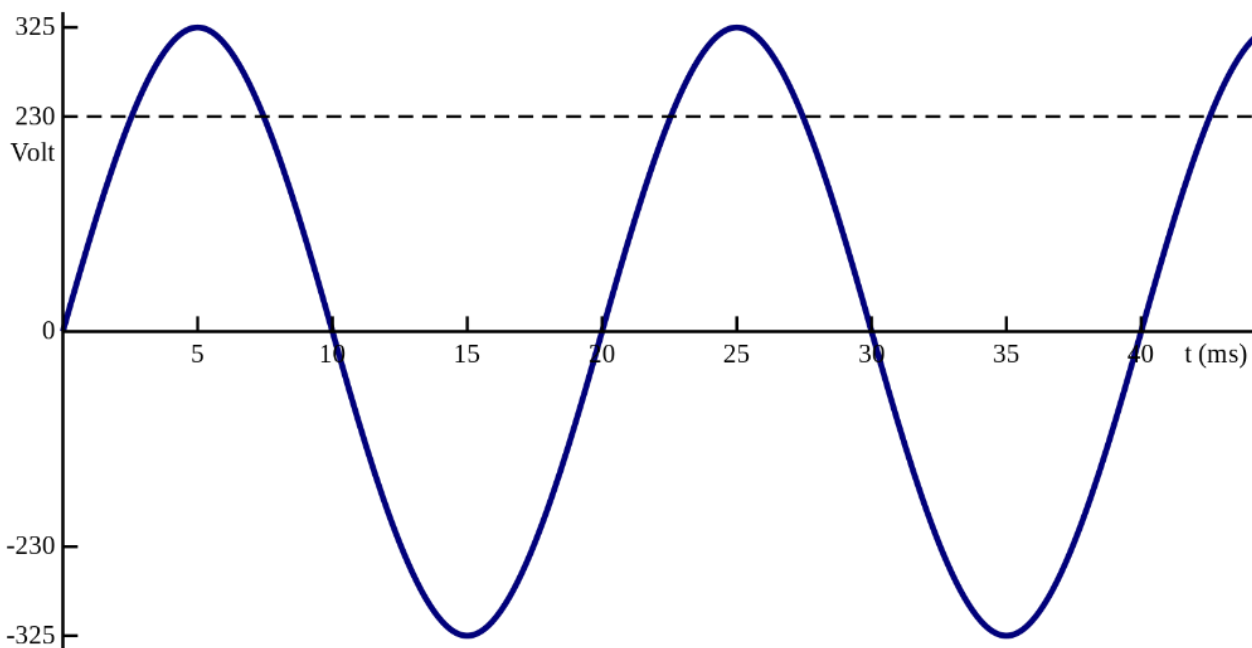


Рисунок 2 – График зависимости напряжения электрической сети 230 В, 50 Гц от времени

## Заключение

В результате проведенных исследований и обсуждённых аспектов, можно сделать вывод о важности синхронизации генераторов на электростанциях. Синхронизация является ключевым этапом в обеспечении надежной и безопасной работы электростанции.

Корректная синхронизация двигателей позволяет достичь согласованной работы нескольких генераторов, гарантируя постоянные фазовые углы и частоты. Это обеспечивает стабильность электроэнергии, которая может быть подана в энергосистему.

Основными этапами синхронизации являются механическая согласованность скоростей, фазовая согласованность электрических сигналов, согласование напряжения и завершение процесса синхронизации. Каждый из этих этапов является важным для успешной синхронизации и требует применения специальных устройств и систем контроля.

Неправильная синхронизация может привести к небезопасной работе электростанции, повреждению оборудования и нарушению электроснабжения. Поэтому важно уделять особое внимание процессу синхронизации и

использовать современные системы управления и контроля, чтобы обеспечить его успешное выполнение.

Получение стабильной частоты 50 Гц является одним из основных задач на электростанциях. Этот стандартный частотный параметр используется в большинстве современных энергосистем и обеспечивает согласованный перенос электроэнергии по всему сетевому оборудованию.

Для достижения этой цели на электростанциях используются различные технологии и системы контроля. Управление частотой осуществляется с помощью автоматических регуляторов частоты, которые обеспечивают стабильность и точность вращения генераторов.

#### Литература

1. Павлов, Г.М. Автоматика энергосистем / Г.М. Павлов, Г.В. Меркурьев // Издание Центра подготовки кадров РАО "ЕЭС России".- Санкт-Петербург, 2001. - С. 68-70.
2. Параллельная работа генераторов [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://electricalschool.info/>. – Дата доступа: 02.10.2023.



УДК 004.8

ПРИНЦИП РАБОТЫ ГОЛОСОВОГО ПОМОЩНИКА ЯНДЕКС АЛИСА  
THE PRINCIPLE OF OPERATION  
OF THE YANDEX ALICE VOICE ASSISTANT

К.С. Кухновец, В.В. Суша, М.М. Ровдо

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

K. Kuhnovets, V. Susha, M. Rovdo

Supervisor – G. Mikhaltsevich, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** В наше время все чаще используют все сторонние интернет помощники. Один из таких помощников “Яндекс Алиса” и будет рассматриваться в данной работе. Речь пойдет о проявлениях и функциях искусственного интеллекта в современных голосовых помощниках.

**Abstract:** Nowadays, all third-party Internet assistants are increasingly used. One of these assistants is “Yandex Alice” and will be considered in this paper. We will talk about the manifestations and functions of artificial intelligence in modern voice assistants.

**Ключевые слова:** голосовой помощник, Яндекс Алиса, искусственный интеллект.

**Key words:** voice assistant, Yandex alicе, Yandex alicе, artificial intelligence.

### Введение

Яндекс Алиса – это голосовой помощник, который может общаться с пользователем на разные темы, помогать в поиске информации, управлять умным домом, включать музыку и многое другое. Распознаёт естественную речь, имитирует живой диалог, даёт ответы на вопросы пользователя и благодаря запрограммированным навыкам решает прикладные и трудные задачи. Алиса работает на смартфонах, планшетах, компьютерах и в навигаторах автомобилей. По данным Яндекса месячная аудитория Алисы по состоянию на декабрь 2019 года составила 45 млн человек при более миллиарде запросов за год. Подобные сервисы, такие как Siri, Google Assistant, Alexa и Cortana, также используют искусственный интеллект для распознавания и обработки голосовых запросов. В этих тезисах будет изложено, как работает Яндекс Алиса и другие голосовые помощники.

### Основная часть

В данной работе речь пойдет про искусственный интеллект и о его проявлениях в современном мире. Разберемся в том, как же так получилось, что в наших, например, карманных сотовых телефонах, есть нечто, что не только способно понимать нашу речь, но и может выполнять некоторые команды пользователя. Если не углубляться в философскую составляющую вопроса, и не копать до трудов философов нового времени, искусственный интеллект берет начало с появления первых вычислительных машин в середине двадцатого века. Это были устройства, которые являлись элементарными калькуляторами,

правда, имевшие тогда большие размеры. По мере развития самих компьютеров, которые постепенно становились все компактнее, совершенствовались и алгоритмы, благодаря которым они работают и в наше время. Вначале эпохи вычислительных машин сложить два и два и получить 4, было огромным достижением. Сейчас мы приблизились к порогу создания, может и не до конца развитых, но весьма способных программ, основанных на искусственных нейросетях, которые уже умеют самообучаться и не только обыгрывать гроссмейстеров в шахматы, но даже сочинять музыку. Все это, конечно же, не могло не отразиться на индустрии пользовательских гаджетов и возможности смартфонов стали такими, как в настоящее время. Начали появляться и голосовой помощник, первым же приложением – голосовым помощником, как ни странно, было *siri*, разработка которой велась международным центром искусственного интеллекта с 2007 года, да это было именно приложение, которое распространялось через *skype*. Пользоваться им могли только владельцы айфонов. Фирма *Apple* быстро положила глаз на перспективную разработку, и в апреле 2010 года, выкупила ее. Следующая зашевелилась компания *amazon* и примерно с 2010 года стала разрабатывать собственный аналог *siri* и уже в 2014 году выпустила собственную фирменную «алексу». Распространялась она, как и *siri*, в виде приложения. Но к ней добавилась еще поддержка *android*. Но на этом разработчики не остановились и видимо поняли, что высокой прибыли с приложения они не соберут, приняли решение сделать отдельное устройство, которое будет работать исключительно как голосовой помощник. Так на свет появилась первая умная колонка с виртуальным помощником в ней. *Amazon Echo* – это было уже умное домашнее устройство. Вроде умных термостатов и умных лампочек. А именно такого центрального мозга не хватало всей системе. Уже сейчас помимо стандартных запросов от пользователя, *amazon* умеет управлять умными домашними приборами удаленно, что со временем, конечно, научились делать и помощники других конкурирующих компаний. Совсем недавно одна отечественная компания выпустила свой собственный голосовой помощник, речь идет о продукте под названием Алиса. Основным преимуществом отечественного голосового помощника, безусловно, является то, что оно способно поддерживать какой-никакой диалог и понимать контекст в этом диалоге, например – по одному и тому же запросу она может перечислять несколько вариантов ответа. У Алисы есть определенное количество запросов, на которые она может выдавать ответы сразу. Как ни странно, но число это довольно ограничено. Если понимание текста и поддержание разговора для лиц в принципе не составляет особого труда, то в остальных некоторых аспектах она всё ещё не настолько умна. Например, у нее есть проблемы с пониманием речи в некоторых моментах, то есть от раза к разу Алиса может неправильно понимать ваши слова, если вы используете какие-нибудь просторечия, то она вас тоже, скорее всего, не поймет. Стоит выделить ряд достоинств: она понимает контекст, у нее очень хорошая русская озвучка. Русская, но естественно, для русскоязычной аудитории. В итоге можно сказать, что искусственный интеллект и голосовые помощники в наших гаджетах – это все еще дело будущего, несмотря на то, что они уже много чего умеют и могут вести элементарный

диалог с пользователем, но до полной интеграции с окружающим миром, всему этому, еще далеко.

Распознать голосовой запрос Алисе помогает технология SpeechKit. На этом этапе происходит отделение голоса от фоновых шумов. Разобраться с аспектами, диалектами, сленгами и англицизмами алгоритмам позволяет накопленная Яндексом база из миллиарда, произнесённых в разных условиях, фраз.

На следующем этапе надо наделить запрос смыслом и подобрать правильный ответ. Технология Turing, своим названием отсылает к Алану Тьюрингу и его тесту. Благодаря ей Алиса может не только давать ответы на конкретные вопросы, но и общаться с пользователем на отвлечённые темы. Для этого текст запроса дробится на отдельные слова, которые в дальнейшем отдельно анализируются. Для максимально точного ответа Алиса учитывает историю взаимодействия с ней, интонацию запроса, предыдущие фразы. Это объясняет тот факт, что на один вопрос разные пользователи могут получить разные ответы.

Первоначально нейросеть Алиса обучалась на массивах текстов из русской классики, включая произведения Льва Толстого, Фёдора Достоевского, Николая Гоголя и других. Затем Алиса обучалась на массивах живых текстов из Интернета. Как рассказывал глава управления машинного обучения Яндекса Михаил Биленко, в интервью изданию Meduza, в ходе ранних тестов в манере общения Алисы появилась дерзость, которая удивляла и забавляла пользователей. Чтобы дерзость не перешла в грубость и чтобы ограничить рассуждения Алисы на темы, связанные с насилием, ненавистью или политикой, в голосового помощника была внедрена система фильтров и стоп-слов.

Последний этап – озвучивание ответа – реализуется с помощью технологии Text-to-speech. Основой служат записанные в студии 260 тысяч слов и фраз, которые затем были «порезаны» на фонемы. Из этой базы нейросеть собирает ответ, после чего интонационные перепады в готовой фразе сглаживаются нейросетью, что приближает речь Алисы к человеческой. При этом нужно отличать голосовых помощников, как Алиса и Маруся, от роботов для телефонов, как Маша и прочие.

Для того, чтобы понять и ответить на голосовой запрос, помощнику нужно выполнить несколько этапов:

- Распознавание речи. На этом этапе помощник преобразует звуковой сигнал в текстовый вид. Для этого он делит запись голоса на короткие фрагменты, которые анализируются с помощью математических преобразований и нейронных сетей. Помощник определяет фонемы — элементарные звуковые единицы языка, и на основе вероятностной модели и контекста фразы составляет варианты слов, которые могли быть сказаны.
- Понимание намерений. На этом этапе помощник анализирует текстовый запрос, чтобы выявить цель пользователя. Для этого он использует методы обработки естественного языка (NLP), такие как синтаксический и семантический анализ, классификацию и извлечение сущностей.

Помощник определяет тему запроса, ключевые слова, параметры и дополнительную информацию, которая нужна для выполнения задачи.

- Генерация ответа. На этом этапе помощник формирует ответ на запрос, который может быть текстовым, голосовым или графическим. Для этого он может обращаться к разным источникам данных, таким как поисковые системы, базы знаний, приложения или сервисы. Помощник также может задавать уточняющие вопросы, если ему не хватает информации для выполнения запроса. Для генерации голосового ответа помощник использует технологию синтеза речи, который преобразуют текстовую информацию в звук, с учетом интонации, акцента и эмоций.

Яндекс Алиса работает на основе нейронных сетей и глубокого обучения (Deep Learning). Именно за счет этого она способна самостоятельно обучаться, а также воспринимать не только заготовленные команды, но и произвольные фразы.

### **Заключение**

Яндекс Алиса зарекомендовала себя как отличный голосовой помощник, благодаря своей функциональности, семантикой, простым интерфейсом и словарным запасом. С Алисой уже успешно работают, в странах СНГ. А также, с некоторыми ограничениями, в Бельгии, Германии, Израиле, Испании, Латвии, Нидерландах, США, Турции, Финляндии, Чехии, Эстонии и в других странах.

### **Литература**

1. Ушкин, С.Г. Жить с Алисой: как голосовые помощники трансформируют коммуникации / С.Г. Ушкин, Е.А. Коваль, А.Н. Яськин // Сборник: Искусственный интеллект, факторы неравенства и социальная политика. Том 20, №3 – Москва, 2022. – С. 361-376.
2. Wikipedia [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/>. – Дата доступа: 02.10.2023.

УДК 621.394.67

**НАЗНАЧЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ ПРИЕМНИКОВ ПРЯМОГО  
ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И СУПЕРГЕТЕРОДИНА  
PURPOSE OF INDIVIDUAL NODES DIRECT CONVERSION AND  
SUPERHETERODYNE RECEIVERS**

М.С. Сергеев, А.В. Ротько

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

M. Sergeev, A. Ratsko

Supervisor – G. Mikhaltsevich, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** Данная научная работа посвящена изучению принципа действия радиоприемников прямого преобразования и супергетеродина. В работе рассматривается исторический обзор развития радиоприемников, описываются основные компоненты, принципы работы антенны, усиления сигнала, процесс смешения сигналов, фильтрация сигнала, принципы работы детектора, усиление мощности, а также технологические инновации и современные тенденции в развитии радиоприемников прямого преобразования.*

***Abstract:** This scientific work is devoted to studying the operating principle of direct conversion radio receivers and superheterodyne. The paper provides a historical overview of the development of radio receivers, describing the main components, principles of antenna operation, signal amplification, signal mixing process, signal filtering, principles of detector operation, power amplification, as well as technological innovations and current trends in the development of direct conversion radio receivers.*

***Ключевые слова:** радиоприемник, радиоприемник прямого преобразования, супергетеродинный приемник, антенна, усилитель, смеситель, фильтр, детектор, усилитель мощности.*

***Key words:** radio receiver, direct conversion radio receiver, superheterodyne receiver, antenna, amplifier, mixer, filter, detector, power amplifier.*

### **Введение**

Приёмники прямого преобразования (ПП) предназначены в основном для приёма радиостанций с однополосной CW и SSB модуляцией.

Радиоприемники ПП используются в основном для прослушивания разговоров на любительских диапазонах 20 м, 40 м, 80 м и 160 м или в составе трансивера. Они позволяют нам принимать радиосигналы, часто величиной меньше мкВ. Однако мало кто задумывается о том, как именно они работают.

Что же это за такой приемник ПП?! Это что-то новенькое? Но как оказалось, совсем не новое, а хорошо забытое старое!

### **Основная часть**

История развития радиоприемников насчитывает более ста лет. Вначале XX века радиоприемники работали на принципе детектирования амплитудной модуляции (АМ). С течением времени появились новые принципы и технологии,



такие как частотная модуляция (ЧМ) и фазовая модуляция (ФМ), которые позволили улучшить качество приема и передачи сигналов.

Радиоприемник – это устройство, подключенное к антенне и используемое для приема радиосигнала.

Прямое преобразование – это принцип приема радиосигналов, сходный с работой супергетеродинного приёмника. Он отличается тем, что после преобразования получается не сигнал относительно высокой промежуточной частоты, а непосредственно низкочастотный сигнал. Необходимая полоса частот выделяется фильтром НЧ.

Радиоприемники ПП классифицируются по принципу построения тракта приема. Радиоприемник с прямым преобразованием, также известный как гомодинный приёмник, представляет собой радиоприемник, в котором используется генератор малой мощности (гетеродин) для прямого преобразования радиосигнала в сигнал звуковой частоты (рисунок 1). Частота принимаемого сигнала частоты гетеродина практически одинаковы или кратны частоте принимаемого сигнала. Из-за схожего принципа работы такие радиоприемники иногда называют супергетеродинами с нулевой промежуточной частотой.

Супергетеродинный радиоприемник (супергетеродин) – это тип радиоприемника, в основе которого лежит принцип преобразования принятого сигнала в сигнал фиксированной промежуточной частоты (ПЧ) и последующего его усиления. Основное преимущество супергетеродинных приемников перед радиоприемниками прямого усиления, что они обладают большей чувствительностью и избирательностью. В усилителях ПЧ часто используются пьезоэлектрические фильтры, обладающие необходимой полосой пропускания на частоте 465 кГц или 10,7 МГц на УКВ диапазоне.

Основные компоненты радиоприемников включают в себя антенну, усилитель, смеситель, фильтр, детектор и усилитель мощности. Каждый компонент выполняет свою функцию и имеет свои принципы работы.

Антенна является первым компонентом радиоприемника прямого преобразования. Она выполняет функцию улавливания радиосигналов в пространстве и передачи их на вход приемника. Антенна может быть различных типов, включая проводные, петлевые, телескопические антенны и другие. Она играет важную роль в приеме радиосигналов.

Усилитель: после приема радиосигналов антенной, они часто поступают на усилитель. Усилитель увеличивает амплитуду слабых радиосигналов, чтобы они могли быть обработаны дальнейшими компонентами радиоприемника. Усилитель может быть реализован с использованием транзисторов или микросхем. Он играет важную роль в повышении уровня сигнала и улучшении его качества.

Смеситель: следующим этапом является смешение радиосигналов с определенной частотой сигнала, с частотой гетеродина Смеситель создаёт новый сигнал, который содержит разность частот между входным сигналом и частотой гетеродина.



Фильтр: после смешения, в приёмниках ПП, сигнал проходит через фильтр, который отфильтровывает нежелательные частоты. Фильтр может быть реализован с использованием различных типов фильтров, таких как полосовые фильтры различных типов. Он играет важную роль в очистке полезных сигналов, частотой 400-2800 Гц, от помех и улучшении его качества.

Детектор: в супергетеродинных приёмниках преобразует аналоговый сигнал с частотой ПЧ в звуковой сигнал, Детектор может быть различного типа, таких как, детектор амплитудной модуляции (ДАМ), детектор частотной модуляции (ДЧМ) или детектор фазовой модуляции (ДФМ), в зависимости от типа модуляции радиосигнала. Несущая частота подавляется RC-фильтром

Усилитель мощности: звуковой сигнал поступает на усилитель мощности, который усиливает его амплитуду до уровня, заданного пользователем для работы динамика. Сигнал, поступающий на динамик, обеспечивает заданную достаточную громкость звукового сигнала, чтобы он с комфортом мог быть услышан человеком.

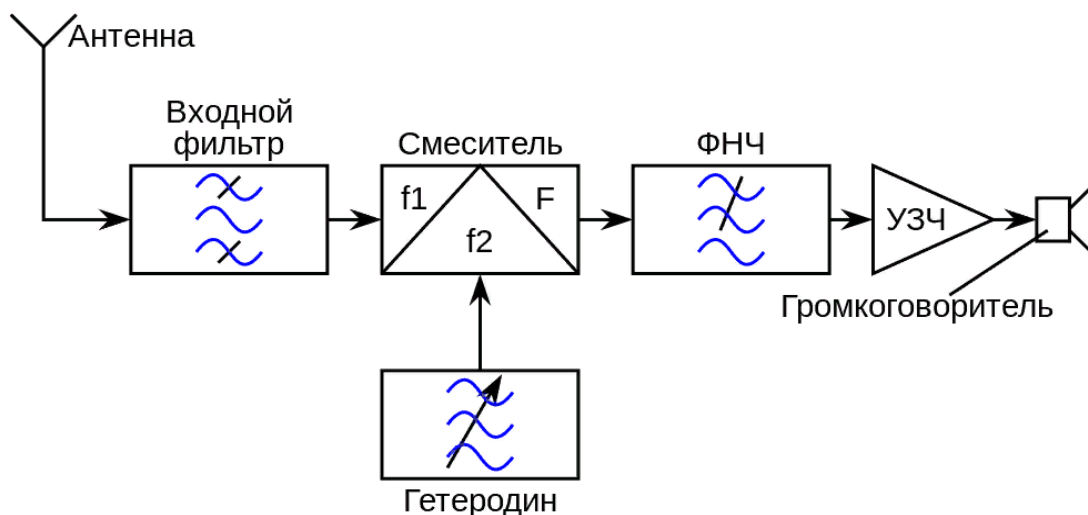


Рисунок 1 – Структурная схема приемника с прямым преобразованием (ФНЧ – фильтр нижних частот, УЗЧ – усилитель звуковой частоты)

Входной фильтр выделяет полосу сигналов, на заданном диапазоне частот, где находится и принимаемый сигнал. Сигнал с выхода этого фильтра поступает на смеситель, который в идеальном случае – это четырехквadrантный перемножитель сигналов. На второй вход смесителя подается сигнал гетеродина, частота и фаза которого совпадают с частотой и фазой несущей частоты принимаемого сигнала. На выходе смесителя образуется низкочастотный модулирующий сигнал принимаемой станции и удвоенная частота несущей. Также в спектре сигнала на выходе смесителя могут присутствовать сигналы соседних по частоте станций – помехи, причем частоты помех превышают частоты звукового модулирующего сигнала принимаемой станции. Помехи и удвоенная частота несущей блокируются ФНЧ, сигнал с выхода ФНЧ усиливается УЗЧ и далее подается на громкоговоритель или наушники.

Особенностью данного решения является двойная функциональность смесителя, который одновременно выполняет функцию детектора.

В супергетеродинной схеме – модулированный радиочастотный сигнал преобразуется в сигнал ПЧ, благодаря смешиванию входного радиочастотного сигнала с сигналом другой частоты, генерируемым гетеродином (рисунок 2). Смешение частот осуществляется с помощью транзисторов, имеющих нелинейные характеристики. Этот процесс создает искаженный сигнал, который содержит компоненты на ВЧ и частотах биений, а также компоненты на суммарных и разностных частотах.

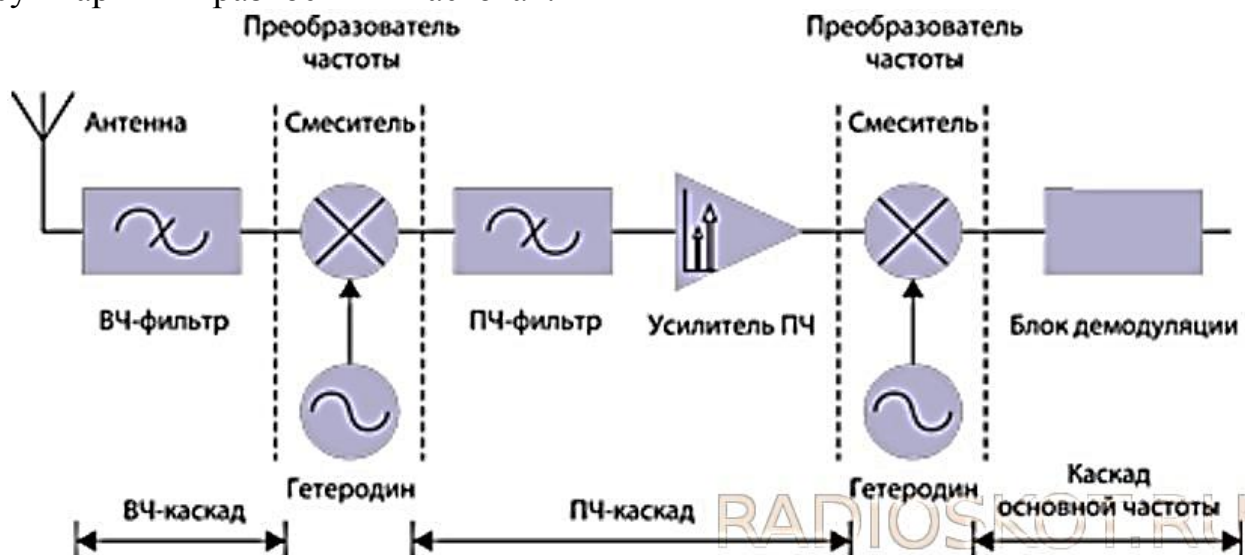


Рисунок 2 – Схема супергетеродинного приемника с двумя каскадами преобразования частоты

После смесителя вводится фильтр, настроенный на одну из этих составляющих (например,  $f_h - f_w.cz$ ). Она называется промежуточной частотой. Промежуточная частота фиксирована. Регулируемый элемент – гетеродин. Частота гетеродина меняется в зависимости от принимаемого сигнала.

Достоинства и недостатки радиоприемников прямого преобразования.

Достоинства приемника ПП – его простота высокочастотного канала при достаточно высокой чувствительности (она определяется усилением усилителя НЧ, которое можно сделать весьма высоким) и избирательности (она зависит от крутизны спадов фильтра НЧ), а также отсутствие зеркальных помех, которые свойственны супергетеродинным приемникам.

Именно эти очень дешевые и маленькие приемники могут быть встроены в электронные устройства, например мобильные радиостанции.

Недостатки приемника ПП – чувствительность к наводкам фона переменного тока, склонность к неустойчивой работе из-за высокого коэффициента усиления по низкой частоте, «пролезание» сигнала гетеродина в антенну, возможность детектирования сильных АМ сигналов от местных радиостанций.

Доказано, чем выше промежуточная частота, тем больше разница частот между требуемым радиочастотным сигналом и частотами сигнала изображения. Это увеличивает возможность подавления мешающих сигналов во входной цепи. Поэтому в супергетеродинном приемнике с двойным преобразованием ПЧ первого каскада преобразования значительно выше, чем ПЧ второго каскада. Из-

за небольшого значения вторая ступень преобразования имеет лучшую селективность.

К сожалению, в настоящее время очень сложно реализовать умножитель с достаточно большим динамическим диапазоном, и только с развитием цифровой техники эта схема постепенно станет популярной и с ее помощью все больше становится возможным реализовать приемники высокого качества.

Если бы мы могли реализовать идеальный умножитель, используя прямое преобразование в схеме приемника, нам бы больше не понадобился бы блок на входе синхронного детектора. Но, к сожалению, этого не так. Поэтому на входе умножителя необходимо поставить полосовой фильтр. Это уменьшит количество мешающих сигналов, поступающих на вход синхронного детектора, и позволит приблизить его характеристики к характеристикам идеального мультипликатора. Однако требования к полосовому фильтру значительно ниже, чем когда полосовой фильтр подавляет соседние каналы.

Современные радиоприемники ПП используют новые технологии и подходы для улучшения качества приема и удобства использования. Некоторые из них включают цифровую обработку сигналов, автоматическую настройку и программное управление.

Радиоприемники ПП широко применяются в различных областях, таких как радиовещание, любительская связь, радиолокация и другие сферы. Они играют важную роль в передаче и приеме радиосигналов, обеспечивая связь и передачу информации.

### **Заключение**

Радиоприемники ПП играют важную роль в нашей современной жизни, обеспечивая нам доступ к разнообразному аудио-контенту. Мы рассмотрели принцип действия радиоприемников ПП, начиная с приема радиосигналов антенной, их усиления, смещения с частотой гетеродина, фильтрации, и заканчивая усилением мощности и воспроизведением звукового сигнала. Каждый компонент радиоприемника выполняет свою роль в обработке сигнала и обеспечивает нам возможность наслаждаться радиоэфиром. Благодаря развитию технологий, радиоприемники ПП становятся все более компактными, эффективными и удобными в использовании. Они продолжают развиваться и приспособливаться к современным требованиям, обеспечивая нам разнообразный прием радиосигналов.

### **Литература**

1. Поляков, В.Т. Радиолюбителям о технике прямого преобразования / В.Т. Поляков // М: Патриот, 1990. – С. 11-42.
2. Поляков, В.Т. Приёмники прямого преобразования для любительской связи / В.Т. Поляков // М: ДОСААФ, 1981. – С. 6-21.
3. Поляков, В.Т. Приемник прямого преобразования / В.Т. Поляков // Радио. – 1977. – № 11. – С. 53-55.

УДК 629.067

**НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ:  
ИННОВАЦИИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЖИЗНИ  
NEW CAR SAFETY TECHNOLOGIES:  
INNOVATIONS TO PROTECT LIFE**

Н. Римашевский

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

N. Rimashevsky

Supervisor – G. Mikhaltsevich, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** Автомобильная безопасность – это совокупность мер и технологий, применяемых для защиты жизни и здоровья людей, находящихся в автомобиле, и участников дорожного движения. Она включает в себя широкий спектр механических, электронных и программных решений, разработанных для предотвращения аварий, минимизации последствий столкновений и обеспечения безопасного перемещения на дороге.

**Abstract:** Automotive safety is a set of measures and technologies used to protect the life and health of people in a car and road users. It includes a wide range of mechanical, electronic and software solutions designed to prevent accidents, minimize the consequences of collisions and ensure safe movement on the road.

**Ключевые слова:** новые технологии, безопасность автомобилей, инновации, защита жизни, автомобильная безопасность, системы безопасности, инновационные технологии, системы спасения, автомобильные инновации, системы предотвращения аварий, электронная безопасность, системы аварийного торможения, интеллектуальные транспортные средства, технологии для защиты пешеходов.

**Key words:** new technologies, car safety, innovations, life protection, automotive safety, safety systems, innovative technologies, rescue systems, automotive innovations, accident prevention systems, electronic safety, emergency braking systems, intelligent vehicles, technologies for pedestrian protection.

### **Введение**

С развитием технологий автомобильной безопасности на дорогах стали появляться все более продвинутые системы, которые могут предотвратить серьезные аварии и сохранить жизни водителей и пассажиров. Эти инновации разработаны для идентификации и предупреждения потенциальных опасностей, а также для обеспечения более точного управления автомобилем.

Одной из ключевых инноваций является система автоматического экстренного торможения, которая может определить препятствия на дороге и автоматически активировать тормоза для предотвращения столкновения. Эта технология основана на использовании сенсоров и камер, которые постоянно сканируют окружающую среду и могут обнаружить препятствия даже в сложных условиях.

Второй важной инновацией является система контроля мертвых зон, которая позволяет водителю видеть препятствия, находящиеся за пределами его прямой видимости. Сенсоры и камеры, установленные на автомобиле, оценивают окружающую среду и предупреждают водителя о наличии других автомобилей или пешеходов в мертвой зоне.

Другие инновационные технологии включают системы предупреждения о выходе из полосы движения, системы адаптивного круиз-контроля, которые автоматически подстраивают скорость автомобиля в зависимости от движения впереди, и системы мониторинга усталости водителя для детектирования признаков утомления и рекомендации сделать перерыв.

### **Основная часть**

Автомобильная безопасность – это совокупность мер и технологий, применяемых для защиты жизни и здоровья людей, находящихся в автомобиле, и участников дорожного движения. Она включает в себя широкий спектр механических, электронных и программных решений, разработанных для предотвращения аварий, минимизации последствий столкновений и обеспечения безопасного перемещения на дороге.

Развитие современных технологий способствует постоянному усовершенствованию систем автомобильной безопасности. Сегодня автомобили оснащаются продвинутыми ассистентами и системами, которые активно взаимодействуют с водителем, предупреждая о возможных опасностях на дороге и взаимодействуя с окружающими автомобилями. Интеллектуальные системы пережимают руку в игре безопасности водителя, устраняют или уменьшают его ошибки, реагируют на непредвиденные ситуации и обеспечивают моментальную реакцию на опасность.

Электронная система контроля усталости водителя – сенсоры, измеряющие движения глаз и позицию головы, позволяют определить, когда водитель моментально засыпает, и предупреждают его звуковыми и визуальными сигналами.

Система аварийного торможения с распознаванием пешеходов – специальные камеры и радары обнаруживают находящихся на дороге пешеходов и автоматически активируют систему торможения, чтобы предотвратить столкновение.

Система предупреждения о выезде за пределы полосы – камеры и сенсоры определяют положение автомобиля на дороге и предупреждают водителя о сближении с краем полосы или выезде за ее пределы.

### **Заключение**

Таким образом, новые технологии безопасности автомобилей представляют собой революционные инновации, направленные на защиту жизни и улучшение безопасности на дорогах. Разработки в области автомобильной безопасности, такие как системы аварийного торможения, умные системы помощи при парковке и видеорегистраторы, позволяют предотвратить множество аварийных ситуаций и спасти жизни. Однако важно помнить, что технологии могут и должны быть эффективно использованы только при соблюдении правил и норм дорожного движения. Современные инновации являются важным шагом в

направлении безопасного и комфортного передвижения, и их внедрение в автомобильную промышленность требует дальнейшей поддержки со стороны правительства, производителей и общественности. Только совместными усилиями мы можем создать более безопасную среду для всех участников дорожного движения.

### Литература

1. Новые технологии безопасности автомобилей: инновации для защиты жизни (farcopoff.ru) [Электронный ресурс]/ Дата доступа: 17.09.2023  
Источник: <https://farcopoff.ru/novye-tehnologii-bezopasnosti-avtomobiley-innovatsii-dlya-zaschity-zhizni>
2. Инновации в автомобильной безопасности: Как технологии будущего защитят наши жизни на дороге - Открой весь потенциал своего автомобиля [motorview.ru]/ Дата доступа: 17.09.2023



УДК 621.317

**СИНХРОННЫЕ ДЕТЕКТОРЫ  
SYNCHRONOUS DETECTORS**

Е.С. Гузов, П.Н. Слепцов

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель

Белорусский национальный технический Университет, г. Минск

E. Guzov, P. Sleptsov

Supervisor – G. Mikhaltsevich, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** Тема данного исследования – современные способы построения синхронных детекторов, служащих для выделения слабых сигналов от аналоговых датчиков при наличии различных помех.

**Abstract:** The topic of this research is modern methods for constructing synchronous detectors that serve to isolate weak signals from analog sensors in the presence of various interferences.

**Ключевые слова:** усилители, синхронные детекторы, помехи, полезный сигнал, опорный сигнал.

**Key words:** amplifiers, synchronous detectors, interference, useful signal, reference signal.

**Введение**

Синхронный детектор может извлекать слабые сигналы, которые могут быть ниже уровня шума. Это полезно при измерении очень малых величин, чего либо.

Во многих системах шум увеличивается с уменьшением частоты. Осуществление измерений в низкочастотном шуме увеличивает отношение сигнал/шум. Следовательно, модуляция источника света с частотой в несколько килогерц облегчает измерение отраженного сигнала.

**Основная часть**

Существует несколько способов модуляции сигнала возбуждения. Самый простой из них – периодически включать/выключать источник сигнала. Этот метод хорошо работает при управлении светодиодами и регулировке напряжения питания мостового тензодатчика и некоторых других цепей.

Узкополосный полосовой фильтр может удалить всю ненужную полосу частот и выделить интересующие полосы частот, и восстановить исходный сигнал. Другим решением является способ, в котором синхронный демодулятор переводит модулированный сигнал в область нулевых частот. Устройства, работающие по этому принципу, называются синхронными усилителями.

На рисунке 1 показана простая схема использования синхронного усилителя. Испытуемую поверхность облучают источником излучения, модулированной частотой 1 кГц. Фотодиод измеряет световой поток, отраженный от заданной поверхности, пропорционально количеству загрязнения. Опорный и измерительный сигналы представляют собой синусоидальные колебания с одинаковой частотой и фазой, но разной

амплитудой. Опорный сигнал, излучаемый источником света, имеет постоянное значение амплитуды, а амплитуда измеряемого сигнала зависит от коэффициента отражения.

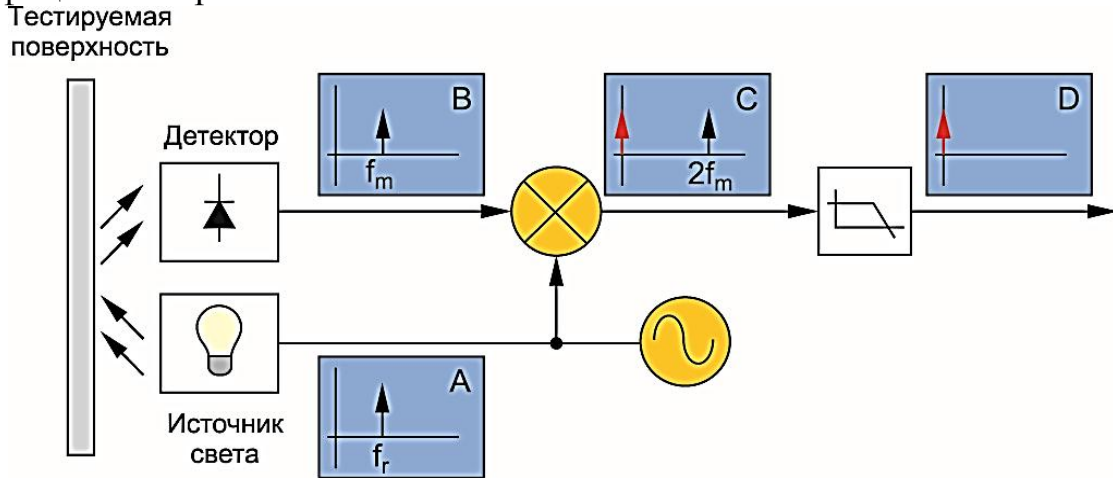


Рисунок 1 – Способ измерения степени загрязнения поверхности, установленный в синхронном усилителе

Результатом умножения 2-х синусоидальных сигналов является сигнал, с суммарной и дифференциальной составляющими. В этом случае исходный сигнал будет иметь ту же частоту, в результате чего можно увидеть сигнал с нулевой частотой и сигнал с частотой, в 2 раза превышающей частоту исходного сигнала

Преимущество этого метода измерения очевидно, когда нужно измерить зашумленные входные сигналы. В результате умножения модулированный сигнал возвращается к нулевой частоте, а остальная часть сигнала перемещается на другие частоты, отличающиеся от нуля.

На рисунке 2 показана ситуация, когда на входе измерительной системы имеется сильный источник шума на частотах 50 Гц и 2,5 кГц.

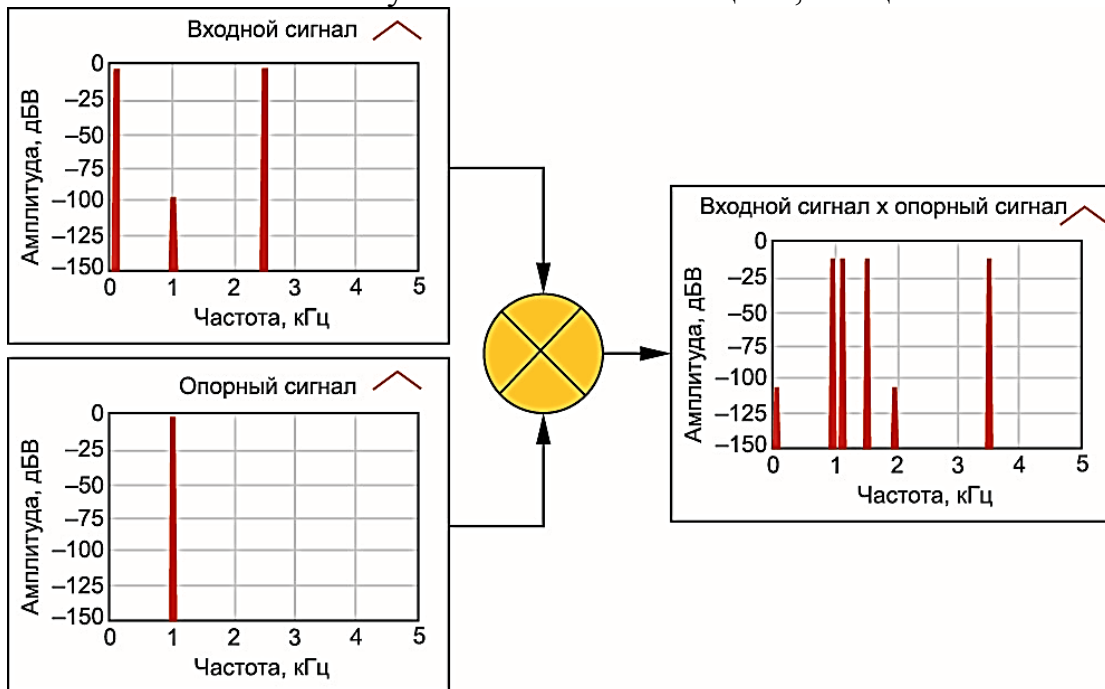


Рисунок 2 – Синхронная демодуляция «вытягивает» слабый сигнал с частотой 2,5 кГц и 1 кГц при наличии на входе сильного источника шума с частотой 50 Гц

Желаемый сигнал на очень низких уровнях модулируется синусоидальной волной с частотой 1 кГц. Входной сигнал системы умножается на опорный сигнал для получения требуемого сигнала на нулевой частоте и требуемого сигнала на частотах 950 Гц, 1050 Гц, 1,5 кГц, 2 кГц и 3,5 кГц. Как упоминалось выше, сигнал нулевой частоты содержит необходимую информацию, а фильтр нижних частот может отфильтровывать все остальные частоты.

Поскольку компоненты шума в частотной области, близкой к полезному сигналу, появляются на частотах, близких к нулю, очень трудно выбрать частоту модуляции без сильного источника шума. Если это невозможно, рекомендуется использовать фильтр нижних частот с очень низкой частотой среза и большой крутизной частотной характеристики, несмотря на длительное время установления сигнала.

Практическое применение системы синхронной обработки сигналов.

Модуляция источника синусоидальным сигналом не всегда возможна, поэтому в некоторых случаях может быть использована модуляция прямоугольной последовательностью импульсов. Генерировать прямоугольный сигнал возбуждения намного проще, чем генерировать синусоидальную волну. Эту проблему можно решить довольно простым способом, например, с помощью микроконтроллера, управляющего МОП-транзистором.

На рисунке 3 показана простая реализация синхронного усилителя. Микроконтроллер или другое устройство генерирует сигнал возбуждения. Это прямоугольная последовательность, которая создает отклик от датчика. 1-й этап усиления – это усилитель при использовании фотодиода в качестве датчика или приборный усилитель при усилении сигнала от тензодатчика.

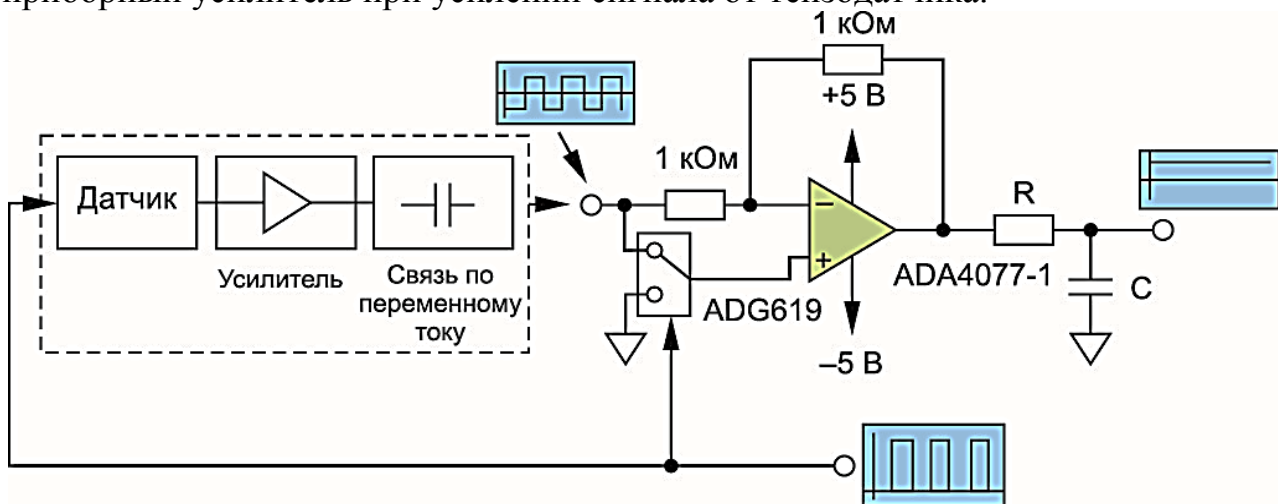


Рисунок 3 – Синхронный усилитель, использующий прямоугольные колебания в качестве сигнала возбуждения

Схема переключения сигнала возбуждения реализована на ключе ADG619. Если сигнал возбуждения принимает положительное значение, коэффициент усиления усилителя устанавливается равным +1. Для отрицательного периода полуволны коэффициент усиления устанавливается равным -1. Математически эта операция аналогична умножению измеренного сигнала на линейную угловую волну. На выходе RC-схемы фильтр удаляет другие частотные составляющие

сигнала, и выходное напряжение сигнала на нулевой частоте равно половине диапазона измеряемой прямоугольной последовательности.

Схема проста, но очень важно правильно выбрать операционный усилитель. Входной каскад, подключенный к переменному току, значительно снижает низкочастотный входной шум, но не устраняет мерцающий шум и погрешность смещения последнего усилителя. Прецизионный усилитель ADA4077-1 идеально подходит для этой схемы с шумом 250 нВ (пиковое значение) и смещением 0,55 мВ/°С в диапазоне частот от 0,1 Гц до 10 Гц.

Синхронные усилители, использующие прямоугольные сигналы, просты, но обладают меньшим подавлением шума, чем усилители, использующие синусоидальные сигналы.

Другим вариантом является использование встроенного синхронного демодулятора, показанного на рисунке 4. Микросхема ADA2200 оснащена буферным входом, программируемым фильтром, умножителем и сдвигом опорного сигнала на 90°, что позволяет синхронизировать опорный и измерительный сигналы.

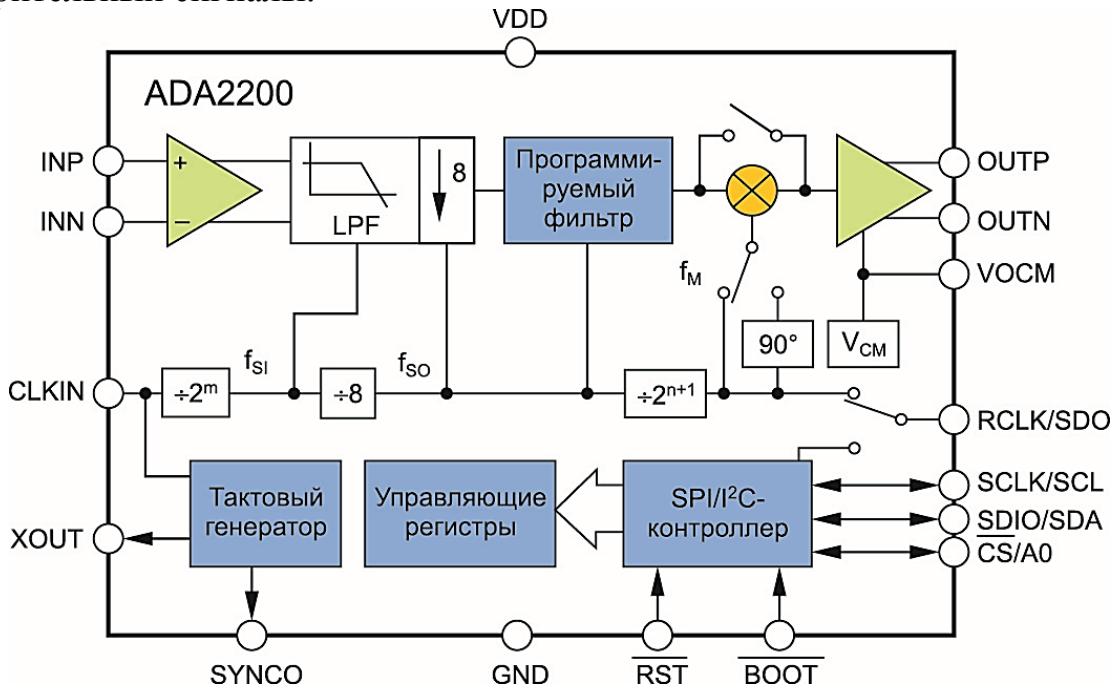


Рисунок 4 – Структурная схема микросхемы ADA2200

Схема на интегрированном синхронном демодуляторе ADA2200 показанная на рисунке 5, проста в реализации и требует только источника тактовых импульсов с частотой, в 64 раза превышающей частоту опорного сигнала. Поскольку программируемый фильтр по умолчанию определен как полосовой фильтр, нет необходимости реализовывать связь по переменному току. Поскольку аналоговый выход выводит компоненты "зеркального" канала (изображения), полученные в результате умножения сигнала на частоту дискретизации, для удаления нежелательных компонентов используется RC-фильтр. Это позволяет с помощью сигма-дельта АЦП измерять только сигналы, демодулированные на нулевой частоте.

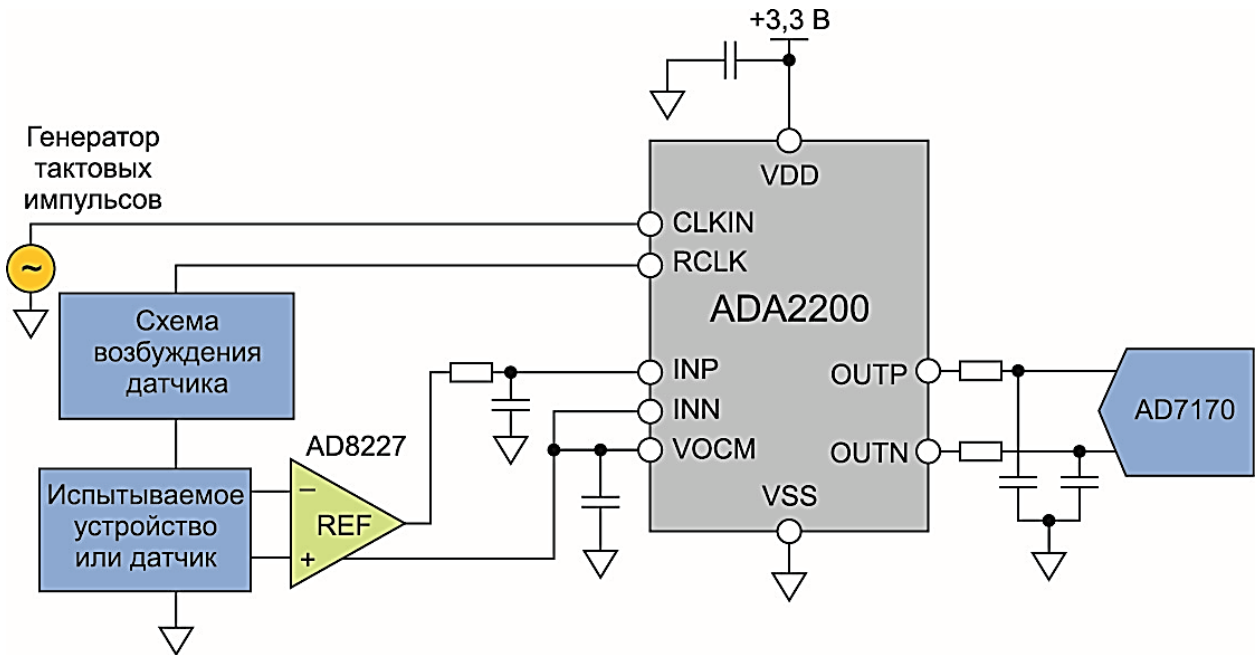


Рисунок 5 – Синхронные усилители, реализованные с микросхемой ADA2200

Усовершенствование метода синхронизации с использованием сигнала прямоугольной последовательности.

На рисунке 6 показано улучшение схемы путем модулирования прямоугольной последовательности. Датчик возбуждается прямоугольной последовательностью, и измеренный сигнал умножается на синусоидальную волну той же частоты и фазы. Затем, когда некоторые сигналы на основной частоте "перемещаются" на нулевую частоту, а все остальные гармоники перемещаются на ненулевую частоту, фильтр нижних частот может отфильтровать все сигналы, кроме измеренного сигнала (нулевая частота).

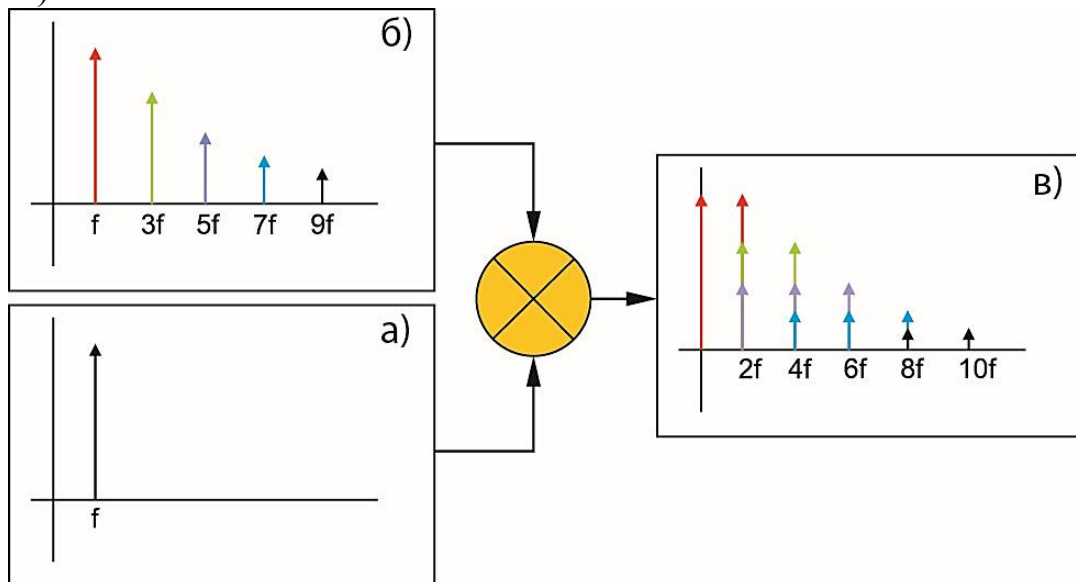


Рисунок 6 – Использование синусоидальной волны в качестве опорного сигнала предотвращает появление шума из-за демодуляции на нулевой частоте

Более сложный фазовый сдвиг между опорным сигналом и измерительным сигналом приводит к уменьшению значения выходного сигнала в отличие от ситуации, когда сигнал полностью согласован по фазе. Это может произойти,



если схема согласования сигнала датчика включает в себя фильтр, который генерирует фазовую задержку. Для схем с аналоговыми синхронными усилителями единственный способ справиться с этим – включить схему компенсации фазы в схему опорного сигнала. Схема должна быть настраиваемой, чтобы иметь возможность компенсировать различные задержки, и эта задача не является тривиальной из-за зависимости от температуры и точности используемых компонентов. Более простой альтернативой является включение в схему 2-го этапа умножения сигнала, дополнительного блока, который реализует умножение сдвинутого на  $90^\circ$  измерительного сигнала и опорного сигнала. Результатом этого изменения является возможность приема сигналов, не зависящих от фазы входного сигнала (рисунок 7) объясняется это решение. Выходной сигнал умножителя (обе операции умножения) выдает сигнал, пропорциональный синфазной (I) и квадратурной (Q) составляющим входного сигнала. Чтобы вычислить амплитуду входного сигнала, вам просто нужно найти корень из суммы квадратов сигналов I и Q. Дополнительным преимуществом этой архитектуры является то, что может быть вычислена разность фаз между возбуждающим опорным сигналом и входным сигналом.

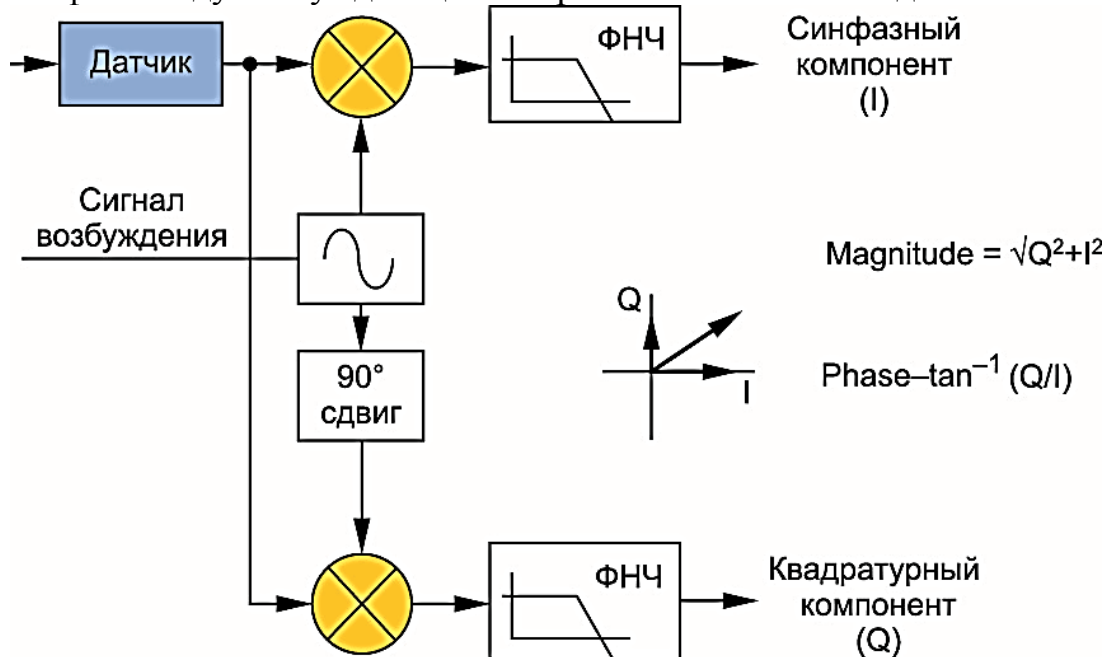


Рисунок 7 – Вычисление амплитуды и фазы с использованием ортогональной версии опорного сигнала

На рисунке 8 показана схема синхронного усилителя, реализованная на алгоритмах для программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) с входным каскадом смещения нуля ADA4528-1 и операционным блоком с 24-разрядным сигма-дельта АЦП AD7175. Поскольку это приложение не предназначено для обработки широкополосных сигналов, эквивалентная ширина полосы шумовых частот синхронного усилителя может быть определен при частоте 50 Гц. Это хорошая идея. В качестве тестовых устройств используются датчики, которые могут возбуждаться внешними сигналами. Схема усилителя реализует коэффициент усиления 20, так что динамический диапазон АЦП может быть использован в полной мере. Постоянный уровень погрешности



смещения не влияет на измеряемое значение, но важно минимизировать дрейф смещения и мерцающий шум, особенно если схема усилителя обеспечивает высокое усиление.

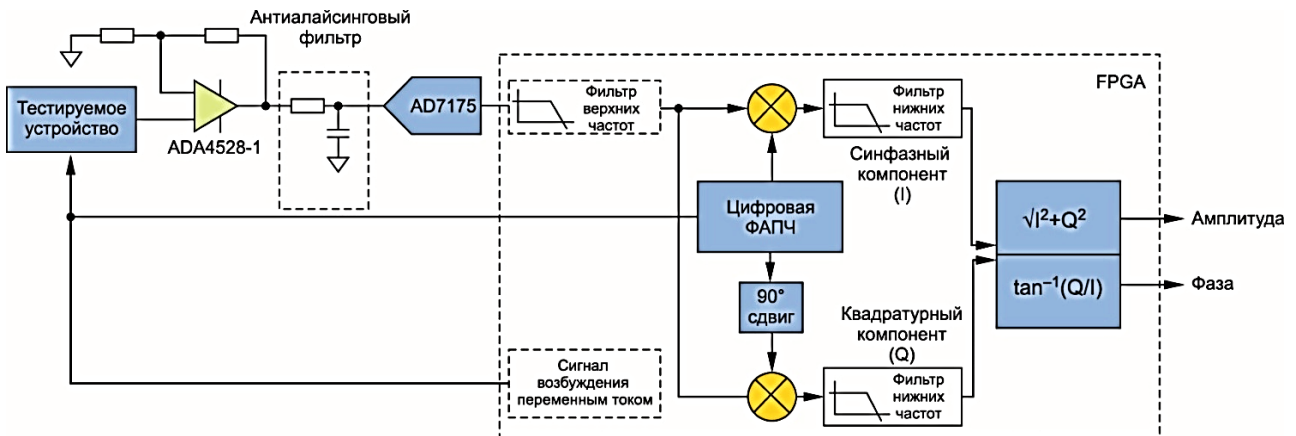


Рисунок 8 – Схема синхронного усилителя, реализованная на ПЛИС

Максимальное смещение усилителя ADA4528-1 достигает 2,5 мВ, при опорном напряжении 2,5 В, равном 10 ppm от полномасштабного входного диапазона аналогового входа AD7175. Чтобы определить уровень выходного шума, сначала необходимо рассчитать плотность AD7175. В технической документации используются фильтр sinc5+sinc1 и входной буфер для отображения среднеквадратичного значения шума 50 мВ при скорости преобразования 5,9кбит/с. Эквивалентная полоса пропускания шума, в этих условиях, составляет 21,7 кГц, а плотность шума - 40 нВ /√Гц.

Широкополосный шум с плотностью 5,9 нВ /√Гц ADA4528 появляется на выходе при значении 118 нВ/√Гц, что приводит к общей плотности шума 125 нВ/√Гц. Эквивалентная полоса пропускания цифрового фильтра составляет 50 Гц, поэтому среднеквадратичное значение выходного шума достигает 881 нВ. При диапазоне входного сигнала ±2,5 В, динамический диапазон системы составляет 126 дБ. Вы можете использовать полосу пропускания системы для изменения динамического диапазона, регулируя время отклика фильтра нижних частот, то есть, регулируя частотную характеристику. Например, если вы установите полосу пропускания равной 1 Гц, вы получите динамический диапазон в 143 дБ, а полоса пропускания в 250 Гц соответствует динамическому диапазону в 119 дБ.

Цифровая схема ФАПЧ улавливает сигнал возбуждения для получения синусоидальной волны, причем сигнал возбуждения может быть как внешним, так и внутренним и иметь различную форму, которая не обязательно является синусоидальной. Все гармонические составляющие синусоидального опорного сигнала умножаются на входной сигнал, так что немодулированный шум и другие нежелательные компоненты сигнала проявляются на гармонических частотах, как в случае умножения 2 сигналов в прямоугольной последовательности. Преимуществом использования цифрового метода для генерации опорного синусоидального сигнала является очень низкий уровень искажений, достигаемый цифровой настройкой.

## Заключение

Низкочастотные сигналы низкого уровня, уровень которых ниже уровня шума, очень трудно измерить, но использование методов модуляции сигнала для их восстановления с помощью синхронного усилителя позволяет проводить очень точные измерения. В своей простейшей форме синхронный усилитель представляет собой операционный усилитель, включенный в схему с попеременно изменяемыми коэффициентами усиления. Эта схема не обеспечивает наилучших шумовых характеристик, но, тем не менее, из-за простоты исполнения и низкой стоимости внедрения она предпочтительнее обычных схем измерения сигнала нулевой частоты. Усовершенствования этого метода заключаются в использовании синусоидальной волны в качестве опорного сигнала и включении в схему умножителя, но этот метод ограничен из-за сложной конфигурации аналоговых компонентов. Наилучшая производительность достигается благодаря высокоточному сигма-дельта АЦП с низким уровнем шума для оцифровки входного сигнала, цифровой схеме PLL для генерации опорного сигнала и цифровому формату.

## Литература

1. FMUSER International Group INC / [Электронный ресурс]. – Электронные данные. Режим доступа: <https://ru.fmuser.net/content/?19044.htm> – Дата доступа: 26.09.2023.
2. Синхронные детекторы для прецизионных измерений сигналов низкого уровня / [Электронный ресурс]. – Электронные данные. Режим доступа: <https://kit-e.ru/sinhronnye-detektory/>. – Дата доступа: 26.09.2023.

УДК 621.395.721.5

**СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОТОВЫХ ТЕЛЕФОНОВ  
MODERN CELL PHONE CAPABILITIES**

А.О. Куценко, Я.Д. Горбунов, Р.О. Дербенев

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Kutsenko, Y. Gorbunov, R. Derbenev

Supervisor – G. Mikhaltsevich, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** В наше время все используют сотовые телефоны. Они обладают огромным количеством и впечатляющим рядом функций и возможностей, которые используют каждый день.

**Abstract:** Nowadays everyone uses cell phones. They have a huge number and an impressive range of functions and capabilities that they use every day.

**Ключевые слова:** сотовый телефон, интернет, карманный компьютер.

**Key words:** cell phone, internet, pocket computer.

**Введение**

Сотовые телефоны являются одним из наиболее распространенных видов техники в современном мире. В течение последних нескольких десятилетий эти устройства претерпели значительное развитие, добавляя новые функции и возможности. Сегодня сотовые телефоны предоставляют пользователям широкий спектр возможностей, начиная от простой связи до использования в качестве мультимедийных устройств и даже средств оплаты.

**Основная часть**

В современных сотовых телефонах есть множество возможностей, которые делают их универсальными устройствами для коммуникации, развлечений и работы. Телефоны являются очень персонализированным устройством. Другими словами, любой пользователь может настроить телефон под свои потребности – увеличить шрифт, уменьшить подсветку, выбрать звонок, установить нужные ему программы. Программ для смартфонов на Андроид существует тысячи, и в магазине Play Market легко скачать нужную программу. Среди них обязательно найдутся те, которые будут интересны и полезны конкретному человеку. Прежде всего, это программы обмена сообщений и навигации, далее, стоит обращать внимание на программы для проигрывания музыки, программы для заметок или пешеходной навигации, программы для учёта бюджета и многие иные. Некоторые из возможностей современных смартфонов включают в себя:

- Многозадачность – возможность запускать несколько приложений одновременно.
- Интернет: Большинство современных сотовых телефонов обеспечивают доступ к Интернету через Wi-Fi или мобильные данные. Это позволяет пользователям искать информацию, читать новости, общаться в социальных сетях, совершать покупки и многое другое.
- Мощные процессоры – обеспечивают быструю работу и отзывчивость

- устройства.
- Большие и качественные экраны – для просмотра видео, игр и работы с приложениями.
  - Голосовые ассистенты – такие как Siri, Google Assistant, Алиса, которые могут помогать пользователю, справляться с различными задачами.
  - Беспроводная зарядка – удобная и быстрая зарядка устройства без использования проводов.
  - Различные сенсоры – такие как акселерометр, гироскоп, датчик освещенности, позволяющие устройству отслеживать множество параметров и взаимодействовать с окружающей средой, сканеры отпечатков пальцев.
  - Связь: Основной функцией сотового телефона является возможность связаться с другими людьми посредством звонков и сообщений. Современные телефоны предоставляют различные методы связи, включая голосовые звонки, SMS, мессенджеры, электронную почту и видеозвонки.
  - Мультимедиа: Современные сотовые телефоны обычно оснащены камерами высокого разрешения, позволяющими фотографировать и снимать видео. Например, можно привести современную камеру в смартфоне iPhone 14, она имеет функцию распознавания лица и жестов. Изготавливают камеры для смартфона такие компании как: Samsung, LG, Sony. На сегодняшний день камеры сотовых телефонов не уступают в характеристиках некоторым профессиональным камерам.
  - Платежи: Многие люди хотели бы платить за свои покупки, используя свой смартфон с технологией NFC. Некоторые банки уже предлагают эту возможность, но теперь процесс выпуска виртуальной NFC-карты стал намного проще и занимает всего 10 минут через приложение "Кошелёк". Помимо добавления дополнительных карт к имеющимся счетам в различных банках, приложение также позволяет выпустить полностью виртуальную предоплаченную карту для покупок в магазинах. Ее можно пополнять без комиссии переводами с других банковских карт, а также через терминалы или салоны сотовой связи. Базовый лимит такой карты составляет 15000 рублей на одну покупку и 40000 на месячный оборот, но его можно увеличить, предоставив свои паспортные данные через приложение без посещения банка. Для оплаты достаточно открыть "Кошелёк", выбрать карту и ввести ее PIN-код, после чего просто коснуться смартфоном терминала с поддержкой PayPass.
  - Умный дом: Современные сотовые телефоны обычно совместимы с умными устройствами для дома, такими как умные термостаты, умные замки и умные освещение. Это позволяет пользователям управлять своим домом через свои телефоны.
  - SIM-карта: это маленькая съемная карточка, которая используется в сотовых телефонах, смартфонах и других устройствах с поддержкой сотовой связи. SIM-карта содержит информацию о подписчике и его

учетной записи в сети оператора мобильной связи.

- SD-карта: это съемная карточка, используется для расширения физической памяти телефона.

Это лишь некоторые из возможностей, которые предоставляют современные смартфоны, их функциональность и удобство использования делают их одними из самых популярных устройств в мире.

### **Заключение**

Современные сотовые телефоны предоставляют пользователю широкий спектр возможностей, делая их незаменимой частью повседневной жизни. Они позволяют нам не только связываться друг с другом, но и управлять различными аспектами нашей жизни, начиная от развлечений и работы, заканчивая управлением домашними устройствами и совершением покупок. С каждым годом эти возможности только расширяются, делая сотовые телефоны еще более важными для современного общества.

### **Литература**

1. Возможности современных смартфонов [Электронный ресурс] / Возможности современных смартфонов – Режим доступа: [https://metallichekiportal.ru/articles/elektronika/mobil/vozmojnosti\\_sovremennix\\_smartfonov](https://metallichekiportal.ru/articles/elektronika/mobil/vozmojnosti_sovremennix_smartfonov). – Дата доступа: 17.09.2023.
2. Возможности современных смартфонов [Электронный ресурс] / Возможности современных смартфонов. – Режим доступа:
3. Самые востребованные функции и возможности смартфонов [Электронный ресурс] / <https://hs-store.ru/articles/interesnoe/samyevostrebovannye-funktsii-i-vozmozhnosti-smartfonov/>. – Дата доступа: 17.09.2023.

УДК 681.84

**ЭФФЕКТ ХОРУСА  
CHORUS EFFECT**

Н.В. Лагун, Е.В. Дрозд

Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

N. Lagun, E. Drozd

Supervisor – G. Mikhaltsevich, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** В данной работе рассматривается история и эволюция эффекта хоруса, принципы его работы и применение. От его создания и первого применения и до его применения в разных отраслях, например, таких как музыка. В целом, данная работа предоставляет собой обзор эволюции и применения эффекта хоруса, позволяющая узнать и понять принцип работы.

**Abstract:** This work solution covers the history and evolution of the chorus effect, the principles of its operation and application. From its creation and first application to its application in different branches of music, such as such. Overall, the quick work provides an overview of the evolution and influence of people to learn and understand how things work.

**Ключевые слова:** хорус, музыка, педаль, звук.

**Keywords:** chorus, music, pedal, sound.

**Введение**

Эффект хоруса является одним из наиболее популярных аудиоэффектов, используемых в музыке и аудиоинженерии. Звуковой эффект или соответствующее устройство имитирует хоровое звучание музыкальных инструментов.

**Основная часть**

Эффект реализуется путём добавления к исходному сигналу его собственной копии или копий, сдвинутых по времени на величины порядка 20-30 миллисекунд, причём время сдвига непрерывно изменяется. Он позволяет создать более широкое и объемное звучание, добавить ширину пространства и глубину к звуковой дорожке. В данных тезисах мы рассмотрим основные принципы работы этого эффекта, его параметры и возможности применения в музыке.

Принцип работы.

Сначала входной сигнал разделяется на два независимых сигнала. Один, сигнал остаётся без изменений, в тоже время, как другой поступает на линию задержки. В линии задержки осуществляется задержка сигнала на 20-30 миллисекунд, причём время задержки изменяется в соответствии с сигналом генератора низкой частоты. На выходе задержанный сигнал смешивается с исходным сигналом. Генератор низкой частоты осуществляет модуляцию времени задержки сигнала. Он вырабатывает колебания определённой формы с частотой до 3 Гц. Изменяя частоту, форму и амплитуду



колебаний низкочастотного генератора, можно получать различный выходной сигнал.

**История.**

Эффект хоруса стал популярен ближе к 70-м годам, но начал применяться в 30-х годах, когда музыканты специально расстраивали инструменты для достижения более экспансивного звука и изменения высоты тона. В 1975 году появился усилитель Roland Jazz Chorus Amplifier, а через год появилась первая педаль хоруса, которая произвела революцию в рок музыке. В последующие годы этот эффект использовался в каждой отдельной пластинке, выпущенной всеми крупными и второстепенными группами. Один из самых известных примеров использования эффекта хоруса можно найти в песне «Come As You Are» группы Nirvana. В этой песне эффект хоруса применяется к гитаре, что создает звучание, напоминающее звучание нескольких музыкальных инструментов.

**Применение.**

Эффект хоруса основан на идее добавления к исходному звуку нескольких копий этого звука с небольшими изменениями в тональности и задержкой. Затем эти копии смешиваются со звуком исходной дорожки, создавая эффект расширения звукового пространства и глубины. Таким образом, эффект хоруса имитирует звучание хора или оркестра. Так как в хоре голоса, как правило, отличаются тембром и тональностью. Результирующий звук, взятый вместе, полнее создает объемнее звучание, чем, если бы пел только один голос. Для создания эффекта хоруса используется различная обработка сигнала. Скорость модуляции определяет, насколько быстро меняется тональность копий звука. Глубина модуляции определяет, насколько сильно меняется тональность. Задержка определяет время задержки между исходным звуком и его копиями. Тон определяет изменение тональности копий звука. Этот эффект добавляет глубину и объемность к звучанию гитары, делая ее более насыщенной и интересной для слушателя. Эффект хоруса может быть использован для различных целей в музыке. Он может быть использован для создания эффекта широты и объемности звучания, что особенно полезно при записи гитары или вокала. Он также может быть использован для создания эффекта движения звука, когда звук перемещается из одной стороны на другую, так называемый объемный звук. Эффект хоруса широко используется в различных жанрах музыки, включая рок, поп, электронную музыку и даже классическую музыку. Ни один диджей не сможет обойтись без хоруса. Многие известные артисты и звукорежиссеры используют этот эффект для создания уникального звучания своих мелодий. Например, эффект хоруса часто используется в музыке The Beatles, Pink Floyd и Radiohead. Одним из ключевых элементов эффекта хоруса является его способность добавить пространственность и глубину к звуку. Это позволяет создать эффект присутствия, который делает звук более реалистичным и привлекательным для слушателя. Кроме того, эффект хоруса может быть использован для создания эффекта движения звука, что добавляет динамизма и интереса в музыку.

**Заключение**

Эффект хора является мощным инструментом в аудиоинженерии и музыке. Он позволяет создавать более широкое и объемное звучание, добавлять ощущение расширения пространства и глубину к звуку. Этот эффект широко используется в различных жанрах музыки и является одним из ключевых элементов в создании уникального звучания. Эффект хора имеет множество способов применения и является неотъемлемой частью современной музыкальной индустрии.

### Литература

1. Что такое хорус (chorus) // [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://wikisound.org/%D0%A7%D1%82%D0%BE\\_%D1%82%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%B5\\_%D1%85%D0%BE%D1%80%D1%83%D1%81\\_\(chorus\)](http://wikisound.org/%D0%A7%D1%82%D0%BE_%D1%82%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D1%85%D0%BE%D1%80%D1%83%D1%81_(chorus)) – Дата доступа: 20.10.2023.
2. Эффект хора: подробное руководство по популярному эффекту 80-х // [Электронный ресурс]. [http:// neaera.com.ru/хор/](http://neera.com.ru/хор/) – Дата доступа: 20.10.2023.

УДК 621.375.026

УСИЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ НА ТРАНЗИСТОРАХ  
И ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМАХ  
POWER AMPLIFIERS ON TRANSISTORS AND INTEGRATED CIRCUITS

П.С. Радиминович, В.А. Блоцкий, А.В. Гончарова  
Научный руководитель – Г.А. Михальцевич, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический Университет, г. Минск  
P. Radiminovich, V. Blotski, A. Goncharova  
Supervisor – G. Mikhaltsevich, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** В данной статье рассматриваются усилители мощности на транзисторах и интегральных микросхемах. Описываются принципы работы таких устройств, их основные характеристики и применение в различных областях электроники. Рассматриваются типы усилителей мощности, такие как класс А, В, АВ, D, G, H, а также их особенности и достоинства. Описывается процесс выбора усилителя мощности в зависимости от требуемой мощности и нагрузки. В статье также рассматриваются основные параметры усилителей мощности, такие как коэффициент усиления, выходная мощность, КПД и др. В заключение описываются современные технологии производства интегральных микросхем для усилителей мощности и их перспективы в будущем.*

***Abstract:** This article discusses power amplifiers based on transistors and integrated circuits. The principles of operation of such devices, their main characteristics and applications in various fields of electronics are described. The types of power amplifiers, such as class A, B, AB, D, G, H, as well as their features and advantages are considered. The process of selecting a power amplifier depending on the required power and load is described. The article also discusses the main parameters of power amplifiers, such as gain, output power, efficiency, etc. In conclusion, modern technologies for the production of integrated circuits for power amplifiers and their prospects in the future are described.*

***Ключевые слова:** принципы работы, классы усилителей мощности, характеристики, применение, выбор усилителя мощности, параметры усилителей мощности, технологии производства, перспективы.*

***Key words:** principles of operation, classes of power amplifiers, characteristics, application, choice of power amplifier, parameters of power amplifiers, production technologies, prospects.*

## **Введение**

Усилители мощности представляют собой критически важные компоненты, которые находят свое применение в широком спектре электронных устройств. Основная цель этих устройств заключается в увеличении мощности электрического сигнала. С течением времени и с развитием технологии интегральных микросхем, усилители мощности стали более компактными,

надежными и эффективными, что значительно расширило их область применения.

**Основная часть**

В начале работы речь пойдет о принципе работы усилителей мощности на транзисторах и интегральных микросхемах. Основным элементом усилителя мощности является транзистор, который может быть биполярным или полевым. Управление транзистором осуществляется с помощью входного сигнала, который может быть постоянным или переменным. При поступлении входного сигнала на управляющий электрод транзистора, происходит изменение его проводимости и, следовательно, изменение тока, протекающего через него. Это приводит к усилению входного сигнала и формированию выходного сигнала с необходимым уровнем мощности. Управление транзистором может осуществляться как аналоговым, так и цифровым способом. В случае аналогового управления, входной сигнал является непрерывным и изменяется в зависимости от входного сигнала. В случае цифрового управления, входной сигнал имеет дискретные значения и изменяется только при поступлении новой команды.

После принципа работы усилителя мощности следует узнать о их разновидностях. Существует несколько классов усилителей мощности на транзисторах и интегральных микросхемах:

- Класс А – в этом классе транзистор находится включенным всегда, даже при отсутствии входного сигнала. Это позволяет получить высокое качество звука, но низкую эффективность и большое количество выделяемого тепла.

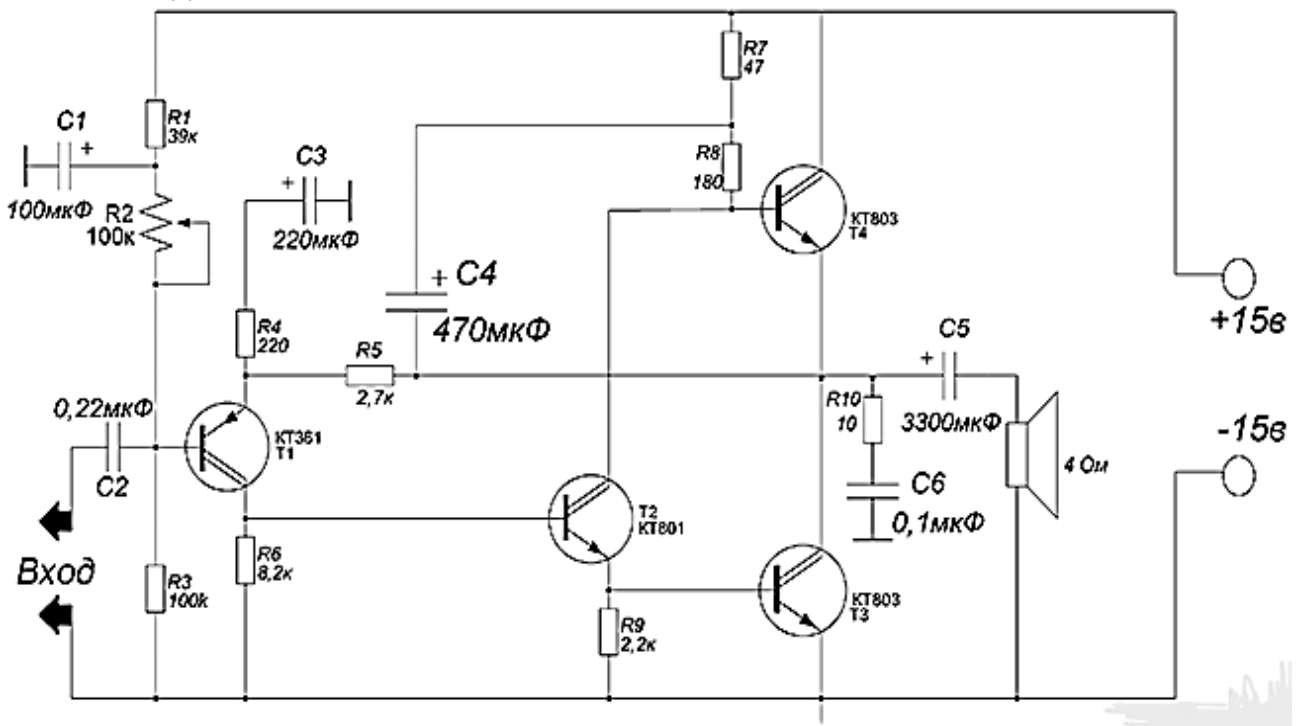


Рисунок 1 – Усилитель мощности класса А

- Класс В – в этом классе транзисторы работают поочередно, что позволяет уменьшить потребляемую мощность и выделяемое тепло, но может привести к искажениям в выходном сигнале.

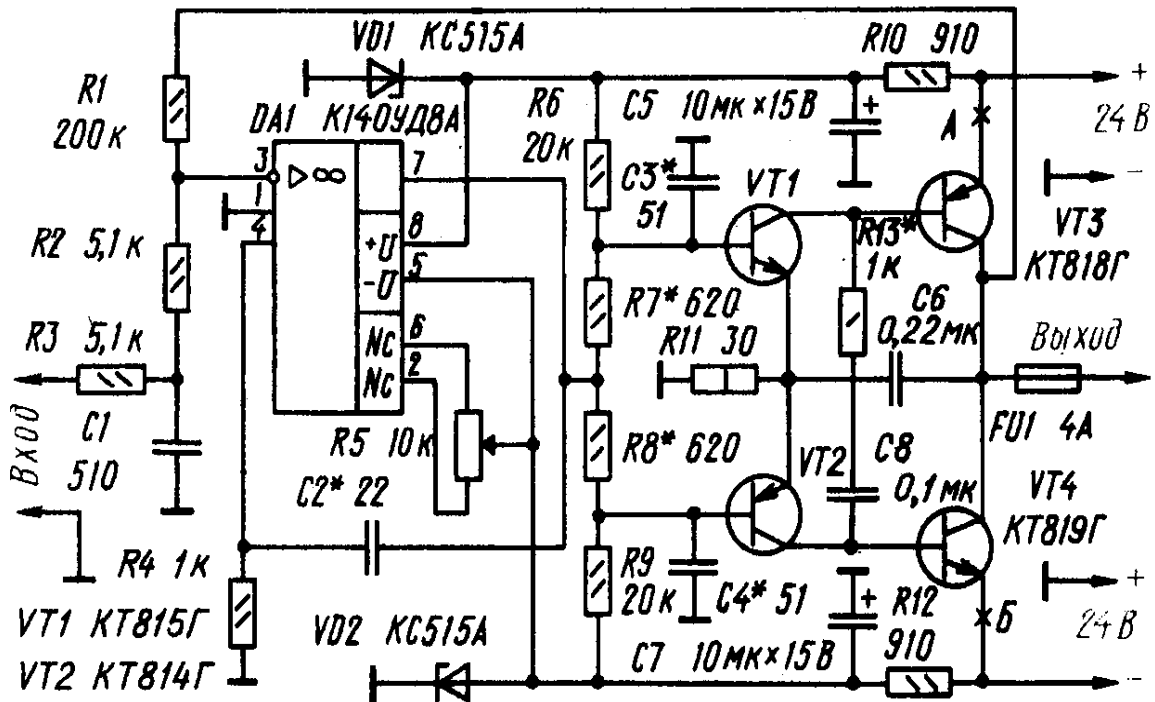


Рисунок 2 – Усилитель мощности класса В

- Класс АВ – это компромиссный вариант между классами А и В. В этом классе транзисторы работают почти всегда, но могут переключаться при больших амплитудах входного сигнала.

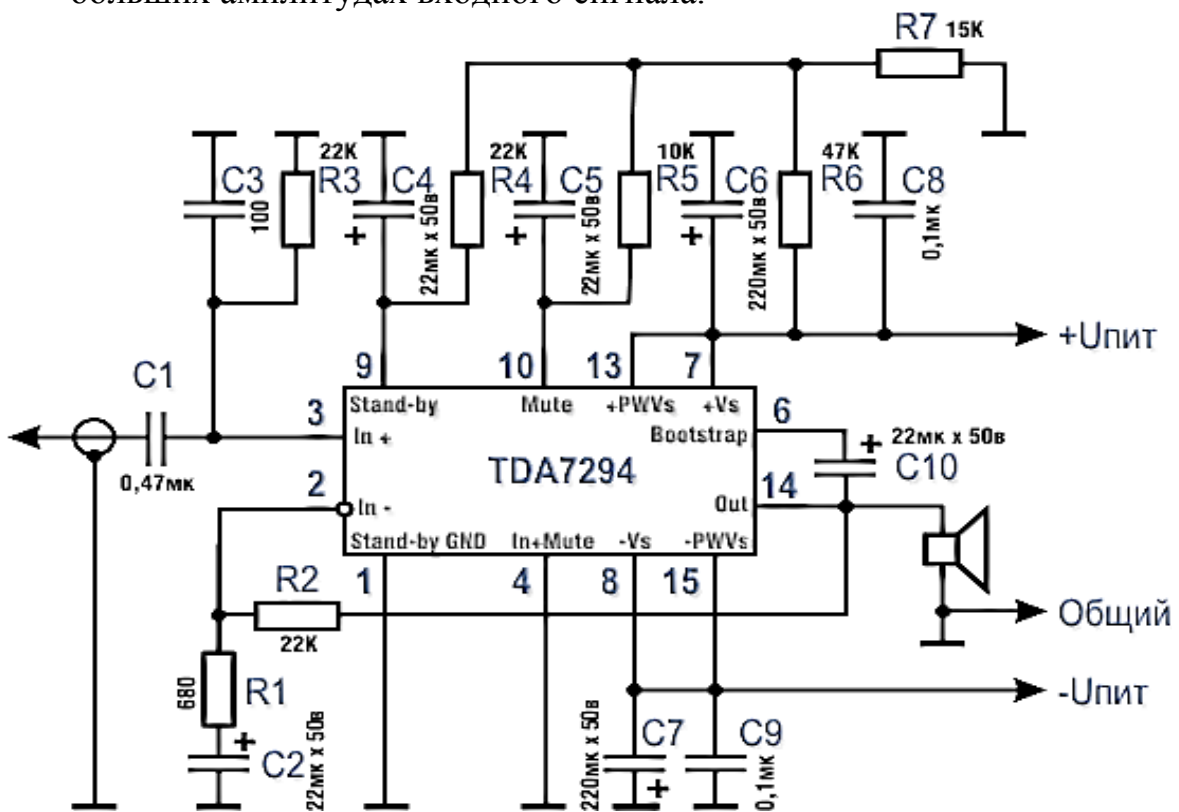


Рисунок 3 – Усилитель мощности класса АВ

- Класс D – в этом классе используется модуляция ширины импульсов, что позволяет получить высокую эффективность и низкое выделение тепла, но может привести к искажениям в выходном сигнале.
- Класс G – в этом классе используется переключение между двумя различными уровнями напряжения питания, что позволяет получить высокую эффективность и низкое выделение тепла, но может привести к искажениям в выходном сигнале.
- Класс H – это модификация класса G, в которой используется несколько уровней напряжения питания, что позволяет получить более точный выходной сигнал.

Кроме класса управления транзистором, усилители мощности на интегральных микросхемах могут иметь различные характеристики выходного сигнала:

- Мощность – это максимальная мощность, которую может выдавать усилитель. Она измеряется в ваттах.
- Коэффициент усиления – это отношение выходного сигнала к входному. Он измеряется в децибелах.
- сопротивление нагрузки – это сопротивление, на которое подключается выход усилителя. Оно должно соответствовать сопротивлению нагрузки источника сигнала.
- Частотный диапазон – это диапазон частот, на которых усилитель может работать без искажений. Он измеряется в герцах.
- Коэффициент гармонических искажений – это отношение суммарной мощности искажений к мощности выходного сигнала. Он измеряется в процентах.
- Демпфирующий фактор – это отношение сопротивления нагрузки к внутреннему сопротивлению усилителя. Чем выше демпфирующий фактор, тем лучше контроль над колонками и меньше искажений в звуке.

Применение усилителей мощности широко используются в аудио системах, таких как домашние кинотеатры, автомобильные аудио системы и профессиональные звуковые установки. Они также могут использоваться в промышленных приложениях, таких как системы контроля и автоматизации, световые инсталляции и другие.

При выборе усилителя мощности на интегральных микросхемах следует учитывать следующие факторы:

- Мощность: выберите усилитель мощности, который обеспечивает достаточную мощность для вашей акустической системы. Убедитесь, что усилитель имеет достаточную мощность для обеспечения качественного звука при разных уровнях громкости.
- Количество каналов: убедитесь, что усилитель имеет нужное количество каналов для вашей системы. Некоторые системы требуют одноканальный усилитель, а другие – многоканальный.
- Импеданс: проверьте, соответствует ли импеданс усилителя и акустической системы. Несовпадение может привести к искажению



звука и повреждению оборудования.

- Качество звука: выберите усилитель мощности, который обеспечивает высокое качество звука. Проверьте отзывы и рейтинги устройства перед покупкой.
- Дополнительные функции: некоторые усилители мощности имеют дополнительные функции, такие как встроенный процессор эффектов, возможность подключения к сети интернет и другие. Решите, какие функции вам нужны, и выберите усилитель, который их имеет.

Дополнительно к указанным выше факторам, при выборе усилителя мощности на интегральных микросхемах следует обратить внимание на следующие параметры:

- Частотный диапазон: убедитесь, что частотный диапазон усилителя соответствует частотному диапазону вашей акустической системы. Это позволит получить более чистый и точный звук.
- Коэффициент усиления: выберите усилитель мощности с оптимальным коэффициентом усиления, который обеспечивает достаточную громкость звука без искажений.
- Соотношение сигнал/шум: убедитесь, что усилитель имеет высокое соотношение сигнал/шум, что позволит получить более чистый звук.
- Искажения: проверьте уровень искажений усилителя мощности. Чем меньше искажений, тем более точный и чистый звук вы получите.
- Входные и выходные разъемы: убедитесь, что усилитель имеет нужные входные и выходные разъемы для вашей акустической системы и других устройств, которые вы планируете подключать к усилителю.
- Размеры и вес: учтите размеры и вес усилителя, чтобы он соответствовал вашим потребностям и возможностям монтажа.

Технологии производства усилителей мощности на интегральных микросхемах включают несколько этапов. Первым этапом является проектирование схемы усилителя мощности. Здесь важно определить требования к усилителю, выбрать подходящую топологию и компоненты. После проектирования следует этап разработки макета. В этом процессе создается физическая модель усилителя на основе заданной схемы. Здесь важно правильно разместить компоненты и проводники на микросхеме. Затем происходит изготовление микросхемы. Этот процесс включает в себя нанесение слоев диэлектрика, металла и полупроводниковых материалов на подложку. Затем проводятся процессы фотолитографии, электрохимического осаждения и эц. После изготовления микросхемы проводится ее тестирование и испытание. Это позволяет оценить качество и работоспособность усилителя мощности. В конечном итоге, после успешного прохождения всех этапов, производятся серийные производства усилителей мощности на интегральных микросхемах.

Перспективы усилителей мощности на интегральных микросхемах связаны с постоянным развитием технологий производства и улучшением качества звука. Одной из главных тенденций является увеличение эффективности и уменьшение размеров устройств, что позволяет создавать компактные и мощные усилители

для различных целей. Также важным направлением является разработка усилителей с поддержкой новых форматов аудио, таких как высококачественное звучание Hi-Res Audio или многоканальное звучание для домашнего кинотеатра. В целом, усилители мощности на интегральных микросхемах остаются востребованными в сфере аудио, благодаря своей компактности, эффективности и высокому качеству звука.

### **Заключение**

Усилители мощности на интегральных микросхемах имеют большой потенциал для развития в будущем. Новые технологии производства и улучшение качества звука позволяют создавать компактные и мощные устройства с поддержкой новых форматов аудио. В целом, усилители мощности на интегральных микросхемах остаются важным элементом в сфере аудио и будут продолжать развиваться в будущем. Они позволят создавать более эффективные и надежные устройства, которые найдут широкое применение в различных областях, включая энергетику, телекоммуникации и автомобильную промышленность.

### **Литература**

1. Wikipedia [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.wikipedia.org/>. – Дата доступа: 28.09.2023.
2. Studfile [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://studfile.net/>. – Дата доступа: 28.09.2023.
3. Idsound [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://idsound.info/>. – Дата доступа: 28.09.2023.
4. Radiostorage [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://radiostorage.net/>. – Дата доступа: 28.09.2023.
5. Schem [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://schem.net/>. – Дата доступа: 28.09.2023.
6. Яночкин, М.Н. Усилители мощности низкой частоты в режиме работы классов D и T / М.Н. Яночкин // Актуальные проблемы энергетики: материалы 63-й научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов (апрель 2007 года) / редкол.: С.М. Силюк [и др.]. – Минск: БНТУ, 2008. – С. 325-329.
7. Колоша, И.С. Ультранийный звуковой усилитель низкой частоты большой мощности на высокочастотных транзисторах и микросхемах / И.С. Колоша // Актуальные проблемы энергетики: материалы 69-й научно-технической конференции студентов и аспирантов / Белорусский национальный технический университет, Энергетический факультет. Секция 6: Электротехника и электроника. – Минск: БНТУ, 2014. – С. 292-295.

## СЕКЦИЯ ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

### ПЕРЕЧЕНЬ ДОКЛАДОВ

#### **АККУМУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

К.А. Мельник, Д.О. Маер, М.Д. Сытая  
Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель

#### **АКТУАЛЬНАЯ ПРОБЛЕМА УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ В 2023 ГОДУ**

В.П. Дисько  
Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент

#### **АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ**

Д.А. Панкратов, А.О. Боровикова  
Научный руководитель – В.А. Романко, ст. преподаватель

#### **АТОМНЫЕ СТАНЦИИ ТРЕХЦЕЛЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

А.О. Боровикова  
Научный руководитель – Л.А. Тарасевич, к.э.н., доцент

#### **БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ПРИ ПОМОЩИ БИОФИЛЬТРОВ**

В.И. Хамицкая, А.Н. Медведева  
Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель

#### **ВЛИЯНИЕ МАЗУТА НА ЭКОЛОГИЮ И ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА**

В.А. Новикова, А.И. Снапкива  
Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, старший преподаватель

#### **ВОДООЧИСТКА НА ТЭЦ**

Т.Ю. Пожарицкий, С.Д. Крутиков  
Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель

#### **ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭНЕРГЕТИКИ НА КЛИМАТ ЗЕМЛИ**

К.А. Мельник, Д.О. Маер, М.Д. Сытая  
Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент

#### **ДИАГНОСТИКА ТЕПЛОВОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПАРОВЫХ ТУРБИН**

А.О. Боровикова, Д.А. Панкратов  
Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель

#### **ДИСКРЕТНО-ФАЗОВЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ВИБРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ЛОПАТОК ПАРОВЫХ ТУРБИН**

Д.А. Степанов  
Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель

**ИННОВАЦИИ В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ**

Ю.С. Ровская, С.А. Лучина

Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент

**ИНСПЕКЦИИ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БОРОСКОПА**

Н.Д. Рудаков, И.Г. Черенкевич

Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ**

А.С. Караневская

Научный руководитель – Н.Б. Карницкий, д.т.н., профессор

**ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РЕАКТОР НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЯДЕРНОГО УНИВЕРСИТЕТА «МИФИ»**

Е.А. Грищенко, М.Ю. Нагорнюк

Научный руководитель – А.Д. Мухин, старший преподаватель

**КОНСТРУКТИВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ ДЕТАЛЕЙ ТЯГОДУТЬЕВЫХ МАШИН ОТ ИЗНОСА**

Д.А. Степанов

Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, старший преподаватель

**КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛА ПАРОГЕНЕРАТОРОВ И МЕТОДЫ ЕЕ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ**

В.А. Новикова, А.И. Снапкова

Научный руководитель – Н.В. Левшин, к.т.н., доцент

**МАЗУТНОЕ ХОЗЯЙСТВО. МАЗУТНЫЕ НАСОСЫ**

Н.Д. Самсонов

Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, старший преподаватель

**МАСЛООХЛАДИТЕЛИ В СИСТЕМЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ, СМАЗКИ И НАЛАДКИ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Е.М. Стельмак, В.Р. Бежелев

Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, старший преподаватель

**МОНИТОРИНГ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

А.А. Кожух, М.Ю. Нагорнюк

Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент

**НАЗНАЧЕНИЕ И УСТРОЙСТВО ФИЛЬТРА СМЕШАННОГО ДЕЙСТВИЯ (ФСД)**

А.О. Барбутько, М.В. Кульнис

Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель

**НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ И РИСКИ НА ГЛОБАЛЬНОМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ РЫНКЕ В 2023 ГОДУ**

В.А. Андриевич, А.С. Печеньков, В.А. Москальчук

Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ**

Н.А. Петруша

Научный руководитель – Л.А. Тарасевич, к.т.н., доцент

**ПАРОГЕНЕРАТОРЫ. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ**

Е.М. Стельмак

Научный руководитель – Н.В. Левшин, к.т.н., доцент

**ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛИ**

В.В. Бакалова, Н.Д. Самсонов

Научный руководитель – Н.В. Левшин, к.т.н., доцент

**ПОДГОТОВКА УГОЛЬНОГО ТОПЛИВА К СЖИГАНИЮ**

В.В. Бакалова

Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, старший преподаватель

**ПРИМЕНЕНИЕ ПИ-ТРУБ В ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ**

В.И. Хамицкая

Научный руководитель – Л.А. Тарасевич, к.т.н., доцент

**ПРОБЛЕМА ХРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

В.В. Уласевич, Г.Б. Парамонов

Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент

**ПРОГРАММА ДЛЯ БЫСТРОГО РАСЧЕТА ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ПРЯМЫХ ТРУБ И КОЛЕН С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ПАРКОВОГО РЕСУРСА**

З.В. Ковганов, А.Н. Медведева

Научные руководители – В.А. Романко, старший преподаватель, А.Г. Герасимова, к.т.н., доцент

**СИСТЕМЫ АККУМУЛЯЦИИ ТЕПЛА В ЭНЕРГЕТИКЕ БЕЛАРУСИ**

А.А. Кожух, М.Ю. Нагорнюк

Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент

**ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОКОТЛОВ МИНСКОЙ ТЭЦ-4**

И.В. Шпомер, Т.Ю. Пожарицкий, С.Д. Крутиков

Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ПРОДУВКИ ПАРОГЕНЕРАТОРА, ДОЖИГАНИЯ ВОДОРОДА И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Д.А. Исенгалиев, Е.С. Арашкевич

Научный руководитель – И.А. Евсеенко, ассистент

**ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА СЕТЕВЫХ НАСОСОВ**

А.В. Дедюля, И.В. Шпомер

Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент

**ТИПЫ И ВИДЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ТЭС И МЕТОДЫ БОРЬБЫ С НИМИ**

С.Д. Крутиков, Т.Ю. Пожарицкий

Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель

**ЦИКЛ ZESOMIX КАК АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ПРИНЦИП РАБОТЫ УГОЛЬНОЙ ТЭС**

А.И. Сироткин

Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ГРАДИРЕН ГРОДНЕНСКОЙ ТЭЦ-2**

А.П. Далевская, А.А. Пиртань, М.Д. Юрченко

Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент



УДК 621.315

**АККУМУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ  
THERMAL AND ELECTRIC ENERGY ACCUMULATION**

К.А. Мельник, Д.О. Маер, М.Д. Сытая  
Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
K. Melnik, D. Maer, M. Sytaya  
Supervisor – V. Romanco, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** в статье рассмотрены принципы, способы и варианты применения технологии и способы аккумулирования тепловой и электрической энергии.

**Abstract:** The article discusses the principles, methods and options for using technology and methods for accumulating thermal and electrical energy.

**Ключевые слова:** аккумулирование, энергия, аккумуляторы, тепловые насосы, суперконденсаторы, гидроаккумуляторы.

**Keywords:** storage, energy, batteries, heat pumps, supercapacitors, hydraulic accumulators.

**Введение**

Аккумулирование энергии – это важнейший аспект современных энергетических систем, который становится все более актуальным в свете нарастающих вызовов, связанных с устойчивостью и эффективностью энергоснабжения. В мире, где потребление энергии постоянно растет, а необходимость в переходе к более чистым источникам становится неотъемлемой, аккумулирование как тепловой, так и электрической энергии играет важнейшую роль в обеспечении надежности и экологической устойчивости энергетических систем.

**Основная часть**

Аккумулирование тепловой энергии:

Тепловая энергия может быть накоплена и сохранена для будущего использования через различные технологии и системы. Одним из наиболее распространенных способов аккумулирования тепловой энергии является использование тепловых аккумуляторов, которые могут хранить тепло в виде теплоносителя (например, воды, масла или солей) и освободить его по запросу для поддержания тепла в зданиях, производственных процессах и других приложениях. Такие системы позволяют эффективно управлять энергопотреблением и снижать затраты на отопление.

Аккумулирование тепловой энергии может быть выполнено различными способами:

Тепловые аккумуляторы: эти устройства используют материалы с высокой теплоемкостью, такие как соли или солевые растворы, для хранения тепла и его последующего освобождения. Тепловые аккумуляторы могут использоваться для поддержания комфортной температуры в зданиях или для промышленных процессов [1].

Один из примеров реальных тепловых аккумуляторов – это массовое использование солевых аккумуляторов для аккумуляции тепла в солнечных энергетических системах. Эти устройства используют соли, такие как галит и калийнитрат, для хранения тепла и его последующей передачи в системы отопления или горячего водоснабжения. Вот как это работает:

**Поглощение тепла:** в солнечных коллекторах, установленных на крыше здания или в специально оборудованных полях, собирается солнечная энергия. Эта энергия используется для нагрева солей в тепловом резервуаре.

**Хранение тепла:** после того как соли нагреются до высокой температуры, они хранят тепло в изолированном резервуаре. Изоляция помогает предотвратить потерю тепла и сохранить его до тех пор, пока не потребуется дополнительное отопление или горячая вода.

**Высвобождение тепла:** когда требуется дополнительное тепло (например, вечером или ночью, когда солнечная активность низкая), тепловой аккумулятор может освобождать тепло из солей в систему отопления или горячего водоснабжения. Это позволяет использовать солнечную энергию даже тогда, когда солнце не светит.

Такие тепловые аккумуляторы широко применяются в солнечных теплоснабжающих системах для домов, предприятий и индустрии. Они помогают снизить энергозатраты на отопление и горячее водоснабжение, а также способствуют уменьшению зависимости от ископаемых топлив и снижению выбросов парниковых газов [2].

**Тепловые насосы:** тепловые насосы могут извлекать тепло из окружающей среды или из низкотемпературных источников и повышать его температуру для использования в системах отопления или горячего водоснабжения [1].

Концепция работы теплового насоса основана на принципе переноса тепла из одной среды в другую с использованием механической работы. Давайте рассмотрим пример работы воздушного теплового насоса, который используется для обогрева помещений:

**Впуск тепла из окружающей среды:** воздушный тепловой насос начинает работать с впуска холодного воздуха из окружающей среды с помощью вентилятора. Этот воздух содержит некоторое количество тепла, даже если он кажется холодным.

**Сжатие и нагрев хладагента:** воздушный насос использует компрессор, чтобы сжать газообразный хладагент, который циркулирует в системе. Сжатие делает хладагент гораздо горячее, чем окружающий воздух.

**Отдача тепла внутри помещения:** сжатый и нагретый хладагент проходит через конденсатор, который находится внутри помещения. Здесь хладагент отдаёт свое тепло воздуху, который затем циркулирует по обогреваемым помещениям, повышая температуру внутри.

**Расширение и охлаждение хладагента:** после передачи тепла хладагент расширяется в клапане и становится намного холоднее. Это подготавливает его к циклу, чтобы вновь впитать тепло из окружающей среды.

Вывод холодного воздуха: оставшийся холодный хладагент циркулирует через испаритель, где он принимает тепло из воздуха, возвращаясь в начальное состояние и готовый для нового цикла.

Таким образом, тепловой насос преобразует холодный воздух из окружающей среды в теплый воздух для отопления помещений. Его работа основывается на принципе термодинамического цикла и позволяет достичь высокой эффективности при обогреве, потребляя гораздо меньше электроэнергии, чем традиционные электрические обогреватели. Тепловые насосы широко применяются для отопления жилых домов, коммерческих зданий и даже для обогрева воды.

Аккумуляция электрической энергии:

Электрическая энергия также может быть аккумулярована для последующего использования. Этот процесс известен как электроаккумуляция или электрическое хранение энергии. Существует несколько технологий для аккумуляции электрической энергии, включая батарейные системы, суперконденсаторы, гидроаккумуляторы и другие. Эти устройства могут хранить избыточную электроэнергию, полученную из возобновляемых источников, таких как солнечные панели и ветрогенераторы, и отпускать ее, когда это необходимо, для питания электроустройств и сетей [1].

Вот некоторые из наиболее распространенных методов аккумуляции электрической энергии [3]:

- Батарейные системы: Батареи, такие как литий-ионные или ванадиевые батареи, могут хранить электроэнергию и освободить ее по мере необходимости. Они широко используются в мобильных устройствах и электромобилях, а также в домашних и промышленных системах хранения энергии.
- Суперконденсаторы: Эти устройства способны хранить электроэнергию в форме электростатической энергии и обеспечивают высокую производительность при быстрой зарядке и разрядке. Они находят применение в энергетических системах с высокой мощностью.
- Гидроаккумуляторы: Эта технология использует гидравлические системы для хранения и высвобождения электроэнергии. Она может быть особенно полезной для сезонного аккумуляции энергии.

Существует множество различных батарейных систем для аккумуляции электрической энергии, которые используются в разных приложениях. Вот несколько примеров [3]:

- Литий-ионные батареи (*Li-ion*): Эти батареи широко используются в мобильных устройствах, но также находят применение в электрических автомобилях и домашних системах хранения энергии. Например, Tesla Powerwall – это домашняя батарейная система, которая позволяет владельцам домов аккумуляровать электрическую энергию, полученную из солнечных панелей или из сети, для использования в периоды пикового спроса или при отключении электропитания.
- Ванадиевые красные окисные батареи (VRFB): Эти батареи основаны на использовании растворов ванадия и характеризуются высокой

производительностью и долгим сроком службы. Они часто используются для коммерческих и промышленных систем хранения энергии, а также для стабилизации сети и резервирования энергии.

- Суперконденсаторы: Суперконденсаторы обладают высокой производительностью при быстрой зарядке и разрядке, что делает их идеальными для высокоэффективных приложений, таких как рекуперация энергии в транспортных средствах. Они могут использоваться для аккумулялирования энергии при торможении автомобиля и затем освобождения этой энергии при ускорении.
- Литий-сернистые батареи (*Li-S*): Эти батареи находятся в стадии разработки, но обещают значительно увеличить плотность энергии и снизить стоимость батарейных систем. Они могут использоваться в электрических автомобилях и стационарных системах хранения энергии.
- Никель-кадмиевые батареи (*Ni-Cd*): Эти батареи имеют высокую стойкость к перезарядке и долгий срок службы. Они часто используются в авиации и железнодорожном транспорте для бортового электропитания.
- Это всего лишь несколько примеров разнообразных батарейных систем аккумулялирования электрической энергии, и рынок продолжает развиваться, внедряя новые технологии и улучшая существующие. Эти системы играют ключевую роль в энергосберегающих и возобновляемых энергетических системах, а также в сокращении выбросов парниковых газов.

В отличие от батарейных систем и суперконденсаторов, в устройстве аккумулялирования с помощью гидроаккумуляторов, заложена абсолютно другая концепция: когда существует избыток электроэнергии в сети (например, из-за высокой производительности ветряных генераторов или солнечных панелей), гидроаккумулятор поднимает весовой блок или плунжер, позволяя затратить лишнюю энергию на это механическое действие. Когда потребность в электроэнергии возрастает, весовой блок или плунжер опускаются в воду, что приводит к вращению электрогенератора и генерации электроэнергии.

Гидроаккумуляторы могут использоваться для хранения энергии из возобновляемых источников, резервирования энергии во времена пикового спроса и обеспечения стабильности электроснабжения. Они являются одной из форм энергетического хранения, которая помогает балансировать электросети и повышать их надежность [1].

Рассмотрим некоторые причины развития и использования современных методов аккумулялирования тепловой и электрической энергии [4]:

- Увеличение энергетической эффективности: Аккумулялирование энергии позволяет более эффективно использовать энергетические ресурсы. Это особенно важно в условиях повышающегося спроса на энергию и ограниченных запасов топлива.
- Интеграция возобновляемых источников энергии: Энергия от солнечных батарей и ветряных турбин может быть непостоянной. Аккумулялирование энергии позволяет сохранять электроэнергию, полученную из

- возобновляемых источников, для использования во времена отсутствия солнечной или ветряной активности.
- Снижение зависимости от ископаемых топлив: Аккумулирование энергии способствует снижению зависимости от ископаемых топлив, что важно для сокращения выбросов парниковых газов и борьбы с изменением климата.
  - Повышение надежности энергосистем: Аккумулирование энергии может использоваться для резервирования электрических сетей и обеспечения энергетической надежности в случае аварий или отключений.
  - Экономические выгоды: Использование аккумулированной энергии может снизить расходы на электроэнергию и отопление, что экономически выгодно для потребителей.

### **Заключение**

В заключение, аккумулирование тепловой и электрической энергии представляет собой важную и актуальную технологию, которая играет ключевую роль в современных энергетических системах. Мы рассмотрели различные методы аккумулирования энергии, примеры устройств и их практическое применение.

В области аккумулирования тепловой энергии были представлены тепловые аккумуляторы и тепловые насосы, которые позволяют эффективно управлять энергопотреблением и использовать возобновляемые источники тепла.

В контексте аккумулирования электрической энергии были рассмотрены различные типы батарейных систем, включая литий-ионные батареи, ванадиевые красные окисные батареи, суперконденсаторы и другие. Эти системы используются для хранения избыточной электроэнергии из возобновляемых источников, резервирования энергии для пикового спроса и обеспечения стабильности электроснабжения.

Аккумулирование энергии имеет ряд важных преимуществ, включая увеличение энергетической эффективности, интеграцию возобновляемых источников, снижение зависимости от ископаемых топлив, повышение надежности энергосистем и экономические выгоды.

В целом, аккумулирование тепловой и электрической энергии играет критическую роль в обеспечении устойчивости, эффективности и экологической чистоты современных энергетических систем. С развитием технологий и увеличением осведомленности о необходимости устойчивости и сокращения выбросов парниковых газов, аккумулирование энергии продолжит развиваться и улучшаться, способствуя созданию более устойчивого и чистого энергетического будущего.

### Литература

1. Thermal energy storage: systems and applications / Ibrahim Dincer, Marc A. Rosen. – 2nd ed. p. cm. Rev. ed. of: Thermal energy storage system and applications / [edited by] Ibrahim Dincer, and Mark Rose. – С2002. – 621 p.
2. Тепловое аккумулирование энергии – 2-е изд., перераб. и доп. / Г. Бекман; Под ред. Г. Бекман, П. Гилли. – М.: Издательство «Мир», 1987. – 272с.
3. Преобразование, передача и аккумулирование энергии / Б. Соренсен. – М.: Издательство «Интеллект», 2011. – 296 с.
4. Аккумулирование энергии – технология, которая перевернет энергетику [Электронный ресурс] / Аккумулирование энергии – технология, которая перевернет энергетику. – Режим доступа: <https://www.tehnohacker.ru/tehnologii/akkumulirovanie-energii-tehnologiya-kotoraya-perevernet-energetiku/>. – Дата доступа: 01.10.2023.



УДК 621.311

**АКТУАЛЬНАЯ ПРОБЛЕМА УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ  
ПРОИЗВОДСТВА АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ В 2023 ГОДУ  
THE ACTUAL PROBLEM OF WASTE DISPOSAL OF NUCLEAR ENERGY  
PRODUCTION IN 2023**

В.П. Дисько

Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Dzisko

Supervisor – V. Kravchenko, Candidate of Economic Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** данная статья раскрывает актуальные проблемы утилизации отходов производства атомной энергии. В ней выдвигаются предложения по минимизации данной проблемы.*

***Abstract:** this article reveals current problems of recycling waste from nuclear energy production. It puts forward proposals to minimize this problem.*

***Ключевые слова:** отходы, утилизация, энергетика, распад, электроэнергия.*

***Keywords:** waste, recycling, energy, decay, electricity.*

### **Введение**

Атомная энергетика стала одним из наиболее важных источников энергии в современном мире, обеспечивая электроэнергией миллионы домов и предоставляя необходимый импульс для развития технологических отраслей. Несмотря на её несомненные преимущества, включая высокий выход энергии и низкий выброс парниковых газов, ядерная энергетика также сталкивается с серьезной проблемой, которая требует немедленного внимания, – утилизацией ядерных отходов. Радиоактивные отходы представляют собой не только потенциальную угрозу для окружающей среды, но и вызывают опасения общества и политиков. В данной статье рассмотрим актуальную проблему утилизации радиоактивных отходов в атомной энергетике и поищем возможные пути решения этой проблемы.

### **Основная часть**

Подобно добыче и использованию всех источников энергии, таких как уголь и нефть, использование ядерной энергии также приводит к образованию отходов. Радиоактивные отходы – это материалы, образующиеся в результате процессов деления атомных ядер в реакторах. Они могут включать в себя различные радиоактивные элементы и соединения, их уровень радиоактивности может варьироваться в зависимости от типа реактора и процессов ядерного распада. Радиоактивные отходы при производстве атомной энергии классифицируются по агрегатному состоянию на жидкие, газообразные и твёрдые. А по активности для долгосрочной безопасности при захоронении на низкоактивные отходы (НАО), среднеактивные отходы (САО), очень низкоактивные отходы (ОНАО) и высокоактивные отходы (ВАО). Важно отметить, что неконтролируемое накопление и недостаточное управление радиоактивными отходами могут

вызвать серьезные экологические проблемы. На сегодняшний день существует много методов утилизации ядерных отходов (захоронение, витрификация, изоляция, цементирование, использование материалов типа СИНРОК, переработка и т.д.). Однако, большинство из них имеют свои ограничения и недостатки [1].

Один из наиболее распространенных методов – глубокое геологическое захоронение. Этот метод предъявляет высокие требования к геологической среде. Данный метод считается относительно безопасным, но он не решает проблему в перспективе. А также в изолированном объёме радиоактивные вещества сохраняют свои свойства и при нарушении защитного слоя могут вырываться в окружающую среду, убивая всё живое. Такие страны, как Швеция, Финляндия и Франция, в настоящее время используют методы глубокого подземного захоронения для хранения ядерных отходов в слоях горных пород или глины на глубине сотен метров под поверхностью. В настоящее время в Швейцарии имеется 83 000 кубических метров радиоактивных отходов, ожидающих захоронения. В сентябре 2022 года Швейцарское национальное сотрудничество по утилизации радиоактивных отходов (Nagra) предложило Nordrich Lagen на севере Швейцарии в качестве последнего места для глубокого геологического хранилища с целью захоронения отработанного ядерного топлива в глубокой геологической глине. Nordrich Lagen обладает лучшим геологическим барьерным эффектом и лучшей стабильностью горных пород. Ожидается, что строительство хранилища начнется в 2045 году и будет заполнено ядерными отходами примерно в 2050 году.

Другой метод – переработка, которая позволяет извлекать полезные материалы из отработанного топлива. Этот инновационный метод позволяет повторно использовать плутоний и уран, а также свести к минимуму объем и сброс радиоактивных отходов. Благодаря этому методу можно продлить срок службы ядерного топлива. Например, ядерное топливо которого хватало на один год, теперь можно использовать в течении трёх лет. Этот метод является испытанием передовых технологических возможностей стран. Занимается Россия (Завод РТ-1 ФГУП ПО «Маяк»), Франция (Заводы UP1, UP2, UP3), а также США, Великобритания и Япония. Французы высокоактивные и среднеактивные отходы концентрируют, среднеактивные отходы они сливают в «Ла Манш». В России же выбран другой путь. Принято решение полностью исключить какой-либо слив радиоактивных отходов в окружающую среду. Для этого была поставлена задача разработать завод третьего поколения РТ-2 по упрощённому PUREX процессу [2]. США отказались от массовой переработки и большую часть отработанного ядерного топлива хранят в хранилищах.

Следующий Метод – высокотемпературного окисления. Этот метод предполагает прямое воздействие на радиоактивные отходы высокотемпературными окислителями, что позволяет окислителям расщеплять их на различные безвредные вещества. Поскольку радиоактивные элементы в ядерных отходах разложились, риска повторного выброса нет. Можно сказать, что по сравнению с предыдущими методами этот метод более безопасен. Однако, поскольку метод позволяет сжигать, вредные вещества, содержащиеся в

радиоактивных отходах, это означает, что он должен обладать высокими требованиями к оборудованию и требует много энергии, а также должен выполняться при соблюдении строгих норм. Эта технология вызывает беспокойство у населения многих стран, поскольку людей волнует проблема образовавшихся выбросов в атмосферу после сжигания [3].

Утилизация радиоактивных отходов сталкивается с географическими, экономическими и политическими проблемами, которые требуют от международного сообщества расширения исследований и сотрудничества в области утилизации радиоактивных отходов, чтобы совместно обеспечить эффективное и безопасное использование ядерной энергии. Важной проблемой также является долгосрочное хранение и обращение с отходами, так как многие радиоактивные элементы обладают длительным периодом полураспада. Это требует долгосрочного обеспечения безопасности и контроля над хранилищами. Также существует общественный страх и недовольство, связанные с ядерной энергетикой и её отходами, что может создать давление на политиков и компании в сфере ядерной энергетики.

### **Заключение**

Таким образом, утилизация ядерных отходов – актуальная и сложная проблема в современной ядерной энергетике. Решение этой проблемы требует комплексного и долгосрочного подхода. Во-первых, это сложный процесс, требующий всестороннего учёта множества факторов, таких как безопасность, защита окружающей среды, экономика и т.д. Во-вторых, постоянное совершенствование и внедрение инноваций в технологии переработки радиоактивных отходов требует больших инвестиций и человеческих ресурсов. Наконец, международное сотрудничество также является важной движущей силой развития технологий переработки радиоактивных отходов. Необходимо инвестировать в исследования и разработку новых методов утилизации и переработки радиоактивных отходов, улучшить системы хранения и контроля, а также работать над укреплением доверия общества к ядерной энергетике через образование и информирование. Решение этих проблем важно для обеспечения стабильного и устойчивого развития атомной энергетики и для минимизации её воздействия на окружающую среду и здоровье человека.

### **Литература**

1. Хранение отработавшего топлива до отправки на переработку или захоронение серия изданий МАГАТЭ по ядерной энергии, № nf-t-3.3.
2. Серия норм безопасности МАГАТЭ No. GSG-1 Safety Standards Series.
3. Переработка отработанного ядерного топлива [Электронный ресурс] / Ядерное топливо. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/588877/>. – Дата доступа 21.10.2023.

УДК 621.311

**АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ  
ANALYSIS OF ION EXCHANGE RESIN MANUFACTURERS**

Д.А. Панкратов, А.О. Боровикова

Научный руководитель – В.А. Романко, ст. преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

D. Pankratov, A. Borovikova

Supervisor – V. Romanko, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** в данной статье рассматривается рынок ионообменных смол и их характеристики.

**Annotation:** this article discusses the market for ion exchange resins and their characteristics.

**Ключевые слова:** ионообменная смола, катионит, эффективность.

**Key words:** ion exchange resin, cation exchanger, efficiency.

**Введение**

В современном мире есть множество способов очистки загрязнённой воды. Вода может становиться непригодной для использования из-за разных примесей и растворенных в ней веществ, поэтому люди придумали гениальные и очень интересные методы очистки воды. Лидирующие позиции среди них на сегодняшний день занимает метод ионного обмена.

**Основная часть**

Метод ионного обмена очистки воды позволяет избавиться воду от множества примесей, среди них такие соединения как *Ca*, *Mg*, *Fe*, *Mn* и *Na*. В больших концентрациях они могут наносить вред жизни человеку, а при промышленном использовании, то и оборудованию.



Рисунок 1 – Огромное количество накипи на внутренней поверхности трубы [1]

Рассмотрим принципы работы ионообменных смол и компании, которые их производят. Ионообменная смола представляет собой гранулированный материал, который засыпается в фильтр и способен на поверхности своих гранул сосредотачивать электрические заряды с отрицательным и положительным знаком. Согласно уравнению равновесия ионообмена, отрицательно заряженные точки уравниваются положительными ионами раствора воды. При прохождении через смолы соли кальция и магния задерживаются, а положительно заряженные ионы отсоединяются, тем самым снижая способность смолы забирать из воды растворенные вещества. Регенерация смол осуществляется путем перезарядки ионов с использованием регенерирующего раствора. Ионообменный процесс на анионите отличается только знаками зарядов ионов и химическими соединениями, которые используются для регенерации. В зависимости от заряда ионообменные материалы подразделяются на несколько типов: анионообменные, катионообменные, биполярные [1].

Каждый вид смол является уникальным. Рассмотрим, проанализируем и сравним ионообменные смолы разных производителей, как отечественных, так и зарубежных. Среди множества компаний по производству ионообменных смол, выделим ведущих производителей этой отрасли: ООО «СМОЛЫ», ЧТПУП «ХимВодоОчистка-Бел», Purolite (ПЬЮРОЛАЙТ), «Suzhou Wojie Resin Technology Co., Ltd».

Компания ООО «СМОЛЫ» [2] располагается в Российской Федерации в Московской области. Эта компания занимается производством ионообменных смол таких как: анионит АВ-17-8чС, катионит КУ-2-8чС, сульфоуголь, деионизирующая смола мв-115. На данный момент годовой оборот составляет более 10 тонн ионообменной смолы. Главный продукт этой компании является смола

КУ-2-8. КУ-2-8 – это тип ионообменных смол, который используется для смягчения, очистки и подготовки воды в промышленных и бытовых целях, а также для деминерализации и обессоливания воды, не предназначенной для питья. Кроме того, данный катионит используется в гидрометаллургии для селективного извлечения поливалентных металлов и регенерации отходов гальванической техники и обработки металлов. КУ-2-8 является ионообменным материалом, обладающим рядом преимуществ и достоинств: Безопасность для человека, не выделяет ядовитых испарений, не содержит токсичных, озоноразрушающих или радиоактивных компонентов. Данный катионит устойчив к действию щелочей. Обладает осмотической стабильностью и объемной емкостью. Имеет высокую кислотность. Катионит выпускается в виде зернистой массы, цвет смолы КУ-2-8, как правило, может варьироваться от светло-желтого до темно-коричневого.





Рисунок 2 – Упаковка катионита КУ-2-84С фирмы ООО «СМОЛЫ» [2]

Компания ЧТПУП «ХимВодоОчистка-Бел» [3], основанная в Республике Беларусь и располагается в городе Минск, специализируется на проектировании, изготовлении и монтаже систем водоподготовки и очистки воды для различных отраслей промышленности. Основные направления деятельности компании включают очистку воды для технологических процессов. ЧТПУП «ХимВодоОчистка-Бел» предлагает системы очистки воды для использования в различных промышленных процессах, а также очистка сточных вод. Предприятие разрабатывает и реализует проекты по обезжелезиванию воды из подземных источников, предотвращая образование коррозии и накипи в системах водоснабжения. Фирма производит смолу Purolux PRA40.

Purolux PRA40 – это высококачественный материал, на 100% изготовленный из полиэстера. Purolux PRA40 используется для производства различных видов текстиля, включая одежду, текстиль для дома и автомобильные ткани. Благодаря своим свойствам, этот материал идеально подходит для использования в условиях высокой влажности и при воздействии солнечных лучей. Одним из главных преимуществ Purolux PRA40 является его экологичность. Материал изготовлен из переработанных пластиковых бутылок, что позволяет снизить выбросы углекислого газа и уменьшить использование природных ресурсов. Так же известны рабочие характеристики этой смолы.

Таблица 1 – Рабочие характеристики Purolux PRA40 [4]

Диапазон pH	0-14
Максимальная рабочая температура, °C	ОН-≤60°C CI-≤180°C
Рабочая обменная ёмкость	25°C ≥ 450 мг/л (влажный)
Потребление регенерата	4% NaOH объем:объем смолы = 2-3:1
Время регенерации	30-60 минут
Время промывки	Прим.25
Рабочий поток	15-25 м/ч





**ХимВодоОчистка**

Системы водоподготовки

Рисунок 3 – Смолы фирмы ЧТПУП «ХимВодоОчистка-Бел» [3]

Компания Purolite ЛТД – крупнейший в мире производитель ионообменных смол [5], производит более 1000 различных коммерческих продуктов. Purolite располагается по всей Европе, Америке и Азии. Основные технологические продукты играют решающую роль в различных операциях, включая обработку питьевой и грунтовой воды, продуктов питания и напитков, атомной энергетики и гидрометаллургии. Они используются для смягчения и деминерализации воды, удаления радионуклидов и концентрации ценных элементов, таких как золото, серебро и уран. Purolite имеет один из самых узнаваемых продуктов – это смола под названием А-400, который является гелевой сильноосновной анионообменной смолой с высокой ионообменной емкостью. Он хорошо удаляет из воды кремниевую кислоту и другие слабые кислоты с минимальными затратами щелочи на регенерацию. А-400 отличается исключительно высокой механической прочностью, увеличивая срок его службы в сравнении с другими анионитами. Он устойчив к воздействию разбавленных кислот, щелочей и большинства растворителей. А-400 способен удалять анионы сильных и слабых кислот до очень низкой остаточной концентрации, и успешно используется в фильтрах со сплошной, двухслойной или смешанной загрузкой, обладая рядом преимуществ, включая эффективное удаление кремниевой и других слабых кислот, высокую ионообменную емкость и возможность использования в смешанных слоях.

Таблица 2 – Рабочие характеристики А-400 [6]

Минимальная скорость фильтрации, м/час	8
Назначение загрузки	Катионообменные смолы
Максимальная скорость фильтрации, м/час	42
Максимальная рабочая температура, °С	140
Максимальный размер гранул, мм	1.18
Минимальный размер гранул, мм	0.35
Объемная емкость, гр·экв/л	1.3



Рисунок 4 – Смолы фирмы Purolite [7]

Компания Suzhou Bojie Resin Technology Co., Ltd. является ведущим производителем и экспортером ионообменных смол и адсорбентов в Китае [8]. Компания Suzhou Bojie Resin обладает передовыми технологиями и опытом в разработке и производстве ионообменных смол, производит смолы для обработки конденсационной воды, ионообменных фильтров, изготовления лекарств и т.д. Смола D201 этой компании является одним из наиболее распространенных видов полимерных смол, используемых в производстве композитных материалов. Она обладает высокой прочностью, устойчивостью к воздействию различных химических веществ и атмосферных условий. Смола D201 производится из продуктов нефтехимии и имеет высокую степень полимеризации, что обеспечивает ее хорошие механические свойства и долговечность. Китайский производитель предлагает различные типы смолы D201, включая стандартные и специальные версии, которые могут быть адаптированы для конкретных применений.



Рисунок 5 – Смолы фирмы Suzhou Bojie Resin Technology Co., Ltd. [9]

Для того, чтобы определить какие смолы более экономичные, произведем сравнительный анализ цен за 500 кг смолы, стоимость указана в долларах США. В диаграмме ниже представлены проанализированные в работе смолы: А-400 фирмы Purolite, D201 фирмы Suzhou Bojie Resin Technology Co, КУ-2-8 фирмы ООО «СМОЛЫ», Purolux PRA40 фирмы «ХимВодоОчистка-Бел».

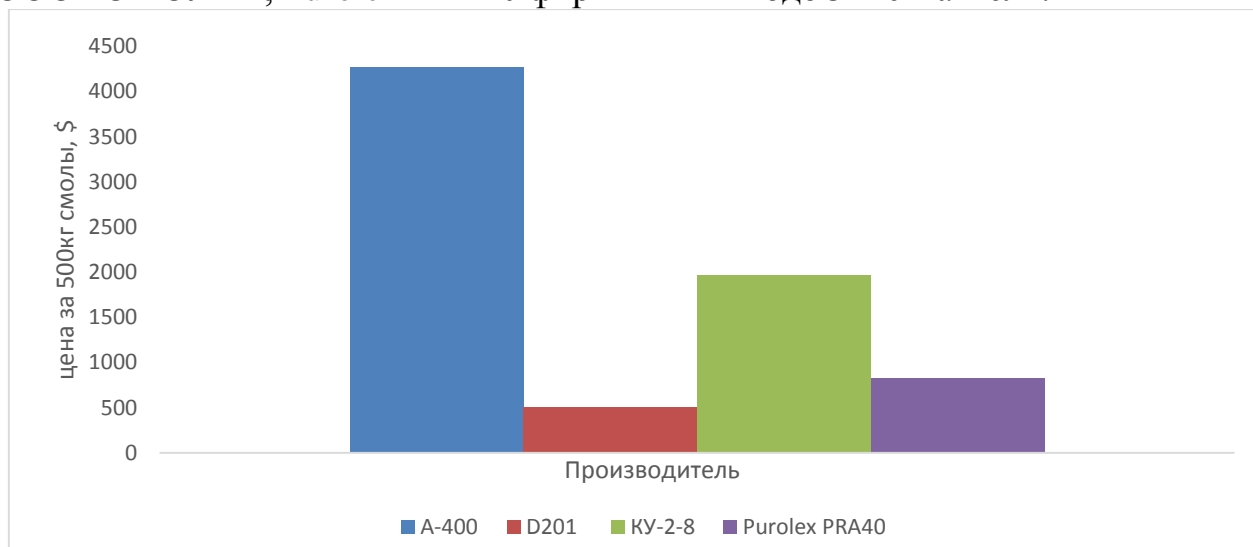


Рисунок 6 – Стоимости смол, производимых разными фирмами производителями [8]

Таким образом, можно сделать вывод, что более экономично купить китайские смолы и смолы компании ООО «СМОЛЫ». В то время как смола А-400 фирмы Purolite имеет самую высокую стоимость за 500 кг.

### Заключение

Ионообменные смолы представляют собой важный и эффективный материал для современных технологий очистки воды. Они широко используются в водоподготовке, очистке сточных вод, разделении и концентрации металлов благодаря своей способности к ионному обмену. В мире существует много компаний, которые производят ионообменные смолы, каждый вид имеет отличительные особенности, характеристики и стоимость, позволяет подобрать потребителю смолу, которая будет полностью покрывать его нужды.

### Литература

1. Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС и АЭС / В.А. Чиж, Н.Б. Каринцкий, А.В. Нарезько; Высшая школа, 2010. – 21 с.: ил.
2. ООО "СМОЛЫ" – производитель особочистых ионообменных смол [Электронный ресурс] / Ионообменные смолы Purolux. – Режим доступа: [https://vk.com/away.php?to=https%3A%2F%2Fsmoly.ru%2F&cc\\_key=](https://vk.com/away.php?to=https%3A%2F%2Fsmoly.ru%2F&cc_key=) /. – Дата доступа: 04.10.2023.
3. ЧТПУП «ХимВодоОчистка-Бел» [Электронный ресурс] / История предприятия. – Режим доступа: [https://vk.com/away.php?to=http%3A%2F%2Fhvo.by%2F&cc\\_key=](https://vk.com/away.php?to=http%3A%2F%2Fhvo.by%2F&cc_key=) /. – Дата доступа: 04.10.2023.
4. ЧТПУП «ХимВодоОчистка-Бел» [Электронный ресурс] / Purolux PRA40. – Режим доступа: [https://vk.com/away.php?to=http%3A%2F%2Fhvo.by%2FPRA40.shtml&cc\\_key=](https://vk.com/away.php?to=http%3A%2F%2Fhvo.by%2FPRA40.shtml&cc_key=) /. – Дата доступа: 04.10.2023

5. Purolite® - Пьюролайт [Электронный ресурс] / Ионообменные смолы для водоочистки. – Режим доступа: [https://vk.com/away.php?to=https%3A%2F%2Fwww.purolite.com%2Findex&cc\\_key= /](https://vk.com/away.php?to=https%3A%2F%2Fwww.purolite.com%2Findex&cc_key=/). – Дата доступа: 04.10.2023.

6. Purolite® - Пьюролайт [Электронный ресурс] / Ионнообменная смола А400. – Режим доступа: [https://vk.com/away.php?to=https%3A%2F%2Fwww.purolite.com%2Fproduct%2Fru%2Fa400&cc\\_key= /](https://vk.com/away.php?to=https%3A%2F%2Fwww.purolite.com%2Fproduct%2Fru%2Fa400&cc_key=/). – Дата доступа: 04.10.2023.

7. Purolite® - Пьюролайт [Электронный ресурс] / Местоположение предприятий по Великобритании. – Режим доступа: [https://vk.com/away.php?to=https%3A%2F%2Ftechenergochim.com%2Fru%2Fproducts%2Fpurolite%2F&cc\\_key= /](https://vk.com/away.php?to=https%3A%2F%2Ftechenergochim.com%2Fru%2Fproducts%2Fpurolite%2F&cc_key=/). – Дата доступа: 04.10.2023.

8. Wojieresin (Смолы) [Электронный ресурс] / Ионнообменная смола D201. – Режим доступа: [https://vk.com/away.php?to=http%3A%2F%2Fwww.bojieresin.com%2F&cc\\_key= /](https://vk.com/away.php?to=http%3A%2F%2Fwww.bojieresin.com%2F&cc_key=/). – Дата доступа: 04.10.2023.

9. Wojieresin [Электронный ресурс] / История предприятия и расположение по Европе. – Режим доступа: [https://vk.com/away.php?to=http%3A%2F%2Fwww.bojieresin.com%2F&cc\\_key= /](https://vk.com/away.php?to=http%3A%2F%2Fwww.bojieresin.com%2F&cc_key=/). – Дата доступа: 04.10.2023.

УДК 0621.305

**АТОМНЫЕ СТАНЦИИ ТРЕХЦЕЛЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ  
NUCLEAR STATION FOR THREE PURPOSE**

А.О. Боровикова

Научный руководитель – Л.А. Тарасевич, к.э.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Borovikova

Supervisor – L. Tarasevich, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

*Аннотация:* в данной статье рассматривается эффективное использование атомной станции.

*Annotation:* this article discusses the effective use of a nuclear power plant is considered.

*Ключевые слова:* теплоснабжение, атомная энергия, дистилляционная установка.

*Key words:* heat supply, nuclear energy, distillation plant.

**Введение**

Использование АЭС для теплоснабжения городов было рассмотрено как обоснованная альтернатива в условиях ограниченных ресурсов и потребности в снижении воздействия на окружающую среду.

Следует также отметить, что типы и параметры опреснительных установок пока еще далеки от полного исследования и определения. Важным аспектом является также необходимость того, что атомные электростанции (АЭС) и атомные теплоэлектростанции (АТЭЦ) должны обладать мощностью от 2 до 4 миллионов киловатт и более, что влечет за собой значительную потребность в технической воде.

**Основная часть**

Один из эффективных способов очистки вод с целью их повторного использования – это термическая дистилляция. Этот метод обладает универсальностью, так как мало зависит от состава загрязнителей в исходной воде. Принцип этого метода заключается в следующем: дистилляция сточных вод и их специальная обработка позволяют получить высококачественный стерильный дистиллят.

По сути, они представляют собой атомные теплоэлектроцентрали (АТЭЦ), в которых теплогенерирующие агрегаты сочетаются с дистилляционными установками для опреснения соленых вод. Это позволяет таким станциям выполнять три основные функции: генерацию электроэнергии, обеспечение теплоснабжения и производство пресной воды путем дистилляции соленых вод. В ректификационной установке имеется ряд подогревателей питательной воды испарителей и ряд подогревателей сетевой воды. Греющим паром каждого сетевого подогревателя является вторичный пар испарителя соответствующей ступени, а греющим паром испарителей всех ступеней, кроме первой и одного из испарителей промежуточной ступени, – вторичный пар предварительной



ступени. -подключенные испарители. Необходимые компоненты, которые находятся в сточных водах в малых количествах, опасные для окружающей среды и здоровья людей, например тяжелые металлы, пестициды и др., не удаляются полностью. Для многих из них неизвестны даже способы удаления.

Эффективным методом очистки воды является термическая дистилляция. Это позволяет ее повторно использовать. Такой способ можно и даже нужно применять для низкой зависимости от состава загрязняющих веществ в исходной воде. Суть способа заключается в том, что дистилляция сточных вод и их специальная очистка обеспечивают получение высококачественного стерильного дистиллята, который может быть повторно использован для технологических нужд, а при дополнительной биологической очистке – для бытовых нужд [1].

Использование теплового потребления отборов турбины для выработки дистиллята существенно снижает расход теплоты, необходимой для процесса дистилляции, и, следовательно, снижает стоимость получения дистиллята по сравнению с использованием отдельных опреснительных установок. Это делает дистилляцию экономически выгодным методом опреснения соленых вод и глубокой очистки сточных вод в крупномасштабных системах.

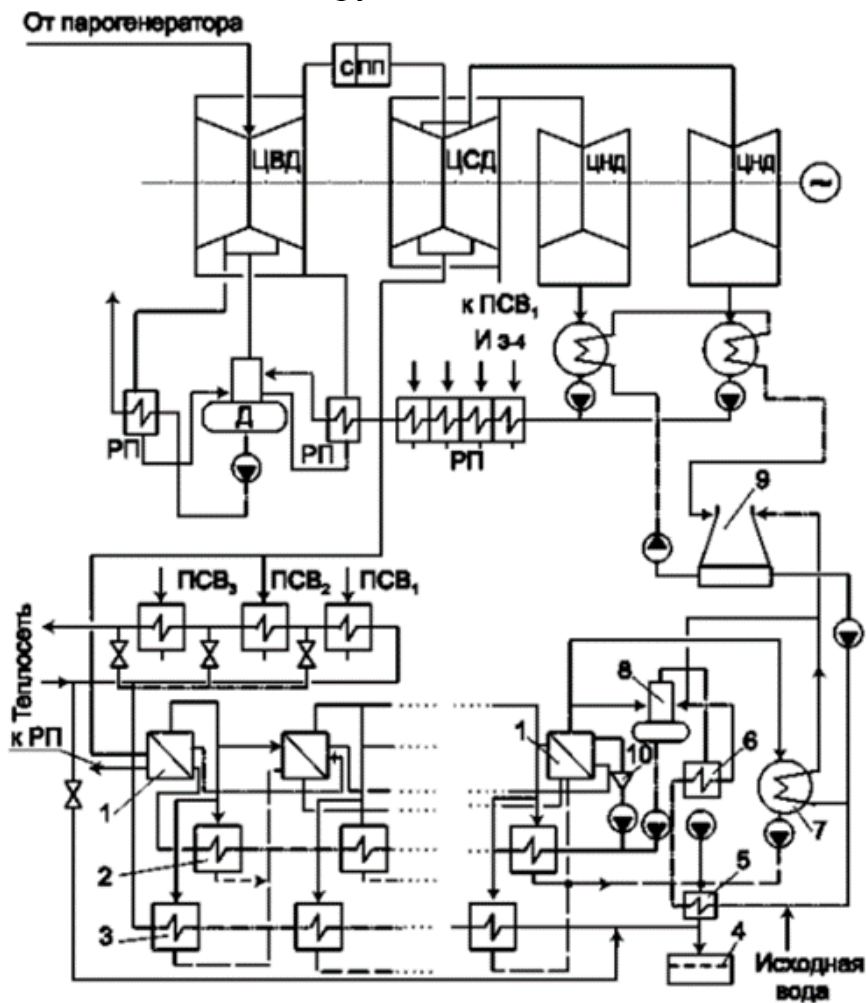


Рисунок 1 – Принципиальная тепловая схема АВТЭЦ с турбиной ТК-450/500-60 и комбинированной дистилляционной установкой [1]



Путем проведения дистилляции городских сточных вод и повторного использования полученного дистиллята можно достичь двух важных целей. Во-первых, создать замкнутые системы водоснабжения для городов, что способствует более эффективному управлению ресурсами и уменьшению потребности во внешних водных источниках. Во-вторых, это позволяет снизить или полностью исключить сброс сточных вод в природные водные источники, что в значительной мере помогает предотвратить загрязнение окружающей среды.

Дистилляционные установки, которые интегрируются с теплогенерирующими агрегатами на атомных водотеплоэлектроцентралях делают так, чтобы можно было убрать системы водоснабжения. Благодаря этой замене можно значительно сократить мощности и объемы работы городских очистных сооружений. Это нужно, чтобы материалы можно было убрать и уменьшить необходимую затрачиваемую площадь для постройки.

Интеграция дистилляционных установок в АВТЭЦ позволяет совместно генерировать электроэнергию, обеспечивать теплоснабжение и производить пресную воду из соленых и сточных вод, что значительно повышает эффективность и экономичность использования ресурсов в городской инфраструктуре. Это происходит потому, что компенсация осуществляется за счет сточных вод, которые прошли дополнительную очистку, или за счет дистиллята, без необходимости использования природных водных источников. Это также означает, что не требуется выбор специального местоположения для атомной водотеплоэлектроцентрали (АВТЭЦ) с учетом водных факторов [2].

Оптимальным количеством ступеней многокорпусной дистилляционной установки (МДУ) с вентильными аппаратами (ВА) являются значения в диапазоне от 6 до 9 ступеней.

### **Заключение**

Дистиллят в атомных водотеплоэлектроцентралях (АВТЭЦ) предоставляет ряд значительных преимуществ, особенно в отношении маневренности энергосистемы. АВТЭЦ демонстрируют высокую гибкость в сравнении с атомными теплоэлектростанциями (АТЭЦ), благодаря возможности изменения производства дистиллята в соответствии с потребностями.

Все это можно достичь при одновременной поставке тепла в теплосеть в соответствии с годовым графиком потребления тепла. Это означает, что АВТЭЦ способны адаптироваться к изменяющимся нагрузкам и потребностям, что делает их более гибкими и эффективными в эксплуатации.

### **Литература**

1. Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабж / Б.В. Яковлев. – Мн.: Адукацыя і выхаванне, 2002. – 448 с.: ил.
2. Яковлев, Б.В. Эффективность использования АЭС как источников дальнейшего теплоснабжения / Б.В. Яковлев, А.Т. Глюза, В.М. Сыропушинский // Известия высш. учебн. завед. Энергетика. – 1983. – № 3. – С. 60–70.

УДК 621.328

**БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД  
ПРИ ПОМОЩИ БИОФИЛЬТРОВ  
BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT USING BIOFILTERS**

В.И. Хамицкая, А.Н. Медведева

Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Khamitskaya, A. Medvedeva

Supervisor – V. Romanko, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** в данной статье рассматривается биологическая очистка сточных вод с использованием биофильтров, принцип работы биофильтров и их преимущества.

**Annotation:** this article discusses biological wastewater treatment using biofilters, the operating principle of biofilters and their advantages.

**Ключевые слова:** биофильтр, вода, сточные воды, фильтрация, микроорганизмы, биомасса, биозагрузка.

**Key words:** biofilter, water, wastewater, filtration, microorganisms, biomass, bioloading.

### **Введение**

Водные ресурсы играют важную роль в энергетике. Однако процессы производства электроэнергии сопровождаются образованием значительных объемов сточных вод, содержащих различные загрязнения.

Эффективная очистка сточных вод позволяет улучшить устойчивость работы ТЭС. Чистые воды обеспечивают бесперебойную подачу охлаждающей воды, что снижает риск перегрева оборудования.

### **Основная часть**

Сточные воды представляют собой водные потоки, которые возникают в результате различных производственных и технологических процессов на электростанции. Эти воды могут включать в себя конденсированные водяные пары, воду, используемую для охлаждения оборудования.

Сточные воды содержат различные загрязнения, включая органические и неорганические соединения, которые требуют очистки перед выпуском в окружающую среду или повторного использования в производственных процессах. Существует несколько методов очистки сточных вод, которые применяются в зависимости от типа загрязнений и требований к качеству очищенной воды.

Фильтрация является одним из наиболее важных процессов очистки, используемых при очистке воды и сточных вод. При водоподготовке она используется для очистки поверхностных вод для питьевого использования, тогда как при очистке сточных вод основной целью фильтрации является получение сточных вод высокого качества, чтобы их можно было повторно использовать для различных целей. Выбор метода очистки зависит от

характеристик загрязнений, требований к качеству воды. Методы очистки включают в себя:

- удаление крупных частиц, таких как песок и мусор, с помощью решеток и сит;
- использование микроорганизмов для разложения органических веществ в воде;
- применение химических реакций и физических процессов, таких как флокуляция и осаждение;
- пропускание воды через различные фильтры, такие как песчаные фильтры или угольные фильтры, чтобы улавливать твердые частицы и химические вещества;
- применение мембран для удаления мельчайших частиц и молекул из воды;
- использование ультрафиолетового света для уничтожения бактерий и других микроорганизмов в воде;
- применение хлора для обеззараживания воды.

Биологическая очистка сточных вод является важным аспектом современных систем водоочистки. Любой тип фильтра с прикрепленной биомассой на фильтрующем материале может быть определен как биофильтр. Биофильтр является одним из наиболее важных процессов разделения, который может быть использован для удаления органических загрязнителей из воды и сточных вод. Эти инновационные системы представляют биологически чистые и экологически безопасные методы обработки сточных вод, устраняя загрязнения и поддерживая здоровье окружающей среды [1].

Рассмотрим конструкцию биофильтра. Это специальное сооружение, разработанное для биологической очистки сточных вод.

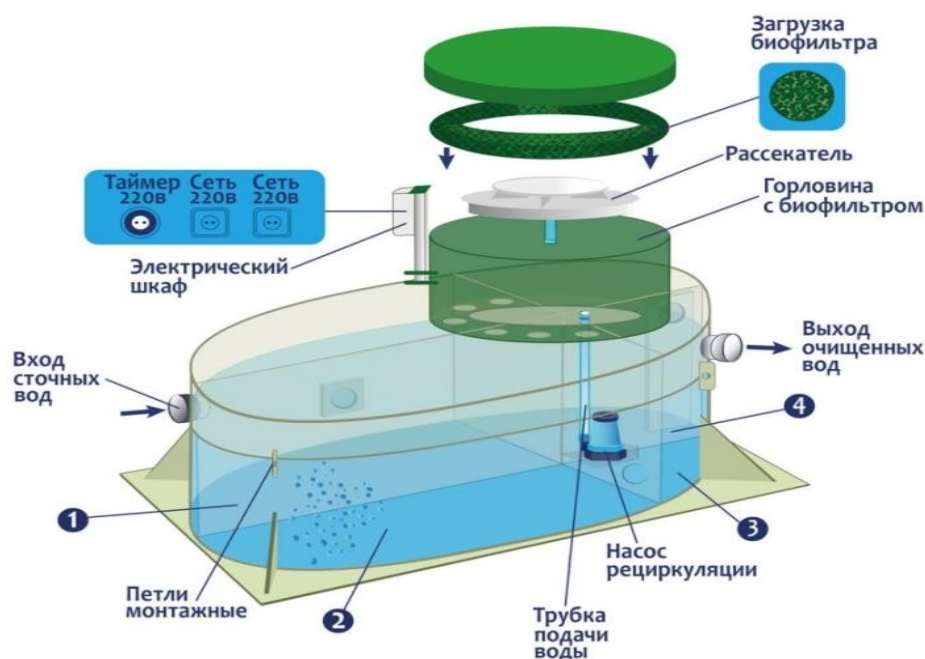


Рисунок 1 – Схема биофильтра [1]

Данная система может иметь форму круглого или прямоугольного резервуара, который заполняется специальным фильтрующим материалом. Биоматериалы состоят из различных микроорганизмов. Резервуар биофильтра имеет два днища: верхнее с отверстиями (дренажное) и нижнее, которое непроницаемо. С помощью перепадов температуры атмосферы и очищаемой жидкости, в процессе очистительных работ осуществляется бесперебойная циркуляция воздуха. Это нужно для того, чтобы микроорганизмы в ёмкости получили кислород, который необходим им для жизни.

Биоагрузка (биопенка) – это место, где самостоятельно заселяются, живут и размножаются бактерии, благодаря которым и происходит очищение сточных вод. За счет формирования биоагрузки в виде многочисленных петелек из полипропилена, она имеет развитую поверхность со значительной площадью для поселения микроорганизмов – около  $2000 \text{ м}^2/\text{м}^3$ . Биоагрузка хорошо проницаема водой и воздухом [2].



Рисунок 2 – Биоагрузка [2]

Конструкция системы должна гарантировать, что у бактерий есть всё необходимое для уничтожения загрязняющих веществ [2]:

- у них достаточно кислорода;
- они работают в пределах правильного pH;
- в них содержится нужное количество азота, фосфора, углерода и т.д.

К преимуществам биофильтров можно отнести: высокая эффективность очистки, экологическая безопасность, низкие эксплуатационные затраты и соблюдение стандартов качества воды. Но, также у данного типа фильтров есть ряд недостатков, к которым относятся: возможная ограниченная эффективность при удалении некоторых загрязнений, длительное время адаптации микроорганизмов, требование постоянного мониторинга.

Следует отметить, что внедрение биофильтров для очистки сточных вод является примером устойчивых решений в области экологической инженерии. Используя сложную систему природных микроорганизмов, эти биофильтры воплощают в себе сочетание технологии и экологии, предлагая экономичный и экологичный подход к смягчению воздействия на окружающую среду.

### **Заключение**

Исходя из всего выше сказанного можно утверждать, что биофильтрация обладает рядом преимуществ, включая экономическую эффективность,

экологическую устойчивость и способность обрабатывать большие объемы сточных вод.

### Литература

1. Принцип работы биофильтра [Электронный ресурс] / биофильтр. – Режим доступа: <https://rodolit.by/printsip-raboty/> /. – Дата доступа: 03.10.2023.
2. Биологические фильтры очистки [Электронный ресурс] / биофильтр. – Режим доступа: [https://acs-nnov.ru/biologicheskie\\_filtry\\_ochistnyh\\_sooruzhenij.html](https://acs-nnov.ru/biologicheskie_filtry_ochistnyh_sooruzhenij.html) /. – Дата доступа: 03.10.2023.



УДК 621.165

**ВЛИЯНИЕ МАЗУТА НА ЭКОЛОГИЮ И ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА  
THE INFLUENCE OF FUEL OIL ON THE ENVIRONMENT  
AND THE HUMAN BODY**

В.А. Новикова, А.И. Снапкова

Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Novikova, A. Snapkova

Supervisor – E. Pronkevich, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

*Аннотация:* в данной статье рассмотрены некоторые проблемы, вызываемые использованием такого топлива, как мазут.

*Abstract:* this article discusses some of the problems caused by the use of fuel such as fuel oil.

*Ключевые слова:* топливо, электроэнергия, загрязнение, дерматит, экология, сера, эффективность, нефтепродукт.

*Keywords:* fuel, electricity, pollution, dermatitis, ecology, sulfur, efficiency, petroleum product.

**Введение**

В теперешнее время невозможно представить мир без энергии: электрической, тепловой и т. д. Существование электростанций позволило человеку свободно использовать данные типы энергии для собственных нужд. Это безусловный прогресс в развитии человечества, однако сегодняшнюю энергетику нельзя назвать абсолютным совершенством, ведь она вызывает разнообразные проблемы, связанные с нарушением экологии, с воздействием на организм и здоровье человека, с дефицитом энергоресурсов и конкуренцию за них.

**Основная часть**

Важную роль на электростанциях имеет резервное топливо, благодаря чему станции могут работать бесперебойно. Одним из видов такого топлива является мазут. Мазут имеет высокую плотность и большую, по сравнению с другими видами топлива, низшую теплоту сгорания (38–42 Мдж/кг), поэтому сжигание в малых размерах позволяет вырабатывать большое количество электроэнергии (таблица 1).

Несмотря на преимущество в виде выработки электроэнергии больших объемов, мазут имеет ряд недостатков. Он является остаточным продуктом переработки нефти и, как любой нефтепродукт, оказывает негативное воздействие на человека и природу. По степени воздействия мазут является малоопасным веществом для человека и относится к 4-му классу опасности нефтепродуктов, однако пары мазута обладают высокой токсичностью и оказывают отравляющее действие на организм человека.

Таблица 1 – Низшая теплота сгорания некоторых видов топлива [1]



Вид топлива	Состав по массе, %							$Q_{пн.}$ МДж/кг	$T, ^\circ\text{C}$
	$C^p$	$H^p$	$S^p$	$N^p$	$O^p$	$W^p$	$A^p$		
Торф	24,7	2,6	0,1	1,1	15,2	5,0	6,3	8,1	1600
Дрова	30,3	3,6	–	0,4	25,1	40	0,6	10,2	1600
Бурый уголь	43,7	3	0,2	0,6	13,5	33	6	15	1800
Каменный уголь	55,2	3,8	3,2	1,0	5,8	8	23	22	2050
Природный газ (метан)	74	25	–	1,0	–	–	–	35,6	2000
Мазут	83	10,4	2,8	–	0,7	3	0,1	39,2	2100
Бензин	85	14,9	0,05	–	0,05	–	–	44	2100

В продуктах сгорания мазута содержатся углекислый газ, оксиды азота и углерода, сера и метан. Пары попадают через органы дыхания, раздражают слизистые оболочки и глаза. Они действуют как наркотические вещества и поражают ЦНС:

- повышают возбудимость;
- вызывают общую слабость;
- увеличивают пульс;
- вызывают головокружение.

Среди других симптомов можно назвать появление кашля, насморка, боли в груди и горле. Также мазут наносит вред организму человека и при попадании на кожу: обезжиривает и сушит, что приводит к дерматитам.

Как уже было сказано раньше, мазут наносит негативное действие не только на организм человека, но и на природу [1]. В момент сжигания происходит выброс большого количества серы и других элементов в окружающую среду, что способствует нарушению экологии. К примеру, на почву мазут действует негативно тем, что губит живые организмы, значительно меняет структуру и химический состав почвы, в особенности её свойства как питательной среды для растений, из-за чего к их корням не поступает достаточное количество влаги. Для водоёмов мазут также несёт опасность, т. к. при попадании мазута на поверхность воды, на ней образуется специфическая плёнка, которая нарушает любой обмен веществом, энергией и влагой с атмосферой. Помимо этого, мазут придаёт воде своеобразный запах, вызывающий нарушение жизнедеятельности водных обитателей [2].



Рисунок 1 – Проявление мазута на водной поверхности [1]

Для решения проблем загрязнения в настоящее время уже модернизируют некоторые электростанции с целью наименьшего использования мазута и даже его полного отсутствия [3]. Модернизация позволяет повысить эффективность производства тепловой и электрической энергии и полностью перевести станцию на использование природного газа в качестве топлива. Такая реконструкция была проведена на Челябинской ТЭЦ-1 и возымела положительный эффект на экологию: выбросы загрязняющих веществ в атмосферу были снижены на 4 500 тонн в год, значительно снизился объем сточных вод.

### **Заключение**

Мазут имеет хорошие показатели в качестве сжигаемого топлива, однако следует не забывать про риски, возникающие при сжигании данного вещества. Решением данной проблемы станет использование как можно меньшего количества мазута, т. к. отказ от него и переход на полный газовый цикл будет наиболее прогрессивным способом улучшения экологических показателей. Он снизит риски и в то же время обеспечит надежность энергоснабжения потребителей и повысит эффективность генерации.

### **Литература**

1. Опасность мазута для водоёмов, человека и почвы [Электронный ресурс] / Опасность мазута для водоёмов, человека и почвы. – Режим доступа: <https://www.trader-oil.ru/informatsiya/mazut-info/chem-opasen-mazut-dlya-cheloveka-vodоеmov-i-pochvy/>. – Дата доступа: 04.10.2023.
2. Выход мазута из резервов [Электронный ресурс] / Выход мазута из резервов. – Режим доступа: <https://www.frwd.energy/media/2020/11/mazut-vykhodit-iz-rezervov/>. – Дата доступа: 04.10.2023.
3. Воздействие мазута на окружающую среду [Электронный ресурс] / Воздействие мазута на окружающую среду. – Режим доступа: <http://tk-yakhont.ru/statyi/mazut-informatsiya-o-mazute/vozdеystvie-mazuta-na-okruzhayushchuyu-prirodu-mazut-optom.php/>. – Дата доступа: 04.10.2023.

УДК 621.9.015

## ВОДОЧИСТКА НА ТЭЦ WATER TREATMENT AT THE CHP

Т.Ю. Пожарицкий, С.Д. Крутиков

Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

T. Pozharitsky, S. Krutsikau

Supervisor – V. Romanko, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** в статье рассмотрены основные методы водоочистки на ТЭЦ, а также инновационные подходы.

**Abstract:** the article discusses the main methods of water treatment at thermal power plants, as well as innovative approaches.

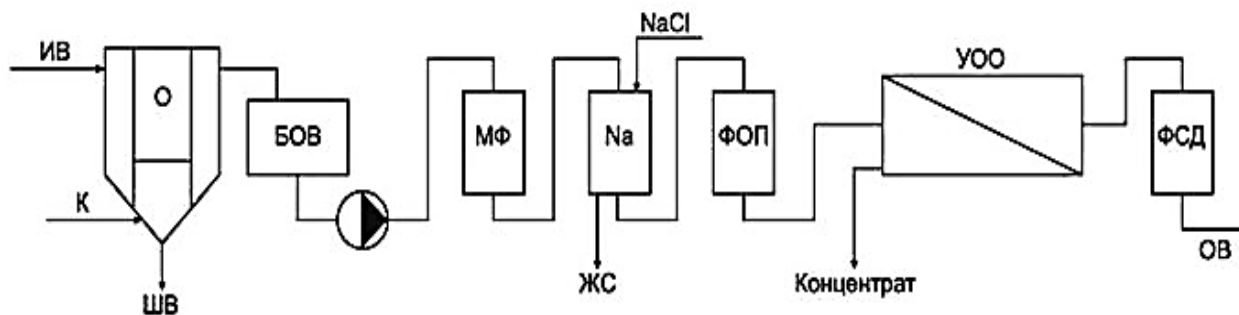
**Ключевые слова:** Проблемы водоочистки, основные системы водоочистки, инновационные подходы к водоочистке, загрязнения.

**Keywords:** problems of water treatment, basic water treatment systems, innovative approaches to water treatment, pollution.

### Введение

Проблема водоочистки для тепловых электростанций (ТЭЦ) является актуальной и важной, так как качество воды, используемой на ТЭЦ, имеет прямое влияние на производительность и надежность работы электростанции, а также на экологическую безопасность.

Схема водоочистки на ТЭЦ представлена на рисунке 1.



ИВ – исходная вода; О – осветлитель; БОВ – бак осветленной воды; МФ – механический фильтр; Na – Na-катионитный фильтр; ФОР – фильтр-органопогложитель; К – коагулянт; ШВ – шламовые воды; ОВ – обессоленная вода; ЖС – жесткий сток; УОО – установка обратного осмоса; ФСД – фильтр смешанного действия.

Рисунок 1 – Схема водоочистки на ТЭЦ [1]

На ТЭЦ требуется большое количество воды для производства пара, приводящего турбины в движение и генерирующего электричество. Однако, вода, которая поступает на ТЭЦ, может содержать различные загрязнения, такие как органические и неорганические вещества, взвешенные частицы, микробы и микроорганизмы, а также растворенные соли и химические вещества.

Эти загрязнения могут вызвать несколько проблем. Во-первых, они могут привести к засорению системы водоснабжения и перегреву оборудования, что может вести к снижению производительности и повреждению оборудования. Во-

вторых, некоторые загрязнители, такие как органические вещества и химические соединения, являются потенциально опасными для окружающей среды и здоровья людей, если они попадают в водоемы или области сброса сточных вод.

Поэтому, разработка и применение эффективных систем водоочистки для ТЭЦ является необходимостью. Они должны быть способными очищать воду от всех видов загрязнений, обеспечивать ее высокое качество и соответствие нормативным требованиям безопасности и экологической безопасности.

Однако решение проблемы водоочистки для ТЭЦ также является сложным и требует значительных затрат на инфраструктуру, оборудование, энергию и специалистов. Поэтому важно разрабатывать и применять эффективные и экономически выгодные методы водоочистки.

### Основная часть

Водоочистка для тепловых электростанций (ТЭЦ) является важным процессом для обеспечения качества и безопасности воды, используемой в производственных процессах.

Основные системы водоочистки для ТЭЦ включают:

- Механическая фильтрация – это удаление крупных частиц, таких как песок, глина и другие твердые вещества, с помощью фильтров или сит. Это предотвращает засорение системы и повреждение оборудования. Механическая фильтрация представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – механическая фильтрация [2]

- Осаждение – это отделение нерастворимых веществ, таких как илообразующие и органические вещества, путем использования осадительных емкостей или отстойников.
- Флотация – это удаление концентрированных взвешенных веществ с помощью добавления флотационных реагентов, которые образуют пенные агрегаты, поднимающиеся на поверхность.
- Фильтрация через активный уголь – это использование специальной



- системы с активированным углем для удаления органических загрязнений, хлора и других химических веществ.
- Обратный осмос – это процесс, в котором вода пропускается через мембрану с высоким давлением, чтобы удалить растворенные соли, минералы и другие загрязнители.
  - Ионный обмен – это использование специальных смол, обладающих способностью обмена ионами, для удаления растворенных солей и загрязнителей.
  - Озонирование и ультрафильтрация – это использование озона или ультрафильтрации для уничтожения органических загрязнителей и бактерий.

Однако, конкретные системы водоочистки для ТЭЦ будут зависеть от местных условий, требований и возможностей для обработки воды. Необходимо провести анализ качества воды, чтобы определить оптимальные системы водоочистки для конкретной ТЭЦ.

Существующие проблемы водоочистки для ТЭЦ:

- Энергозатратность. Некоторые методы водоочистки требуют больших объемов энергии для работы. Например, системы обратного осмоса требуют высокого давления для пропускания воды через мембрану, что требует мощных насосов. Это приводит к высоким энергозатратам и повышенным эксплуатационным расходам.
- Образование отходов. Многие методы водоочистки приводят к образованию отходов или конденсата, которые необходимо обработать или утилизировать. Например, при процессе обратного осмоса образуется значительное количество отходной воды с высокой солевой концентрацией, которую нужно обратно обработать или вывести. Сложность технического обслуживания: Некоторые методы водоочистки требуют сложного оборудования и процессов, а также квалифицированных специалистов для их эксплуатации и обслуживания. Это может вызывать сложности в обеспечении надлежащего функционирования и поддержания работоспособности системы водоочистки.
- Высокие затраты. Внедрение и эксплуатация некоторых методов водоочистки могут быть дорогостоящими. Это включает стоимость оборудования, установку, техническое обслуживание и затраты на энергию. Высокие затраты могут быть препятствием для внедрения эффективных систем водоочистки для ТЭЦ.
- Отношение к отдельным загрязнителям. Некоторые методы водоочистки могут быть эффективными в удалении определенных загрязняющих веществ, но не так эффективными в отношении других. Например, системы фильтрации через активный уголь могут хорошо очищать воду от органических загрязнений, но могут быть менее эффективными при удалении растворенных солей.

Все эти проблемы требуют постоянного исследования и улучшения существующих методов водоочистки для ТЭЦ с целью повышения их

эффективности, экономической целесообразности и экологической безопасности.

Инновационные подходы к водоочистке на ТЭЦ постоянно развиваются и включают в себя применение новых технологий и методов. Некоторые из них включают:

- Ультразвуковая очистка. Применение ультразвука для очистки воды от микроорганизмов, биологических загрязнений и взвешенных частиц. Ультразвуковая очистка может быть эффективной и энергосберегающей альтернативой традиционным методам фильтрации и обеззараживания.
- Наночистка и обратный осмос с использованием наночисточных мембран. Мембранные технологии, такие как наночистка и обратный осмос с использованием наночисточных мембран, обладают высокой эффективностью в удалении растворенных солей, взвешенных частиц и органических веществ из воды. Они также могут помочь снизить энергопотребление и отходы, связанные с традиционными методами водоочистки.
- Каталитическая окислительная очистка. Использование каталитических окислителей, таких как пероксид водорода и озон, для окисления и разложения органических загрязнений и токсических веществ в воде. Этот процесс может быть эффективным при удалении трудноудаляемых загрязнений, таких как фенолы и хлорорганические соединения.
- Биологическая фильтрация. Применение биологических процессов, таких как активный и биологический обеззараживание, для удаления органических загрязнений и нитратов из воды. Биологическая фильтрация может быть эффективной и экологически благоприятной альтернативой химическим методам водоочистки.
- Использование наноматериалов. Применение наноматериалов, таких как наночастицы серебра или железа, для удаления микроорганизмов и загрязнений из воды. Наноматериалы могут обладать высокой антимикробной активностью и могут быть использованы для очистки воды без использования химических реагентов.

Эти инновационные подходы к водоочистке на ТЭЦ помогают повысить эффективность, экономическую целесообразность и экологическую безопасность процесса водоочистки. Однако, необходимо учитывать факторы, такие как экономическая целесообразность, доступность технологий и соответствие требованиям нормативных актов при выборе конкретного метода водоочистки для ТЭЦ.

### **Заключение**

В заключение, водоподготовка на ТЭЦ является неотъемлемой частью процесса производства энергии. Она играет важную роль в обеспечении надежности и эффективности работы станции, а также в соблюдении экологических требований. Правильная организация и контроль водоподготовки необходимы для обеспечения надежной и экологически безопасной работы теплоэлектростанций.



### Литература

1. Анализ современных технологий водоподготовки на ТЭС [Электронный ресурс] / А.В. Жадан. – Режим доступа: [https://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=3137](https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=3137) /. – Дата доступа: 14.10.2023.
2. Фильтрация частиц [Электронный ресурс] / aquavitro.org. – Режим доступа: <https://aquavitro.org/2014/11/10/filtraciya-tverdyx-chastic> /. – Дата доступа: 14.10.2023.

УДК 504.75

**ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭНЕРГЕТИКИ НА КЛИМАТ ЗЕМЛИ  
IMPACT OF ENERGY ON THE EARTH'S CLIMATE**

К.А. Мельник, Д.О. Маер, М.Д. Сытая  
Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
K. Melnik, D. Maher, M. Sytaya  
Supervisor – S. Kachan, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** рассматривается влияние энергетики на климат Земли. Описываются ключевые аспекты воздействия этой отрасли на окружающую среду. Основное внимание уделяется выбросам парниковых газов, изменению земельного использования и переходу к возобновляемой энергетике.

**Abstract:** the influence of Energy Industry on the Earth's climate is considered. The key aspects of the impact of this industry on the environment are described. The main focus is on greenhouse gas emissions, land use change and the transition to renewable energy.

**Ключевые слова:** энергетика, климат, воздействие, парниковые газы, выбросы, возобновляемая энергетика.

**Keywords:** energy, climate, impact, greenhouse gases, emissions, renewable energy.

**Введение**

В современном мире энергетика олицетворяет собой двойное влияние на окружающую среду. С одной стороны, она обеспечивает жизненно важные ресурсы для человеческой цивилизации, предоставляя электроэнергию и теплоту для различных секторов экономики. С другой стороны, энергетика, особенно основанная на традиционных источниках, оказывает значительное воздействие на климат Земли, способствуя глобальному его изменению.

**Основная часть**

Выбросы парниковых газов при выработке электрической энергии являются одним из основных источников антропогенных выбросов, оказывающих влияние на климат Земли. Рассмотрим более подробно, какие газы выбрасываются, какие процессы и секторы являются основными источниками выбросов, и какие последствия они могут иметь:

Диоксид углерода  $CO_2$  является основным парниковым газом, выбрасываемым при генерации электроэнергии. Основные источники  $CO_2$  включают сжигание углеводородных топлив, таких как уголь, нефть и природный газ, на электростанциях. Согласно Международному энергетическому агентству (IEA), в 2020 году электроэнергетика была ответственной за около 42% глобальных эмиссий  $CO_2$  [1].

Метан  $CH_4$  еще более мощный парниковый газ – влияет на глобальное потепление в 25 раз большей степени, чем  $CO_2$  и также выбрасывается при производстве и использовании энергии [2]. Главными источниками метана

являются добыча и транспортировка природного газа, а также выбросы при сжигании биогазов и метана из участков отложения отходов.

Парниковое воздействие ведет к изменению климатических условий, таким как повышение средней температуры, учащение экстремальных погодных явлений (наводнения, засухи, ураганы) и изменение сезонов, а также к увеличению морского уровня вследствие таяния льдов и расширения водных масс мирового океана.

Оксиды азота  $NO_x$  выбрасываются при сжигании углеводородных топлив, таких как природный газ и дизельное топливо, на тепловых электростанциях и автотранспорте. Они способствуют образованию смога и влияют на качество воздуха [1].

Выбросы  $NO_x$  и других загрязняющих веществ от электростанций и автотранспорта помимо изменения климата, могут оказывать воздействие на здоровье человека, способствуя развитию заболеваний дыхательных путей и сердечно-сосудистых заболеваний.

Для смягчения воздействия выбросов парниковых газов в энергетике необходимы меры, такие как переход к возобновляемой энергии, использование технологий улавливания и захоронения углерода (CCS), повышение энергетической эффективности и разработка более экологически чистых технологий генерации электроэнергии. Эти шаги содействуют снижению выбросов и способствуют борьбе с изменением климата.

Изменение земельного использования является важным аспектом воздействия энергетики на климат Земли и включает в себя различные процессы и действия, связанные с использованием земель для добычи и транспортировки энергетических ресурсов, строительства инфраструктуры для энергетических проектов и другие деятельности, которые могут оказывать влияние на экосистемы и выбросы парниковых газов. Рассмотрим это более подробно.

Лесоразрушение – один из ключевых аспектов изменения земельного использования, связанных с энергетикой. Чтобы добыть нефть, газ и уголь, часто приходится вырубать леса, что приводит к потере ценных лесных экосистем. Леса играют важную роль в поглощении углекислого газа  $CO_2$  из атмосферы посредством процесса фотосинтеза. По данным Всемирной природоохранной организации (WWF), лесоразрушение связано с потерей около 15% всех выбросов  $CO_2$ , и это является одним из крупнейших источников выбросов парниковых газов [1].

Для добычи углеводородных ресурсов, таких как нефть и газ, часто требуется изменение земельного использования. Это может включать в себя строительство нефтепроводов, газопроводов и дорог, а также разработку нефтяных месторождений и газовых скважин. Такие процессы могут привести к разрушению экосистем, загрязнению почвы и воды, а также утрате биоразнообразия.

Строительство гидроэлектростанций, которые хотя и считаются возобновляемыми источниками энергии, также может иметь негативное воздействие на земельное использование. Для создания водохранилищ и плотин

часто приходится затапливать большие участки земли и изменять рельеф местности, что может влиять на экосистемы и биоразнообразие в регионе.

Для смягчения воздействия изменения земельного использования на климат, необходимо применять принципы устойчивого земельного использования. Что включает в себя практики, направленные на минимизацию разрушения природных экосистем, восстановление земель после завершения деятельности и использование технологий, которые снижают негативное воздействие.

Энергетические компании также могут сыграть важную роль в сокращении негативного воздействия на земельное использование. Они могут внедрять экологически устойчивые методы добычи, уменьшать воздействие инфраструктуры на окружающую среду и сотрудничать с организациями по природоохране для сохранения биоразнообразия.

Переход к возобновляемой энергетике представляет собой одну из ключевых стратегий снижения воздействия энергетической отрасли на климат Земли. Этот процесс означает переход от использования традиционных источников энергии, таких как уголь, нефть и природный газ, к энергии, получаемой из возобновляемых источников, таких как солнце, ветер, геотермальная энергия и гидроэнергия.

Солнечная энергия – один из наиболее доступных источников возобновляемой энергии. Фотоэлектрические солнечные панели преобразуют солнечный свет в электроэнергию. Согласно Международной агентуре по возобновляемой энергии (IRENA), в 2020 году в мире установлено более 707 гигаватт солнечных мощностей [3].

Ветровые турбины используют ветер для производства электроэнергии. По данным IRENA, в 2020 году в мире установлено более 733 гигаватт ветровых мощностей [3].

Геотермальная энергия использует тепло, накапливающееся внутри Земли. Эта энергия может быть использована для генерации электроэнергии и обогрева. Многие страны, такие как Исландия, активно используют геотермальные ресурсы.

Гидроэлектростанции используют потенциал потока воды для производства электроэнергии. Для чего сооружаются как крупные плотины, так и малые гидроэлектростанции. Гидроэнергия остается одним из наиболее надежных источников возобновляемой энергии.

Энергия, производимая из возобновляемых источников, не производит выбросов  $CO_2$  и других парниковых газов, что снижает вклад энергетики в глобальное потепление. Возобновляемые источники энергии неисчерпаемы и предоставляют устойчивое снабжение энергией на долгосрочной основе. Развитие индустрии возобновляемой энергии способствует созданию рабочих мест и развитию экономики. Также использование собственных возобновляемых ресурсов позволяет сократить зависимость стран от импорта нефти и газа.

Однако переход к возобновляемой энергетике сталкивается с рядом вызовов, включая высокие начальные инвестиции, нестабильность поставок ветра и солнечного света, а также необходимость обновления инфраструктуры.

Несмотря на это, многие страны признают неотложность этого энергетического перехода в связи с изменением климата и работают над разработкой соответствующих стратегий и политик для содействия развитию возобновляемой энергетики.

### **Заключение**

Подчеркнем, что переход к возобновляемой энергетике представляет собой важную стратегию для смягчения воздействия энергетики на климат Земли. Этот процесс включает в себя использование солнечной, ветровой, геотермальной и гидроэнергии, которые не только снижают выбросы парниковых газов, но и обеспечивают стабильные источники энергии в долгосрочной перспективе.

Основные выгоды перехода к возобновляемой энергетике включают в себя снижение вклада энергетики в изменение климата, создание рабочих мест и поддержку экономического развития, а также снижение зависимости от импорта энергоносителей.

Однако стоит отметить, что этот процесс требует значительных инвестиций и сопровождается вызовами, такими как нестабильность поставок из-за погодных условий и необходимость обновления инфраструктуры. Несмотря на это, многие страны активно работают над разработкой и внедрением политик и технологий, направленных на ускорение перехода к возобновляемой энергетике в целях борьбы с изменением климата и обеспечения устойчивого будущего для наших потомков.

### **Литература**

1. Изменение климата. Обобщающий доклад [Электронный ресурс] / Доклад межправительственной группы экспертов по изменению климата. – Режим доступа: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_ru.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_ru.pdf) /. – Дата доступа: 02.10.2023.
2. Метан – опасный парниковый газ или ключ к решению климатического кризиса [Электронный ресурс] / Экосфера. – Режим доступа: <https://ecosphere.press/2023/01/30/metan-samyj-opasnyj-parnikovyj-gaz-ili-klyuch-k-resheniyu-klimaticheskogo-krizisa/> /. – Дата доступа: 02.10.2023.
3. Энергетика и климат [Электронный ресурс] / Энергетика и климат. – Режим доступа: [https://www.unccd.int/sites/default/files/2018-06/GLO%20Russian\\_Ch10.pdf](https://www.unccd.int/sites/default/files/2018-06/GLO%20Russian_Ch10.pdf) /. – Дата доступа: 02.10.2023.

УДК 621.184

**ГОРЕЛКИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОТЛОВ  
BURNERS FOR INDUSTRIAL BOILERS**

В.Р. Бежелев, К.А. Жишко

Научный руководитель – Н.В. Левшин, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Bezhelev, K. Zhishko

Supervisor – N. Levshin, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** горелки являются одним из основных элементов котлов, работающих практически на любом виде топлива. Котельные горелки необходимы для сжигания топлива в промышленных котлах с целью получения тепла. Они играют решающую роль в общей работе и эффективности котельной системы.

**Abstract:** burners are one of the main elements of boilers operating on almost any type of fuel. Boiler burners are necessary for burning fuel in industrial boilers to produce heat. They play a critical role in the overall operation and efficiency of the boiler system.

**Ключевые слова:** горелка, котел, топливо, тепло, энергия.

**Key words:** burner, boiler, fuel, heat, energy.

**Введение**

Горелки на теплоэлектростанциях для промышленных котлов играют решающую роль в процессе сгорания, при котором топливо сжигается с выделением тепла для производства пара. Эти горелки предназначены для эффективного и безопасного преобразования различных видов топлива в тепловую энергию.

**Основная часть**

Как говорилось выше, горелки являются неотъемлемой частью котлов, поэтому в котлах используется несколько типов горелок, каждая из которых предназначена для конкретного типа топлива и требований к сжиганию. Вот некоторые часто используемые типы горелок [1]:

– Газовые горелки.

Газовые горелки предназначены для сжигания газообразного топлива, такого как природный газ, пропан или биогаз. Они смешивают топливо с воздухом в правильном соотношении и поджигают его, образуя пламя. Газовые горелки получили широкое распространение благодаря доступности и чистоте природного газа.

– Масляные горелки.

Масляные горелки используются для сжигания жидкого топлива, такого как дизельное топливо или мазут. Они распыляют масло на мелкие капли и смешивают его с воздухом для сгорания. Масляные горелки обычно используются в отраслях, где подача газа ограничена или когда требуются особые свойства топлива.

– Двухтопливные горелки.



Двухтопливные горелки способны сжигать два разных типа топлива, обычно газ и нефть. Они обеспечивают гибкость в выборе топлива, позволяя в любой момент времени использовать наиболее экономичное или легкодоступное топливо.

– Твердотопливные горелки.

Твердотопливные горелки предназначены для сжигания твердого топлива, такого как уголь, древесина или биомасса. Для поддержания эффективного сгорания им требуется контролируемая подача топлива и воздуха. Твердотопливные горелки обычно используются в отраслях, где твердое топливо имеется в изобилии, или в качестве возобновляемого источника энергии.

Процесс горения в горелках котла включает контролируемое смешивание топлива и воздуха с последующим воспламенением и устойчивым процессом горением. Он осуществляется следующим образом [2]:

- подача топлива и воздуха. Топливо, будь то газ, мазут, твердое топливо или их комбинация, подается в горелку вместе с контролируемым количеством воздуха. подача воздуха обычно регулируется заслонками или вентиляторами, чтобы обеспечить желаемую концентрацию кислорода для горения;
- Распыление топлива. В случае жидкого топлива, такого как нефть, топливо распыляется на мелкие капли, чтобы увеличить площадь его поверхности и облегчить горение. Это достигается за счет использования форсунки или распылителя, которые разбивают топливо на мелкие частицы. Распыленное топливо смешивается с воздухом, образуя горючую смесь;
- Зажигание. Источник воспламенения, например, искра или запальное пламя, воспламеняет топливно-воздушную смесь, создавая пламя;
- Стабилизация пламени: после зажигания пламя должно стабилизироваться, чтобы обеспечить непрерывное горение. Это достигается за счет поддержания правильного соотношения топлива и воздуха и обеспечения достаточного количества кислорода для сгорания. Горелки могут иметь устройства стабилизации пламени, такие как стержни пламени или датчики для мониторинга и контроля пламени;
- Сгорание и выделение тепла. Во время сгорания топливо вступает в реакцию с кислородом воздуха, выделяя тепловую энергию. Процесс сгорания должен быть эффективным, с полным выгоранием топлива и минимальными выбросами;
- Контроль выбросов. Сгорание в горелках котлов может производить такие выбросы, как оксиды азота ( $NO_x$ ), окись углерода ( $CO$ ) и твердые частицы.

Чтобы соответствовать экологическим нормам, горелки могут включать в себя такие технологии, как рециркуляция дымовых газов, селективное каталитическое восстановление или фильтры твердых частиц для снижения выбросов.

Так же в зависимости от типа топлива может потребоваться его предварительная обработка перед подачей в горелку. Например, твердое

топливо, такое как уголь, может потребоваться измельчить до мелких частиц, тогда как жидкое топливо может потребовать фильтрации или нагрева для достижения надлежащего распыления.

Меры безопасности [3]: Безопасность является важнейшим аспектом конструкции и эксплуатации горелки котла. Горелки оснащены устройствами безопасности, такими как датчики пламени, датчики давления и системы отсечки топлива, для предотвращения несчастных случаев и обеспечения безопасной эксплуатации.

Регулярное техническое обслуживание и оптимизация горелок котлов необходимы для обеспечения их эффективной и надежной работы. Сюда входит очистка, проверка и регулировка компонентов горелки для поддержания надлежащего сгорания и минимизации времени простоя.

Продолжающиеся исследования и разработки в области технологий сжигания направлены на повышение эффективности сгорания, сокращение выбросов и повышение гибкости использования топлива. Усовершенствованные горелки могут включать в себя такие функции, как ступенчатое сжигание, рециркуляцию дымовых газов и усовершенствованные системы управления.

### **Заключение**

Процесс сгорания в горелках котлов является важнейшим аспектом эффективного и экологически чистого производства энергии. Правильная конструкция, смешивание топлива и воздуха, зажигание и контроль необходимы для достижения оптимальных характеристик сгорания, максимальной теплопередачи и минимизации выбросов.

### **Литература**

1. Тепловой расчет котлов [Электронный ресурс] / Тепловой расчет котлов. – Режим доступа: <https://docviewer.yandex.by/view/1130000014492693/>. – Дата доступа: 12.10.2023.
2. Теория горения и взрыва [Электронный ресурс] / Теория горения и взрыва. – Режим доступа: [https://portal.tpu.ru/SHARED/a/AMELY/Study/Tab7/Теория\\_горения\\_и\\_взрыва\\_УП\\_2020.pdf/](https://portal.tpu.ru/SHARED/a/AMELY/Study/Tab7/Теория_горения_и_взрыва_УП_2020.pdf/). – Дата доступа: 12.10.2023.
3. Теплотехнические испытания котельных установок [Электронный ресурс] / Теплотехнические испытания котельных установок. – Режим доступа: <https://djvu.online/file/17RxfYZBGcHPW/>. – Дата доступа: 12.10.2023.

УДК 621.311

ДИАГНОСТИКА ТЕПЛОВОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ В ПРОЦЕССЕ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ ПАРОВЫХ ТУРБИН  
DIAGNOSTICS OF THERMAL ECONOMY DURING OPERATION OF  
STEAM TURBINES

А.О. Боровикова, Д.А. Панкратов

Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Borovikova, D. Pankratov

Supervisor – N. Pantelei, Senior lecturer

Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** в данной статье анализируется состояние рабочих лопаток и метод ее диагностики.

**Annotation:** this article discusses the condition of the rotor blades and the method for diagnosing it.

**Ключевые слова:** потери тепла, турбины, эффективность.

**Key words:** heat loss, turbines, efficiency.

### Введение

В современном мире, где вопросы экономии ресурсов и эффективности производства стоят особенно остро, диагностика тепловой экономичности становится неотъемлемой частью процесса эксплуатации паровых турбин. Эффективное использование энергии и повышение производительности – это ключевые факторы, которые определяют конкурентоспособность предприятий и их способность адаптироваться к изменениям на рынке.

Во время решения задач по диагностике тепловой экономичности турбоагрегатов главным вопросом становится выявленные причин некорректной работы данного оборудования, возникающие в результате износа во время эксплуатации турбины, и препятствующих выгодной работе турбоагрегата, что влечёт за собой снижение надежности, ресурса и безопасности.

### Основная часть

При оценке тепловой эффективности оборудования и технологических процессов анализируется состояние оборудования по отклонениям технических и экономических показателей от установленных норм, с возможностью расширения и углубления текущих функциональных возможностей системы автоматического управления паровыми турбинами энергоблоков.

Составление корректной оценки становится главной задачей и поэтому происходят снятия показаний во время работы конкретной турбины. Все снятые показания выводиться на экран оператора или они могут быть получены по его запросу немедленно и, следовательно, были разработаны алгоритмы, которые широко используются во время эксплуатации паровой турбины. На практике широко применяют диагностику с помощью АСУ ТП.

Наиболее распространенная поломка в турбине – обрыв рабочих лопаток. Случаи обрывов рабочих лопаток последних ступеней ЦНД являются

распространенной проблемой, вызванной различными факторами, включая вибрационные повреждения. Эти повреждения часто сопровождаются серьезными повреждениями оборудования. Одно из направлений диагностики лопаток в процессе эксплуатации.

Способ выявления дефектов в рабочих лопатках заключается в определении изменений положения вертушки лопатки как индикатора повреждения. Рабочая лопатка сохраняет динамическое равновесие под воздействием центробежных и аэродинамических сил. В процессе использования лопатки (из-за усталости материала, потери связи и т.д.) возникают повреждения, которые изменяют ее механические свойства и, как следствие, ее положение, а так же прочность. Таким образом, эффективность диагностики зависит от стабильности относительного положения лопаток, что может быть обусловлено средой, в которой работает турбина и множеством других факторов, в том числе стабильностью установки лопаток во время функционирования турбины и после остановки.

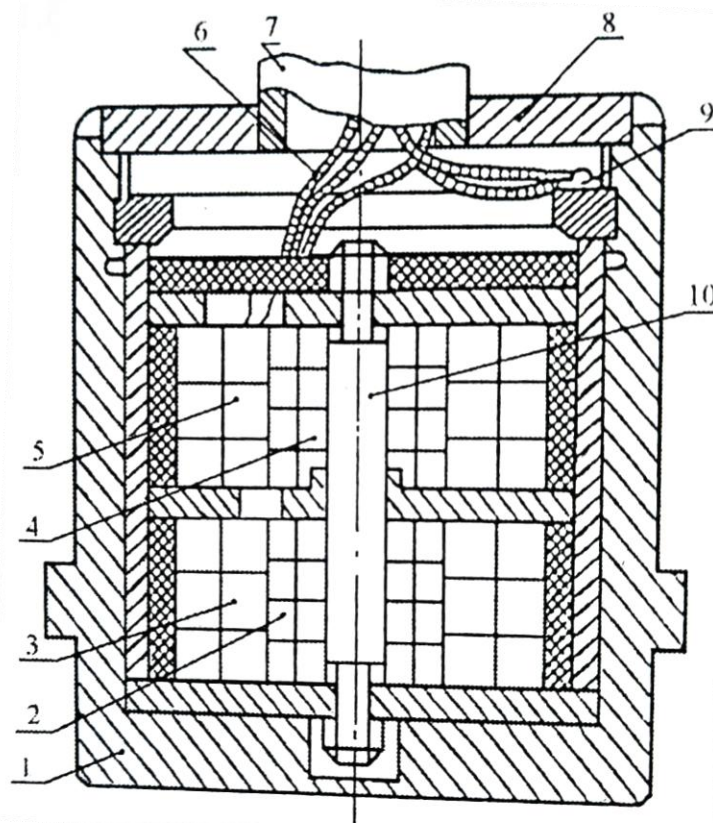
Во время работы турбоагрегатов, мы можем контролировать осевые зазоры в проточной части, это повысит надёжность турбоагрегата и его эффективность, то есть регулярное диагностирование. Чтобы это осуществить, то мы в турбоагрегатах используем датчики относительного расширения ротора(ОРР), их расположение зависит от расположение упорного подшипника, ОРР находится на концах вала. Но на практике, из-за осевой податливости цилиндров, датчики не всегда корректно показывают состояние зазоров в проточной части. В случае использования крупногабаритных двухпоточных цилиндров большого размера, датчики ОРР показывает наименьшую эксплуатационную эффективность. Опыт эксплуатации мощных турбоагрегатов показывает, что при затрудненном перемещении опор может нарушиться величина зазора в проточной части, что приведет к дальнейшей деформации статора и элементов фундамента. Из-за того, что процесс изменения осевого разбега ротора имеет многофакторный характер, оценка состояния зазоров в проточной части становится неопределенной, если судить об их величине лишь на основе показаний штатного датчика осевого разбега. Поэтому определение величины зазора должно основываться не только на стандартных измерениях датчиков ОРР, но и на дополнительных измерениях.

НПО ЦКТИ разработаны методика и алгоритм диагностирования состояния осевых зазоров в проточных частях цилиндров паровых турбин. Диагностика состояния осевых зазоров особенно важна при эксплуатации многоцилиндровых турбин с корпусами больших габаритов с пониженной осевой жесткостью, например, ЦСД крупных турбин блоков СКД, цилиндров турбин АЭС.

Так в методике НПО ЦКТИ рекомендуются дополнительные измерения зазора внутри проточной части путем измерения датчиками, разработанными НПО ЦКТИ, температуры металла статора, температуры и давления среды, омывающей ротор, осевого смещения ротора и абсолютного удлинения статора (стандартного и двух дополнительных).

Для точного измерения зазоров выпользуем аппаратуру НПО ЦКТИ для измерения осевых и радиальных зазоров в проточных частях цилиндров турбин блоков СКД, а также устанавливаемых на турбинах АЭС.

В комплект входят датчики для измерения зазоров (осевых или радиальных), приспособления для их крепления, Защитный экран с проводом датчика и измерительным устройством [1].



1 – корпус; 2, 4 – первичные обмотки; 3, 5 – вторичные обмотки; 6 – провода от обмоток; 7 – предохранительная трубка; 8 – крышка; 9 – термопара; 10 – сердечник  
Рисунок 1 – Датчик для измерения зазоров в проточной части турбины [1]

Так как характеристики датчиков термозависимы, каждый датчик оснащен термопарой и обработка результатов измерения ведется по градуировочным графикам зависимости показаний регистраторов статической и динамической составляющих зазора от температуры датчика.

Эта аппаратура позволяет измерять статические зазоры от 0,5 до 8 миллиметров и динамические зазоры от 0,1 до 1 миллиметра с относительной погрешностью не более 5 процентов.

Датчики устанавливаются в местах с наибольшим ожидаемым радиальным перемещением и на гладких участках вала, необходимых для работы дифференциально-трансформаторных датчиков. В двухпоточном ЦСД они крепятся к специальным выступам на внутренней поверхности внутреннего корпуса в двух плоскостях – вертикальной и горизонтальной.

Взаимное смещение осей статора и ротора ЦСД в двух плоскостях определяется как:



$$e_B = \frac{\overline{\Delta_B^B} - \overline{\Delta_B^H}}{2}, \quad (1)$$

$$e_G = \frac{\overline{\Delta_G^L} - \overline{\Delta_G^{PP}}}{2}. \quad (2)$$

где  $\overline{\Delta_B^B}$ ,  $\overline{\Delta_B^H}$ ,  $\overline{\Delta_G^L}$ ,  $\overline{\Delta_G^{PP}}$  – изменения радиальных зазоров по сравнению с установочными величинами в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Не отрицательная величина  $e_B$ , и  $e_G$ , говорит о передвижении оси вала вверх и влево по отношению к ротору (или о смещении ротора вниз и вправо). При положительных значениях  $e_B$ , верхние зазоры увеличены и определяющим становится уменьшение нижних радиальных зазоров и, наоборот, при отрицательных значениях  $e_B$ , определяющим становится уменьшение верхних зазоров.

Последнее измерение определяет деформацию статора и базового элемента. Прогибы диафрагм учитываются при определении величины зазоров в проточной, в которых установлены датчики зазоров, и осевая деформация ротора под действием центробежных сил (ЦБС).

Использование стандартных измерений и небольшого количества специальных датчиков делает эту методику пригодной для практического применения [2].

Важно отметить, что при проверке и анализе состояния проточной части турбины использование традиционных индикаторных КПД часто не обеспечивает ожидаемых результатов. Случается, что, после модернизации проточной части индикаторный КПД не регистрирует повышения эффективности. Это связано с особенностями течения пара в проточной части турбины, где утечка из периферийного уплотнения ступени предварительного впрыска может попасть в отбор и поэтому не участвует в формировании значения теплосодержания за цилиндром турбины. Индикаторный КПД, рассчитанный на основе значения теплосодержания, отражает лопаточный КПД, и изменения его величины характеризуют нарушения обтекания лопаточных решеток, вызванные, например, повреждениями или загрязнениями.

### **Заключение**

Эффективность работы системы диагностики определяется степенью соответствия выходной информации реальному состоянию диагностируемого объекта. Точность диагностики зависит от нескольких факторов, главным из которых является корректность применяемого метода, учитывающего фактические изменения параметров, условий работы и технологических переключений.

### **Литература**

1. Диагностика турбинного оборудования электрических станций / Л.А. Хоменок, А.Н. Ремезов, И.А. Ковалев и др.; под ред. Л.А. Хоменка. – СПб.: ПЭИПК, 2008. – 293 с.: ил.

2. Техническая диагностика / И.А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1978. – 241 с.: ил.



УДК 531.781.2

ДИСКРЕТНО-ФАЗОВЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ВИБРАЦИОННОГО  
СОСТОЯНИЯ ЛОПАТОК ПАРОВЫХ ТУРБИН  
DISCRETE-PHASE METHOD FOR CONTROLLING THE VIBRATION  
STATE OF STEAM TURBINE BLADES

Д.А. Степанов

Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

D. Stepanov

Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** в статье рассматривается дискретно-фазовый метод контроля вибрационного состояния лопаток паровых турбин. Данный метод представляет новую технологию управления виброустойчивостью лопаточных групп, основанную на использовании современных компьютерных моделей и алгоритмов обработки данных. Использование системы диагностики и прогнозирования виброволн в процессе работы турбины, в основе которого лежит дискретно-фазовый метод позволяет своевременно выявить неисправности и принять меры по их устранению. Результаты исследований показывают высокую эффективность применения предложенной технологии и ее перспективность для повышения безопасности эксплуатации паровых турбин.

**Abstract:** the article discusses a discrete-phase method for monitoring the vibration state of steam turbine blades. This method represents a new technology for controlling the vibration resistance of blade groups, based on the use of modern computer models and data processing algorithms. The use of a system for diagnosing and predicting vibration waves during the operation of the turbine, which is based on the discrete-phase method, allows timely detection of malfunctions and taking measures to eliminate them. The research results show the high efficiency of the proposed technology and its prospects for improving the safety of operation of steam turbines.

**Ключевые слова:** вибрационное состояние лопаток, дискретно-фазовый метод, колебания, число оборотов ротора турбины, датчики, динамические напряжения, полумуфта.

**Keywords:** vibration state of the blades, discrete-phase method, oscillations, number of revolutions of the turbine rotor, sensors, dynamic voltages, coupling halves.

### Введение

При эксплуатации паровых турбин существуют режимы, при которых вибрационное состояние лопаток не может быть обследовано не только при испытаниях в Кемпбелл-машине, но даже и в экспериментальных турбинах. К таким режимам относятся, например, синхронизация турбины, сброс нагрузки, возможность и интенсивность кинематического возбуждения колебаний лопаток вследствие вибрации ротора, а также аварийные режимы работы турбоагрегата (например, останов со срывом вакуума или короткое замыкание генератора).

Естественно, что получение ответов на вопросы о вибрационном состоянии лопаток при этих режимах возможно только при осуществлении непрерывного контроля их состояния в условиях эксплуатации.

### Основная часть

Одним из методов контроля является дискретно-фазовый метод (ДФМ), который представляет собой устройство, используемое для измерения времени прохождения лопатки мимо неподвижных точек на ее пути [1]. Оно состоит из двух датчиков, размещенных на разных высотах лопатки. Обычно используется индукционный датчик, который имеет магнитный сердечник круглого сечения с обмоткой из проволоки. Сердечник и обмотка помещены в стальной корпус, образуя разомкнутый магнитопровод. Когда лопатка, выполненная из магнитного материала, проходит мимо датчика, изменяется магнитный поток, проходящий через сердечник. Это приводит к индукции электродвижущей силы (э.д.с.) в обмотке датчика. Величина этой э.д.с. пропорциональна изменению магнитного потока по времени ( $d\Phi/dt$ ). График изменения величин  $\Phi$  и  $d\Phi/dt$  во времени показан на рисунке 1.

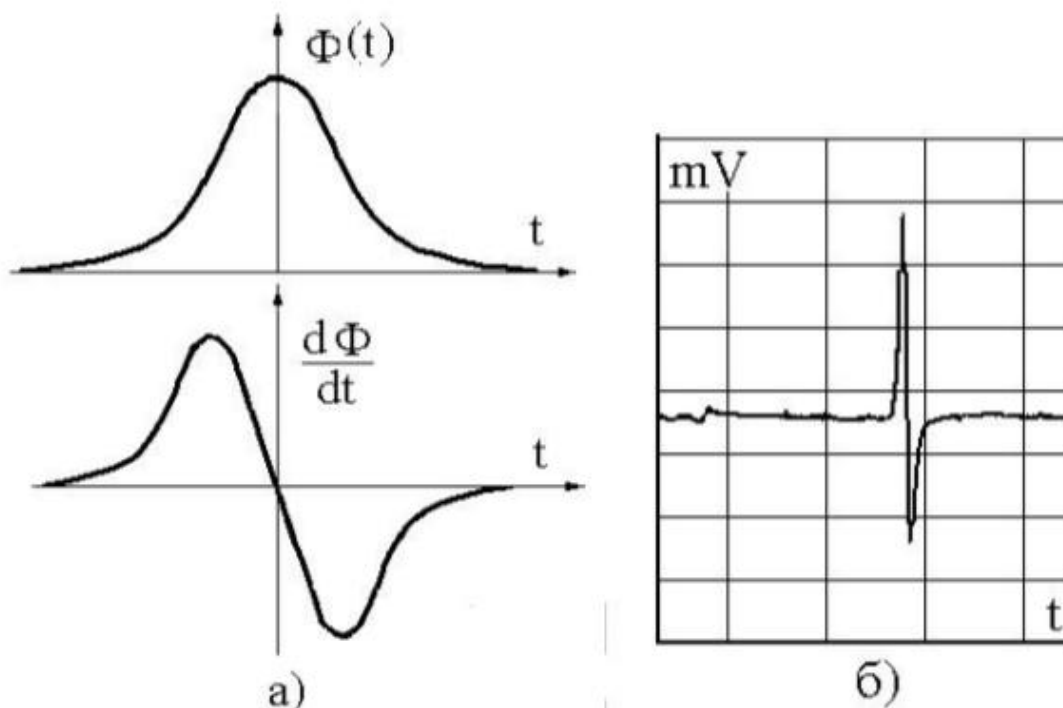
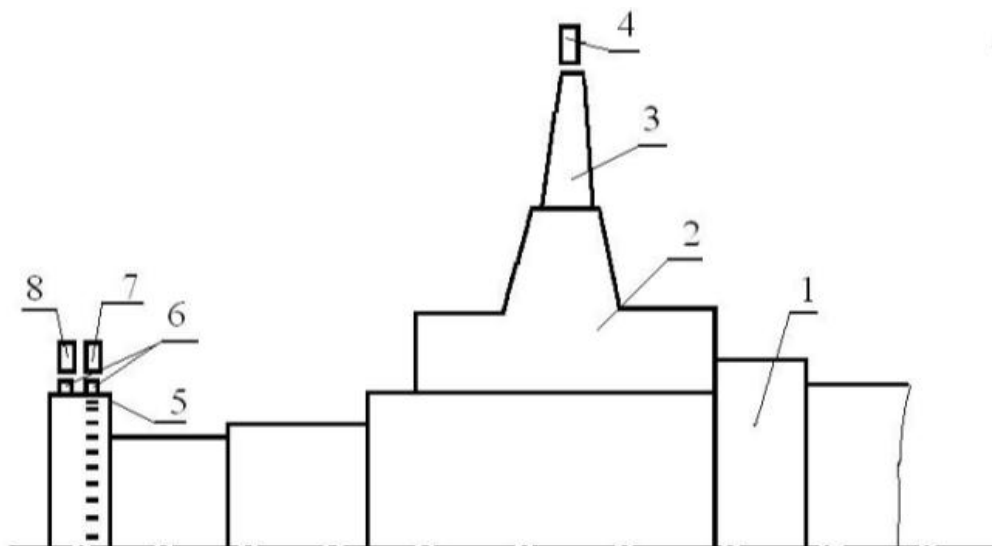


Рисунок 1 – Зависимость величин  $\Phi$  и  $d\Phi/dt$  от времени (а) и типичная зависимость от времени показаний индукционного датчика (б) [2]

При прохождении лопатки мимо датчика, необходимо точно зарегистрировать момент, когда происходит условие  $d\Phi/dt=0$  ( $\Phi=\Phi_{\max}$ ). Разница в моментах прохождения лопатки мимо первого и второго датчиков, установленных в разных поперечных сечениях, будет характеризовать только разницу в их окружных положениях, если нет колебаний. После возникновения колебаний, изменение этой разницы будет пропорционально разнице амплитуд колебаний лопатки в сечениях, где установлены датчики. Для правильной нумерации лопаток и определения коэффициента пропорциональности между временными и линейными величинами, необходимо установить датчик, который

будет регистрировать число оборотов ротора турбины (оборотный датчик) [1]. Естественно, что целесообразно один из датчиков установить вблизи вершины лопатки (периферийный датчик), а другой – в сечении, где колебания отсутствуют (корневой датчик). Кроме того, для правильной нумерации лопаток и определения коэффициента пропорциональности между временными и линейными величинами, необходимо установить датчик, регистрирующий число оборотов ротора турбины (оборотный датчик). Периферийный датчик целесообразно разместить против торцов вращающихся лопаток, а корневой и оборотный – вообще вынести из пределов проточной части. Установка датчиков в проточной части может привести к изменению окружной неравномерности потока и увеличению динамических напряжений в лопатках. Кроме того, при переходных режимах возможны осевые задевания и механические повреждения лопаток и датчиков. В паровых турбинах корневой и оборотный датчики изначально размещались в корпусе подшипника рядом с полумуфтой ротора. Для измерения оборотов на цилиндрической поверхности полумуфты необходимо создать специальный выступ или прорезь. Для измерений с помощью корневого датчика количество равномерно расположенных выступов или прорезей должно быть равно количеству лопаток в исследуемой ступени. В современной регистрирующей аппаратуре ДФМ замер интервалов времени осуществляется следующим образом: в момент перехода через нуль сигнала корневого датчика начинается отсчёт числа временных импульсов, вырабатываемых аппаратурой с весьма высокой стабильной частотой; отсчёт заканчивается в момент перехода через нуль сигнала периферийного датчика. Частота следования импульсов выбирается столь высокой (например, 40 МГц), чтобы достаточно точно измерить даже весьма малые амплитуды колебаний лопаток. Действительно, погрешность при определении амплитуд зависит от расстояния, проходимого периферийным сечением лопатки за время между двумя последующими импульсами. В отечественных паровых турбинах максимальная окружная скорость в периферийных сечениях лопаток достигает 660 м/с. Даже при столь высокой окружной скорости и частоте опроса 40 МГц погрешность определения амплитуды составляет всего 0,0165 мм. Для более коротких лопаток, а также при пусковых режимах погрешность уменьшается прямо пропорционально окружной скорости периферийного сечения лопатки [2]. Погрешность при определении оборотов с использованием частоты опроса 40 МГц даже при номинальной частоте вращения составит всего 0,00375 об/мин. Типовая схема размещения датчиков ДФМ при стандартном способе измерений имеет вид, изображённый на рисунке 2.



1 – ротор турбины; 2 – диск; 3 – рабочая лопатка; 4 – периферийный датчик; 5 – полумуфта ротора; 6 – выступы (или прорези) на полумуфте; 7 – корневой датчик; 8 – оборотный датчик  
Рисунок 2 – Стандартная методика размещения датчиков ДФМ [2]

Процесс измерений осуществляется следующим образом: после прохождения выступа на полумуфте мимо обратного датчика, на одном из каналов измерительной аппаратуры начинается отсчет временных импульсов, который заканчивается в момент повторного прохождения выпуклости мимо обратного датчика. Таким образом, узнается число импульсов, которое соответствует длине окружности в периферическом сечении лопатки и, следовательно, линейное расстояние, которое пройдет вершина лопатки за время между последующими импульсами при данных оборотах ротора. При прохождении одного из выступов на полумуфте мимо корневого датчика начинается отсчет временных импульсов на другом канале измерительной аппаратуры, который заканчивается при прохождении лопатки мимо периферического датчика. Посчитанное число импульсов сохраняется в памяти компьютера, и вычисления повторяются для остальных "пар" выступов на полумуфте и лопатках на колесе. Поскольку на основе показаний обратного датчика известно, какое окружное расстояние пройдет периферическое сечение лопатки за время между двумя последующими импульсами, то для каждой из лопаток можно вычислить расстояния  $S_i$ , которые определяются разницей угловых координат данного выступа на полумуфте и "соответствующей" ей лопатки. При увеличении оборотов и отсутствии колебаний лопаток, а также закручивания участка ротора между лопатками и полумуфтой, величины  $S_i$  теоретически остаются неизменными, так как уменьшение числа импульсов за время между прохождением выступа мимо корневого датчика и лопатки мимо периферического полностью компенсируется увеличением расстояния, пройденного периферическим сечением лопатки между двумя последующими импульсами [2]. Если при изменении оборотов возникнут резонансные колебания лопаток, то при последующих измерениях из-за постепенного увеличения амплитуды и изменения фазы колебаний величины  $S_i$  будут иметь изменения  $\Delta S_{i(n)}$ , которые являются функцией оборотов. В зависимости от

угловой координаты установки периферического датчика, величина  $\Delta S_{i(n)}$  может быть как больше, так и меньше нуля или даже менять знак при прохождении резонанса. При отсутствии систематических погрешностей измерений величины  $S_i$  до и после прохождения резонанса должны быть одинаковыми. Если в определенной зоне оборотов возникнут рывковые колебания или автоколебания (не кратные числу оборотов ротора), то величины  $S_i$  при последующих измерениях будут иметь "хаотические" изменения разных знаков, так как фаза рывковых или автоколебаний при последующих измерениях будет изменяться произвольным образом.

### **Заключение**

В данной работе был рассмотрен дискретно-фазовый метод контроля вибрационного состояния лопаток паровых турбин. Результаты исследований позволили сделать несколько выводов.

Во-первых, использование дискретно-фазового метода позволяет достичь высокой точности и надежности при контроле вибраций лопаток паровых турбин. Благодаря анализу фазовых сдвигов между сигналами, получаемыми от различных точек лопатки, можно точно определить место возникновения вибраций и их характер. Во-вторых, дискретно-фазовый метод позволяет проводить контроль вибраций в реальном времени. Это важно для оперативного реагирования на изменения вибрационного состояния лопаток, что в свою очередь позволяет предотвращать возможные аварийные ситуации и обеспечивает безопасность и надежность работы паровых турбин. Кроме того, дискретно-фазовый метод является достаточно простым в реализации и не требует сложного оборудования. Это позволяет его эффективно использовать как при осуществлении диагностики существующих паровых турбин, так и при проектировании новых.

Таким образом, использование дискретно-фазового метода контроля вибрационного состояния лопаток паровых турбин является перспективным и эффективным подходом. Он позволяет добиться высокой точности и надежности контроля, обеспечивает оперативность реагирования на изменения вибрационного состояния и может быть легко реализован как в диагностике, так и в проектировании паровых турбин.

### **Литература**

1. Разновидности автоколебаний лопаток паровых турбин и меры борьбы с ними [Электронный ресурс] / Разновидности автоколебаний лопаток паровых турбин и меры борьбы с ними. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/raznovidnosti-avtokolebaniy-lopatok-parovyh-turbin-i-mery-borby-s-nimi/viewer/>. – Дата доступа: 10.10.2023.
2. Колебания рабочих лопаток паровых турбин и меры борьбы с ними / К.Н. Боришанский. – Санкт-Петербург: [б.и.], 2011. – 323 с.



УДК 621.039

**ИННОВАЦИИ В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ  
INNOVATIONS IN NUCLEAR ENERGY**

Ю.С. Ровская, С.А. Лучина

Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Y. Rouskaya, S. Luchyna

Supervisor – V. Kravchenko, Candidate of Economic Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** данная статья приводит примеры инноваций в ядерной энергетике, которые помогут уменьшить вредное воздействие на экологию, увеличить эффективность производства, уменьшить риски и минимизировать издержки, а также увеличить выработку энергии.

**Abstract:** this article provides examples of innovations in nuclear energy that will help reduce the harmful effects on the environment, increase production efficiency, reduce risks and minimize costs, as well as increase energy production.

**Ключевые слова:** быстрый реактор, МОКС-топливо, термоядерный реактор, плавучая АЭС.

**Keywords:** fast reactor, MOX fuel, thermonuclear reactor, floating nuclear power plant.

**Введение**

В современном мире роль атомной энергетики возросла. Эта отрасль промышленности постоянно развивается. В мировой энергетической системе доля атомной энергетики равна 17%. Данная отрасль занимает третье место после угольной энергетики и гидроэнергетики. Это значительная часть мировой энергетики, и ожидается, что в ближайшие 10 лет использование ядерной энергии будет расти. Невысокая себестоимость атомной энергии и полное отсутствие выбросов парниковых газов и аэрозолей дает АЭС значительное преимущество перед другими видами электростанций. В этом докладе будут описаны последние инновации в атомной энергетике, которые позволили сделать огромный шаг к новым открытиям в этой отрасли и привели к ее значительному развитию.

**Основная часть**

Вот три причины, почему мир постепенно переходит к атомной энергии:

- Ядерная энергия не портит качество воздуха. Он генерирует энергию посредством ядерного деления, которое представляет собой процесс расщепления атомов урана с получением энергии, соответственно, никаких газов не выделяется.
- Атомная электростанция не занимает много места. Несмотря на производство большого количества безуглеродной энергии, ядерная энергетика производит больше электроэнергии на меньших площадях, чем любой другой источник чистого воздуха. Для работы типичной атомной электростанции мощностью 1000 мегаватт требуется чуть более



1 квадратной мили. По данным NEI, ветряным электростанциям требуется в триста шестьдесят раз больше места для выработки того же количества электроэнергии, в то время как солнечным фотоэлектрическим установкам требуется в 75 раз больше места.

- Ядерная энергетика производит минимальное количество отходов. Одна таблетка ядерного топлива имеет очень маленький размер и вес 4.5 грамма, но при этом производит 101 Дж тепловой энергии. Выгорание топлива в реакторе достигает 3500 МВт·сутки/т. Но в данное время запасы урана-235 невелики, и постоянно уменьшаются, в связи с его естественным распадом. При эксплуатации АЭС появляются ядерные отходы, и их число растет. Поэтому разрабатываются ядерные реакторы и атомные электростанции с замкнутым ядерным топливным циклом. Суть в том, чтобы перерабатывать ядерные отходы, извлекать из них плутоний-239 и использовать их в качестве ядерного топлива [1].

Недавно отработавшее ядерное топливо имеет высокий уровень радиоактивности, так как в нем присутствуют актиниды, такие как уран, плутоний, нептуний, америций, кюрий. Массовая доля плутония составляет примерно 1% от отработавшего топлива. Доли его изотопов примерно равны:  $Pu-241$  15%,  $Pu-239$  52%,  $Pu-242$  6%,  $Pu-240$  24%,  $Pu-238$  2%. Эти изотопы либо имеют способность дальше делиться, либо их можно превратить в делящиеся посредством трансмутации. При применении инновационного метода переработки ядерных отходов, используют метод химического разделения. С помощью данного метода плутоний и актиниды извлекаются из отработавшего ядерного топлива. Далее проводится трансмутация, во время которой сжигаются путем ядерного деления нептуний, плутоний, америций и кюрий. Для данной радиохимической переработки используют реакторы типа ВВЭР-440 или реакторы на быстрых нейтронах [1].

И в результате остается плутоний и уран, которые можно использовать для производства смешанного топлива. Экстрагирование данных элементов позволяет снизить необходимость в уране до 30%. Также это позволяет существенно уменьшить количество ядерных отходов и сделать их менее радиоактивными в долгосрочной перспективе. В данное время существует несколько разновидностей смешанного топлива, которое может быть произведено из переработанных материалов: МОКС-топливо, SNUP-топливо. МОКС-топливо - это ядерное топливо на основе двух компонентов: оксида урана 235 и оксида плутония 239. Доля оксида плутония-239 в МОКС-топливе примерно составляет от 1,5 до 25–30%. Также можно использовать оружейный плутоний для изготовления МОКС-топлива. В тепловых реакторах достигается 30% выгорание плутония из МОКС-топлива. А в быстрых реакторах это значение намного больше, потому что быстрые нейтроны реагируют с ураном-238. Французский реактор «Феникс» самым первым, в 1970-е годы, начал работать полностью на МОКС-топливе. В Китае в 2011 году запустили экспериментальный быстрый реактор CEFR. Сейчас строится демонстрационный блок с CFR-600, который должен запуститься в 2023 году. В России полностью на МОКС-топливе работает реактор БН-800. Реакторы на быстрых нейтронах были созданы с целью замены обычных реакторов, а также для уменьшения количества

радиоактивных отходов и для создания замкнутого ядерного топливного цикла – почти безотходного производства. Первым реактором на быстрых нейтронах был советский исследовательский БОР-60, который работает по сей день [2].

На Белоярской АЭС с 1980 года эксплуатируется быстрый реактор БН-600. Основная загрузка реактора состоит из оксида урана с обогащением 17, 21 или 26%, и небольшого количества МОКС-топлива. В корпусе реактора, помимо активной зоны, находятся главные циркуляционные насосы ГЦН и промежуточные теплообменники ПТО. Этот реактор трехконтурный. В первых двух контурах теплоносителем выступает натрий. Давление теплоносителя в корпусе примерно равно атмосферному и превышает его всего на 0,05 МПа, поэтому опасность разрыва корпуса исключается. Также это упрощает выбор материалов и сборку корпуса [2].

Реактор БН-800 базируется на проверенных технологиях реактора БН-600, с добавлением новых технологий. Вот некоторые из них: автономная технология аварийной защиты в виде гидравлически взвешенных стержней СУЗ, которые реагируют на снижение расхода натрия, пассивные системы аварийного расхолаживания, под активной зоной построена «ловушка расплава», улучшена защита от сейсмической активности. Этот реактор с 2022 года работает полностью на МОКС-топливе.

Главная инновация будущего – термоядерный синтез. Он позволит получать намного большее количество энергии, чем обычные ядерные реакторы. За последние 50 лет было проведено много экспериментов с термоядерными реакциями. За это время в мире было построено примерно 30 токамаков, в данный момент работает 60. Для увеличения мощности в таких реакторах исследователи работают над оптимизацией состояния плазмы через изменение плотности, температуры и времени удержания.

Некоторые из этих улучшений стали возможны благодаря увеличению размеров экспериментальных термоядерных установок. В течении десяти лет строится и собирается инновационный термоядерный реактор ИТЭР. Размер ИТЭР в два раза превосходит размер JET. Следовательно, объем плазмы в ИТЭР больше в десять раз. Использование инновационных конструкций и материалов дает возможность оборудовать ИТЭР самыми мощными устройствами для нагрева плазмы. Одно из них – гиротрон мощностью 1 МВт. На ИТЭР всего из 50 МВт тепловой энергии, затрачиваемой на нагрев плазмы, будет производиться в 10 раз больше термоядерной энергии – 500 МВт. Максимальная производительность ИТЭР будет огромной, но она будет реализована на небольшие промежутки времени – 5–10 минут. Для обеспечения постоянной подачи электроэнергии, будущие термоядерные электростанции должны работать непрерывно [3].

Одна из главных целей ИТЭР – доказать, что управляемый термоядерный синтез возможен. И что результатом термоядерной реакции служит выделение большего количества энергии, чем затраченного. Сначала энергия расходуется на разогрев плазмы. Потом, благодаря термоядерному синтезу, энергия выделяется в большем количестве: с одной реакции синтеза дейтерия с тритием выделяется 17,6 МэВ [3]. В таких термоядерных реакторах применяются системы нагрева в виде разрядов тока, лазеров и гиротронов. А также мощных магнитов для удержания

плазмы и недопущение ее соприкосновения со стенками токамака, чтобы она оставалась горячей и происходила термоядерная реакция.

Главным показателем эффективности реактора есть коэффициент усиления термоядерной энергии. Он представляет отношение произведенной термоядерной энергии к затраченной на разогрев плазмы энергии. Этот коэффициент обозначается символом « $Q$ ». На данный момент наибольший коэффициент равен 0,67, достигнутый на JET. Однако, чтобы добиться самопроизвольной и долговременной термоядерной реакции, коэффициент  $Q$  должен быть равен пяти.

Плавучая атомная станция – новый необычный проект, который позволяет обеспечивать энергией и теплом отдаленные районы, где невозможно установить атомную станцию. Ее преимущество в том, что она мобильная, и может перемещаться в разные регионы, например для обеспечения энергией Антарктиду, где проводятся разные исследования. В 2020 году введена в эксплуатацию российская ПЭБ «Академик Ломоносов», оснащенная двумя водо-водяными реакторами КЛТ-40С. Вместе они подают на берег 70 МВт электроэнергии и до 50 Гкал/ч тепловой энергии. Полная электрическая мощность составляет 76 МВт. Максимальная тепловая мощность, которую возможно подать, примерно равна 146 Гкал/ч. А электрическая мощность в этот момент составляет порядка 44 МВт. Электроэнергией и теплом, вырабатываемой этой плавучей АЭС, одновременно можно обеспечить около 100 000 человек [4].

### **Заключение**

Благодаря инновациям атомная энергетика развивается с каждым днем, и в будущем мир полностью перейдет на данный источник энергии, так как он очень эффективный и быстро окупается, также не принося сильного вреда окружающей среде. Примеры, приведенные в данном докладе, сподвигнут к появлению новых проектов и инноваций, позволяющих сделать прорыв в данной отрасли.

### **Литература**

1. Ядерные инновации [Электронный ресурс] / Атомная энергетика. – Режим доступа: <https://www.iaea.org/sites/default/files/23-03627rbulletinseptweb.pdf> /. – Дата доступа: 15.10.2023.
2. Реакторы на быстрых нейтронах [Электронный ресурс] / Атомная энергетика. – Режим доступа: <https://www.ippe.ru/nuclear-power/fast-neutron-reactors/> /. – Дата доступа: 16.10.2023.
3. ИТЭР – крупнейший в мире эксперимент по термоядерному синтезу [Электронный ресурс] / Атомная энергетика. – Режим доступа: <https://www.iaea.org/ru/energiya-termoyadernogo-sinteza/iter-krupneyshiy-v-mire-eksperiment-po-termoyadernomu-sintezu/> /. – Дата доступа: 16.10.2023.
4. Плавучая АЭС [Электронный ресурс] / Атомная энергетика. – Режим доступа: [https://www.rosenergoatom.ru/stations\\_projects/sayt-pates/](https://www.rosenergoatom.ru/stations_projects/sayt-pates/) /. – Дата доступа: 15.10.2023.

УДК 621.438

**ИНСПЕКЦИИ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БОРОСКОПА  
INSPECTIONS OF GAS TURBINE UNITS USING A BOROSCOPE**

Н.Д. Рудаков, И.Г. Черенкевич

Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

N. Rudakov, I. Cherenkevich

Supervisor – S. Kachan, Candidate of Technical Sciences, Docent

Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** рассмотрены некоторые особенности проведения инспекции ответственных элементов газотурбинных установок с применением оптических бороскопов. Показаны зоны доступа для осмотра и возможные повреждения элементов. Перечислены преимущества использования бороскопов, позволяющих проводить инспекцию без разбора установки.*

***Abstract:** some features of the inspection of the critical elements of gas turbine units using optical borescopes are considered. Access zones for inspection and possible damages of elements are shown. The advantages of using borescopes that allow inspection without disassembling the installation are listed.*

***Ключевые слова:** газотурбинная установка, инспекция, оптический бороскоп.*

***Keywords:** gas turbine unit, inspection, optical borescope.*

### **Введение**

Газотурбинные установки (ГТУ) – это сложное оборудование, которое работает в условиях чрезвычайно высоких температур и повышенных давлений. Во избежание поломок, аварий, внеплановых простоев и других ситуаций, мешающих эксплуатации ГТУ, следует своевременно проводить их осмотр и плановый ремонт. Рассмотрим возможности по обследованию и измерению некоторых критических внутренних компонентов ГТУ без демонтажа наружного корпуса установки, которые проводятся во время А-инспекции.

### **Основная часть**

Современные ГТУ оснащены средствами визуального контроля узлов и элементов роторов компрессора, газовой турбины и секций камеры сгорания с помощью оптического бороскопа (рисунок 1) [1].

Для бороскопического контроля используются выровненные в радиальном направлении отверстия в корпусах и во внутренних стационарных кожухах ГТУ, предназначенные для введения оптического бороскопа в зоны газового или воздушного тракта неработающей установки (рисунок 2).

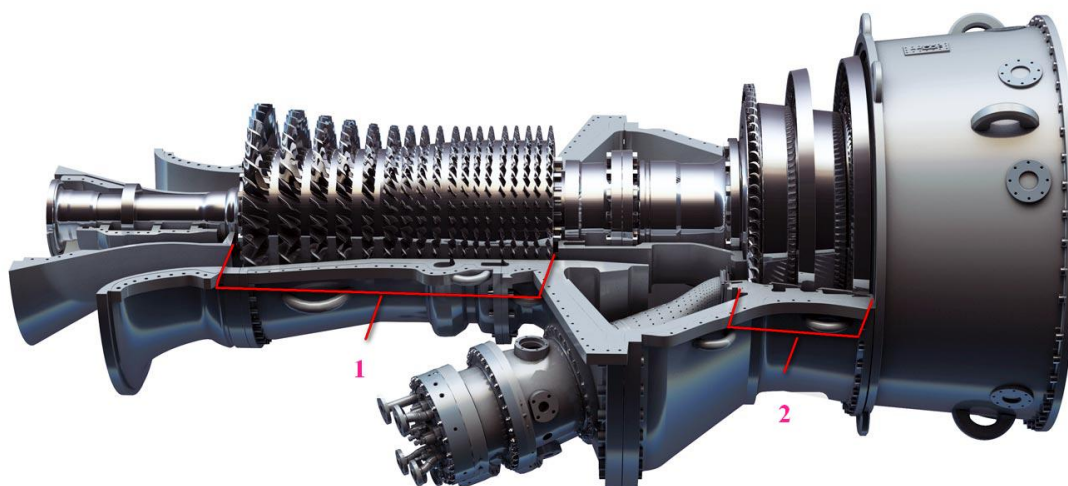
Оптические бороскопы используются для визуального контроля вращающихся и неподвижных частей без демонтажа верхней половины корпусов компрессора и турбины (рисунки 3, 4) [2].

Бороскоп позволяет квалифицированному техническому специалисту быстро выполнить осмотр указанных ниже в таблице 1 зон с минимальными временем простоя, трудозатратами и потерями от останова производства.





Рисунок 1 – Внешний вид профессионального бороскопа [1]



1 – 8 групп отверстий, распределенных вдоль оси компрессора; 2 – 5 групп отверстий, распределены вдоль оси турбины

Рисунок 2 – Места для инспекционного ввода бороскопа на примере ГТУ GE [2]



Рисунок 3 – Осмотр бороскопом горелочной камеры ГТУ типа GT13E2 [2]



Рисунок 4 – Вид на лопатки первой ступени ГТУ типа GE MS5001 на экране бороскопа [2]



Бороскопическую проверку можно выполнять во время планового или внепланового останова. Реализация программы плановых бороскопических проверок позволяет открывать корпус турбины только при необходимости выполнения ремонта или замены деталей.

Необходимо отметить, что расчет интервалов проверок основывается на усредненных режимах работы установок. На основании накопленного опыта, режима работы конфетной установки и используемых видов топлива можно откорректировать длительность интервалов.

Программа бороскопических проверок должна охватывать:

- базовую проверку и регистрацию, как письменно, так и фотографически состояния деталей во время пуска;
- периодические проверки и регистрацию результатов.

Таблица 1 – Зоны контроля бороскопом элементов ГТУ [2]

Зона доступа	Возможные повреждения
Лопатки компрессора	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Повреждения посторонними предметами.</li> <li>– Нарастание грязи.</li> <li>– Коррозия.</li> <li>– Эрозия по концам лопаток.</li> <li>– Истончение выходной кромки.</li> <li>– Эрозия основания спрямляющих лопаток.</li> <li>– Зазор над концами лопаток.</li> </ul>
Камера сгорания (обшивка и переходный отсек)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Нарастание нагара,</li> <li>– Места перегрева.</li> <li>– Образование трещин.</li> <li>– Выпучивание.</li> <li>– Износ.</li> <li>– Отсутствие металла.</li> </ul>
Сопловые лопатки турбины	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Повреждения посторонними предметами.</li> <li>– Коррозия.</li> <li>– Закупорка отверстий охлаждения.</li> <li>– Образование трещин.</li> <li>– Изгиб выходной кромки.</li> <li>– Эрозия.</li> <li>– Выгорание</li> </ul>
Рабочие лопатки турбины	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Повреждения посторонними предметами.</li> <li>– Коррозия.</li> <li>– Газовые раковины.</li> <li>– Эрозия.</li> <li>– Образование трещин.</li> <li>– Зазор над концами лопаток.</li> <li>– Отсутствие металла.</li> </ul>

При этом для исследования камер сгорания потребуется демонтировать топливные форсунки. Перед тем, как продолжить инспекционную проверку камер сгорания, следует убедиться в том, что электрическое питание газовой турбины опломбировано: система пожаротушения деактивирована; система подачи жидкого топлива продута, деактивирована и/или система подачи питающего газа перекрыта.

## Заключение

Применение программы контроля с использованием бороскопа позволяет спланировать периоды простоя и предварительно оценить потребность в запасных частях, что приводит к снижению расходов на техническое обслуживание, повышению эксплуатационной готовности и надежности газовой турбины.

## Литература

1. Профессиональный бороскоп с функцией автофокусировки [Электронный ресурс] / Профессиональный бороскоп. – Режим доступа: <https://russian.alibaba.com/product-detail/8mm-5M-1080P-HD-Auto-Focus-62205360394.html> /. – Дата доступа: 24.08.2023.
2. Сервисное обслуживание газотурбинных установок [Электронный ресурс] / ОАО «Белэнергоремналадка» PowerPoint Presentation, 2014. – Режим доступа: <https://fr.slideserve.com/javan/5658669> /. – Дата доступа: 24.08.2023.

УДК 621.311

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ  
ULTRAFILTRATION METHOD FOR WATER PURIFICATION**

А.С. Караневская

Научный руководитель – Н.Б. Карницкий, д.т.н., профессор  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

А. Karanevskaya

Supervisor – N. Karnitsky, Doctor of Technical Sciences, Professor  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** в настоящее время в энергетике начали активно развиваться новые методы для очистки воды. Одним из таких методов являются ультрафильтрационная технология. Выбор данной технологии объясняется рядом преимуществ как технологических, так и экономических. Ранее ультрафильтрация успешно применялась в других отраслях промышленности, таких как пищевая и химическая. В данной статье рассматривается сущность метода ультрафильтрации, его плюсы и минусы, а также применение данной технологии фильтрации на электростанциях Республики Беларусь.

**Annotation:** currently, new methods for water purification have begun to actively develop in the energy sector. One of these methods is ultrafiltration technology. The choice of this technology is explained by a number of advantages, both technological and economic. Previously, ultrafiltration was successfully used in other industries, such as food and chemical. This article discusses the essence of the ultrafiltration method, its pros and cons, as well as the application of this filtration technology to the power plant of the Republic of Belarus.

**Ключевые слова:** ультрафильтрация, мембрана, примеси, очистка.

**Key words:** ultrafiltration, membrane, impurities, purification.

**Введение**

Ультрафильтрация – это баромембранный процесс, который заключается в продавливании жидкости через полупроницаемую перегородку (мембрану). На данный момент научно-исследовательскими институтами было разработано большое количество различных мембран, размер отверстий (пор) которых лежат в пределах от 5 нм до 0,05–0,1 мкм [1].

Использование ультрафильтрации для очистки воды связано, прежде всего, с неудовлетворительным качеством исходной воды. Ранее использовались песчаные зернистые фильтры, которые не позволяли задерживать примеси мелкой дисперсности.

Ультрафильтрация позволяет получать воду более высокого качества, чем различные механические фильтры.

Иногда ультрафильтрацию используют как самостоятельный метод осветления воды перед подачей её на установки ионно-обменного обессоливания или на схему умягчения. Таким образом можно считать ультрафильтрацию хорошей альтернативой, а в перспективе и заменой осветлительным методам.

**Основная часть**

Как было сказано ранее, ультрафильтрация имеет ряд технологических преимуществ перед традиционными методами очистки воды (коагуляция, осаждение): а именно при использовании данной технологии значительно сокращается число использованных площадей, меньше объём потребляемых химических реагентов, высокая степень автоматизации, лучшее качество воды после фильтрации и т.п.

Однако внедрение данной технологии сдерживается более высокими (примерно в 2–3 раза) капитальными затратами, так как на поверхности мембран может образовываться осадок, который резко снизит производительность установки.

Главным элементом любой ультрафильтрационной системы являются мембранные аппараты, которые бывают различной конструкции, с различным типом мембран и режимом работы. Именно от мембранных аппаратов будет зависеть успех работы всей установки.

Отличие мембранной фильтрации от обычного объёмного фильтрования в том, что в процессе работы на поверхности мембраны накапливаются задерживаемые вещества, которые создают дополнительный фильтрационный слой, обладающий сопротивлением.

Однако в процессе длительной работы производительность аппаратов падает из-за слишком большого слоя веществ, которые были задержаны на мембранах, что приводит к увеличению общего гидравлического сопротивления. Для восстановления производительности мембранные аппараты несколько раз в год промывают химическими реагентами (кислотой или щёлочью) для удаления накопившихся загрязнений.

В качестве материала для ультрафильтрационных мембран используется полимерные вещества: ацетат целлюлозы, полисульфон, полиэтерсульфон, полиамид, полиимид, поливинилоденфторид, полиакрилонитрил и их производные. Конструкция у большинства мембран асимметричная – на поверхности тонкий селективный слой толщиной несколько десятков микрометров (мк) [2] или менее, а в основании пористая подложка, обеспечивающая прочность. Современные мембраны могут работать в широком диапазоне рН, обладают высокой селективностью и производительностью. Срок эксплуатации мембран составляет порядка 5 лет и за это время фильтрационные свойства ухудшаются незначительно.

Снижение срока эксплуатации мембран может произойти из-за истончения верхнего фильтрующего слоя при взаимодействии с взвешенными и абразивными веществами или очищающими химическими реагентами.

Для работы ультрафильтрационной установки необходим перепад давления на мембране всего 5–15 м (0,05–0,15 МПа), поэтому, удельное энергопотребление таких систем (от 0,2 до 0,5 кВт·ч/м<sup>3</sup>) сопоставимо с энергопотреблением традиционных методов фильтрования [3].

Главный минус ультрафильтрационных мембран – это невозможность существенно повлиять на цветность и окисляемость воды, так как большинство органических соединений, которые содержатся в исходной природной воде имеют размер молекул порядка 10 нанометров (нм) [1] и менее. Следовательно,

наиболее распространённые мембраны, имеющие размер пор порядка 0,01 микрометра (мкм), не смогут задержать данные примеси. Чтобы нивелировать данный недостаток необходимо использовать коагуляцию перед подачей воды на ультрафильтрационную установку. Благодаря данному решению повышается очистка воды по цветности и окисляемости, а также увеличивается срок службы мембран.

Ультрафильтрационные установки собираются в блоки. Блоки могут быть различной производительности. На рисунке 1 представлен ультрафильтрационный блок производительностью 15–20 м<sup>3</sup>/ч [3].



Рисунок 1 – Ультрафильтрационный блок производительностью 15–20 м<sup>3</sup>/ч [3]

Помимо удаления из воды различных загрязнений мембранные аппараты могут использоваться для удаления из воды коррозионно–активных газов (кислород и углекислый газ). Мембраны, которые используются для удаления растворённых газов получили название гидрофобные а, метод удаления мембранной дегазацией. Гидрофобная мембрана проницаема для воды, но не проницаема для газов. Дегазация осуществляется без применения каких-либо дополнительных химических реагентов. Установки для мембранной дегазации более экономичные и компактные, в отличие от традиционных методов дегазации (например декарбонизатор).

Установки для мембранной дегазации работают на основе закона Генри-Дальтона. Данный закон устанавливает связь концентрации растворённого в



воде газа и его давлением над поверхностью воды. В установке за счёт подачи продувочного газа для продувки или создания вакуума создаются условия, при которых на внутренней стороне полого волокна мембран осуществляется перенос растворённых газов из жидкой среды (за счёт снижения парциального давления газа в газовой среде). Вода, которую необходимо дегазировать подаётся в мембранный аппарат и проходит по внешней стороне полых волокон мембран. В направлении обратному течению жидкости подаётся продувочный газ или внутренняя сторона мембранного волокна вакуумируется. В результате данных действий создаётся разность концентраций газа в жидкой и газовой средах и начинается перенос растворённого газа из жидкой среды в газообразную.

В зависимости от требуемого качества воды и её расхода мембранные аппараты могут устанавливаться в установки для дегазации различными способами и работать в разных режимах.

Один из способов установки, это модульная конструкция. Она имеет ряд преимуществ, главное из которых это возможность наращиваться производительность путём включения дополнительных аппаратов.

Мембранные декарбонизаторы устанавливаются также после установок обратного осмоса. После установок обратного осмоса происходит снижения рН, что приводит к образованию свободного  $CO_2$ . Наличие свободного углекислого газа приводит к снижению удельного сопротивления воды, уменьшению срока службы ионно-обменного материала, а также может в какой-то степени повлиять на работу основного оборудования.

Также мембранные декарбонизаторы могут устанавливаться между ионообменными фильтрами, так как после прохождения воды через катионитный фильтр образуется большое количество  $CO_2$  которое необходимо удалить перед подачей воды на анионитный фильтр или ФСД (фильтр смешивающего действия). Их установка приводит к увеличению срока службы ионита и уменьшению химических реагентов на его регенерацию.

Свободный углекислый газ появляется между ступенями обратного осмоса при использовании двухступенчатого обратного осмоса. Как правило, снижение рН среды которое и приводит к образованию  $CO_2$  происходит после первой ступени. В схемах, где после первой ступени обратного осмоса подаётся щёлочь, установка мембранного декарбонизатора приводит к снижению затрат на химические реагенты.

Наличие в воде кислорода приводит к коррозионным повреждениям технологического оборудования. Для удаления кислорода из воды также используют мембранные декарбонизаторы.

Мембранные декарбонизаторы могут использоваться как для полной замены альтернативных методов декарбонизации, так и для частичного удаления  $O_2$ , с доочисткой традиционным способом.

В Республике Беларусь на данный момент ультрафильтрационные установки не используются, однако за последние годы успешно прошли испытания по опробованию данной технологии на Минской ТЭЦ-4, Минской ТЭЦ-5, Минской ТЭЦ-2, на Осиповичской мини-ТЭЦ, Вилейской мини-ТЭЦ.



### Заключение

Успешно проведённые испытания ещё не являются основаниями для возможности дальнейшего расширения данного метода. Использование ультрафильтрационных мембран ограничено видами различных загрязнений, которые содержатся в воде.

Так, снижение цветности (обусловленной растворимыми в воде гуминовыми веществами с молекулярной массой от 2000 до 250000 а.е.м.) [3], а также удаление из воды хлорорганических веществ – невозможно осуществить ультрафильтрационными мембранами. Однако специалисты разрабатывают различные комбинированные схемы с использованием различных процессов.

### Литература

1. Андрианов, А.П. Методика определения параметров эксплуатации ультрафильтрационных систем очистки природных вод / А.П. Андрианов, А.Г. Первов // Критические технологии. Мембраны. – 2003. – № 2. – С. 16–18.
2. Астапчик, Н.Н. Применение технологии ультрафильтрации для предварительной обработки воды на ТЭС / Н.Н. Астапчик; науч. рук. А.В. Нерезько // Актуальные проблемы энергетики: материалы 72-й научно-технической конференции студентов и аспирантов / Белорусский национальный технический университет, Энергетический факультет. – Минск: БНТУ, 2016. – С. 452–455.
3. Методы ультрафильтрации в современном водоснабжении проблемы и перспективы [Электронный ресурс] / Aquasorbent. – Режим доступа <https://aquasorbent.ru/articles/1-metod-ultrafiltratsii-v-sovremennom-vodosnabjenii-problemyi-i-perspektivy/>. – Дата доступа: 29.10.2023.

УДК 621.039.5

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РЕАКТОР НАЦИОНАЛЬНОГО  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЯДЕРНОГО УНИВЕРСИТЕТА «МИФИ»  
RESEARCH REACTOR OF THE NATIONAL  
RESEARCH NUCLEAR UNIVERSITY «МЕРНИ»

Е.А. Грищенко, М.Ю. Нагорнюк

Научный руководитель – А.Д. Мухин, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

E. Grishenko, M. Nagornyuk

Supervisor – A. Mukhin, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** рассматривается структура, назначение, основные достижения и будущая роль в развитии ядерной науки и технологий исследовательского реактора Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (НИЯУ МИФИ).

**Abstract:** the structure, purpose, main achievements and future role in the development of nuclear science and technology of the research reactor of the National Research Nuclear University «МЕРНИ» are considered.

**Ключевые слова:** исследовательский ядерный реактор, эксперименты и исследования.

**Keywords:** research nuclear reactor, experiments and research.

### Введение

Исследовательский реактор Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» ИРТ является одним из ключевых объектов в области научных ядерных исследований и образования в Российской Федерации (рисунок 1) [1, 2]. Посещение данного реактора был важным этапом производственной (специализирующей) практики студентов кафедры «Тепловые электрические станции» БНТУ (рисунок 2).

### Основная часть

Исследовательский реактор Национального исследовательского ядерного университета (НИЯУ МИФИ) - это объект, специально созданный для проведения экспериментальных исследований в области ядерной физики и технологий. Он находится на территории НИЯУ МИФИ в Москве, и его конструкция обеспечивает выполнение широкого спектра экспериментов и исследований с использованием нейтронного излучения.

Основные параметры реактора приведены в таблице 1 [1].



Рисунок 1 – Исследовательский ядерный реактор МИФИ [2]

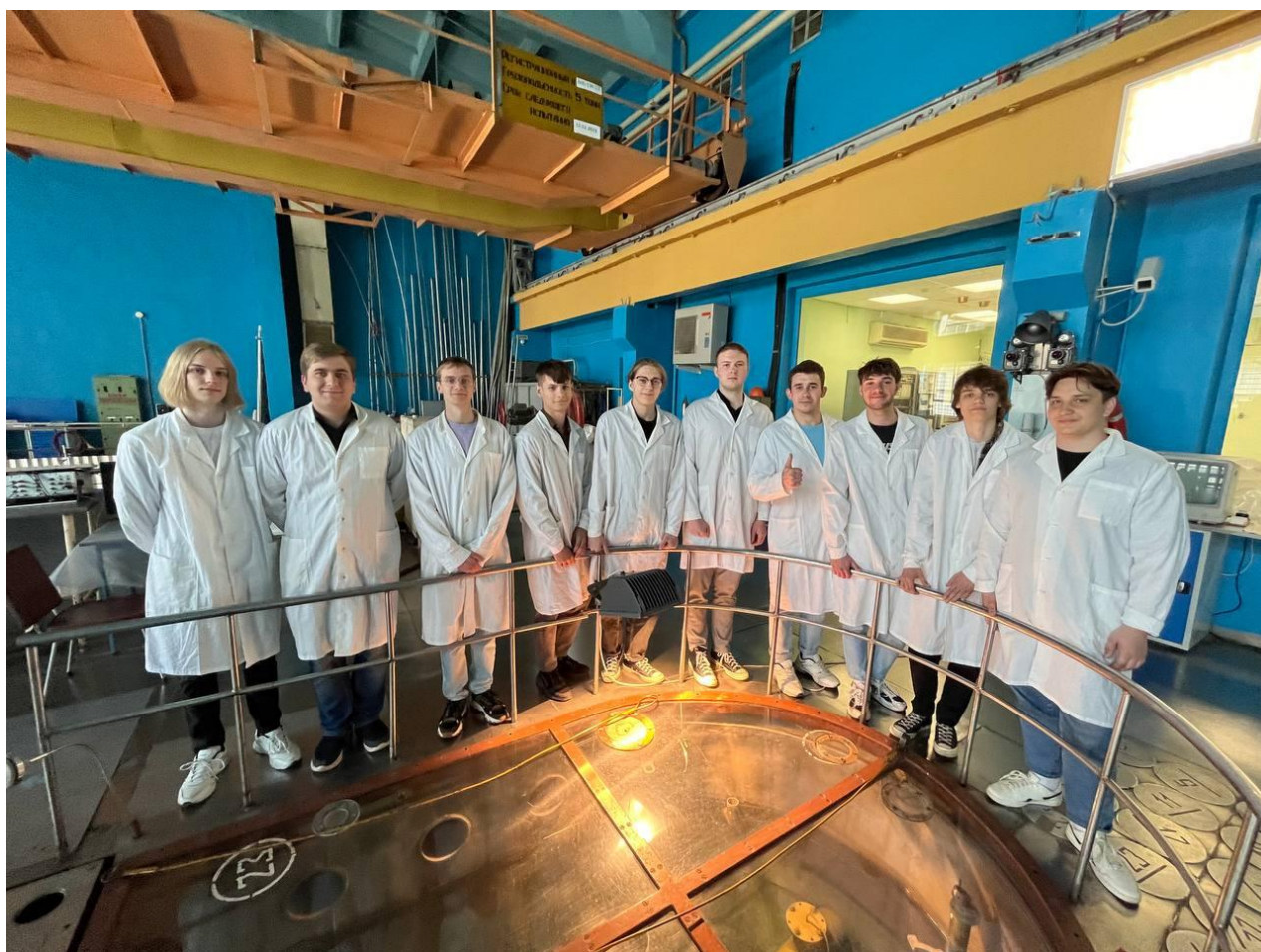


Рисунок 2 – Студенты группы 10608119 во время производственной практики в МИФИ



Таблица 1 – Основные параметры исследовательского ядерного реактора МИФИ

Наименование, размерность	Значение
Мощность реактора, МВт	2,5
Полное число ТВС в реакторе для одной из загрузок, шт., из них:	16
8-ми трубные	6
6-ти трубные с каналом СУЗ	10
Объем активной зоны, л	50
Максимальная плотность потока быстрых нейтронов ( $E > 0,8$ МэВ) в активной зоне, н/см <sup>2</sup> с	$4,3 \times 10^{13}$
Максимальная плотность потока тепловых нейтронов в активной зоне, н/см <sup>2</sup> с нейтронов в отражателе, н/см <sup>2</sup> с	$4,8 \times 10^{13}$ $4,7 \times 10^{13}$
Количество экспериментальных каналов ВЭК ГЭК	до 20 10

Кратко охарактеризуем этот объект.

Исследовательский реактор МИФИ имеет мощность до 2,5 МВт, что позволяет проводить как фундаментальные научные исследования, так и прикладные эксперименты. Реактор относится к типу исследовательских реакторов на тепловых нейтронах, где нейтроны замедляются до теплового состояния перед взаимодействием со средой. Для охлаждения используется вода, обеспечивающая эффективное отвод тепла от активной зоны реактора.

Основными целями работы исследовательского реактора МИФИ являются:

- Проведение фундаментальных и прикладных исследований в области ядерной физики и технологий.
- Обучение студентов и молодых специалистов в области ядерной энергетики.
- Исследование новых материалов и конструкций, использование реактора для испытания ядерных компонентов и разработки новых технологий.

Исследовательский реактор МИФИ имеет ряд значимых достижений, включая:

- Создание новых типов ядерных топливных элементов с улучшенными характеристиками.
- Исследование процессов внутри реактора и получение данных, способствующих разработке более безопасных и эффективных реакторных систем.
- Содействие развитию медицинской радиологии и использованию радиационных технологий в медицине и промышленности.

### Заключение

Исследовательский реактор МИФИ имеет важное значение в развитии ядерной науки и технологий. Он обеспечивает площадку для проведения не только фундаментальных научных исследований, но и для практической

разработки и экспериментов с новыми технологиями. Реактор играет ключевую роль в обучении молодых специалистов, подготавливая новое поколение ученых и инженеров в области ядерной энергетики. Заключение: Исследовательский реактор МИФИ является важным объектом, обеспечивающим проведение научных исследований, развитие новых технологий и подготовку специалистов в области ядерной физики и технологий. Его достижения и будущие исследования будут являться ключевыми факторами в дальнейшем развитии ядерной науки и технологий в России.

### Литература

1. Исследовательский ядерный реактор [Электронный ресурс] / Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ». – Режим доступа: [https://mephi.ru/science/units/Research\\_nuclear\\_reactor/](https://mephi.ru/science/units/Research_nuclear_reactor/). – Дата доступа: 02.10.2023.
2. В МИФИ собираются восстановить работу ядерного реактора [Электронный ресурс] / Московская правда. – Режим доступа: <https://mospravda.ru/2023/03/06/676008/>. – Дата доступа: 02.10.2023.

УДК 621.63

**КОНСТРУКТИВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ ДЕТАЛЕЙ  
ТЯГОДУТЬЕВЫХ МАШИН ОТ ИЗНОСА  
CONSTRUCTIVE MEASURES TO PROTECT THE PARTS OF TRACTION  
MACHINES FROM WEAR**

Д.А. Степанов

Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

D. Stepanov

Supervisor – E. Pronkevich, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** в данной статье рассматривается проблема защиты деталей тягодутьевых машин от износа путем использования конструктивных мер. Различные методы защиты, такие как улучшение качества материалов, применение специальных покрытий и технологических процедур, а также оптимальное проектирование деталей позволяет повысить износоустойчивость и увеличить срок эксплуатации как деталей так и самих тягодутьевых машин.*

***Abstract:** this article discusses the problem of protecting parts of traction machines from wear by using constructive measures. Various methods of protection, such as improving the quality of materials, the use of special coatings and technological procedures, as well as optimal design of parts can increase wear resistance and increase the service life of both parts and the traction machines themselves.*

***Ключевые слова:** тягодутьевые машины, абразивный износ, диск рабочего колеса, срок службы, наплавка, сварка, электроды.*

***Keywords:** traction machines, abrasive wear, impeller disc, service life, surfacing, welding, electrodes.*

### **Введение**

Тягодутьевые машины (ТДМ) – это оборудование, которое используется для перемещения воздуха и газов в различных промышленных и энергетических установках. ТДМ работают в условиях высокой температуры и влажности, а также в среде, содержащей твердые частицы. Эти факторы приводят к износу рабочих органов ТДМ, что может привести к снижению эффективности и надежности оборудования. Основной причиной абразивного износа ТДМ является наличие твердых частиц в перемещаемых газах. Эти частицы могут быть различной природы, включая пыль, золу, шлак и т.д. Размер твердых частиц может варьироваться от микрометров до миллиметров. Помимо твердых частиц, абразивный износ может быть вызван следующими факторами:

- Высокая температура газов. При повышении температуры газов увеличивается их вязкость, что приводит к увеличению трения между частицами и рабочими органами ТДМ.
- Влажность газов. Влажные газы содержат больше водяного пара, который может конденсироваться на твердых частицах, образуя твердые



абразивные образования.

- Коррозия. Коррозия рабочих органов ТДМ может привести к образованию рыхлой и хрупкой поверхности, которая легко разрушается под воздействием абразивных частиц.

### Основная часть

Для борьбы с абразивным износом тягодутьевых машин (ТДМ) существует ряд конструктивных решений. Эти меры включают установку противоизносной лопаточной решетки, применение двухстороннего всасывания среднего диска с вырезами, наплавку рабочих поверхностей лопаток, а также применение броневых накладок [1]. В результате таких преобразований, износоустойчивость рабочих колес и кожухов тягодутьевых машин значительно увеличивается.

Применение предвключенных противоизносных лопаток, разработанных А.С. Матвеевым и К.П. Либенко, изображенных на рисунке 1, позволяет существенно повысить износоустойчивость рабочих колес и кожухов тягодутьевых машин.

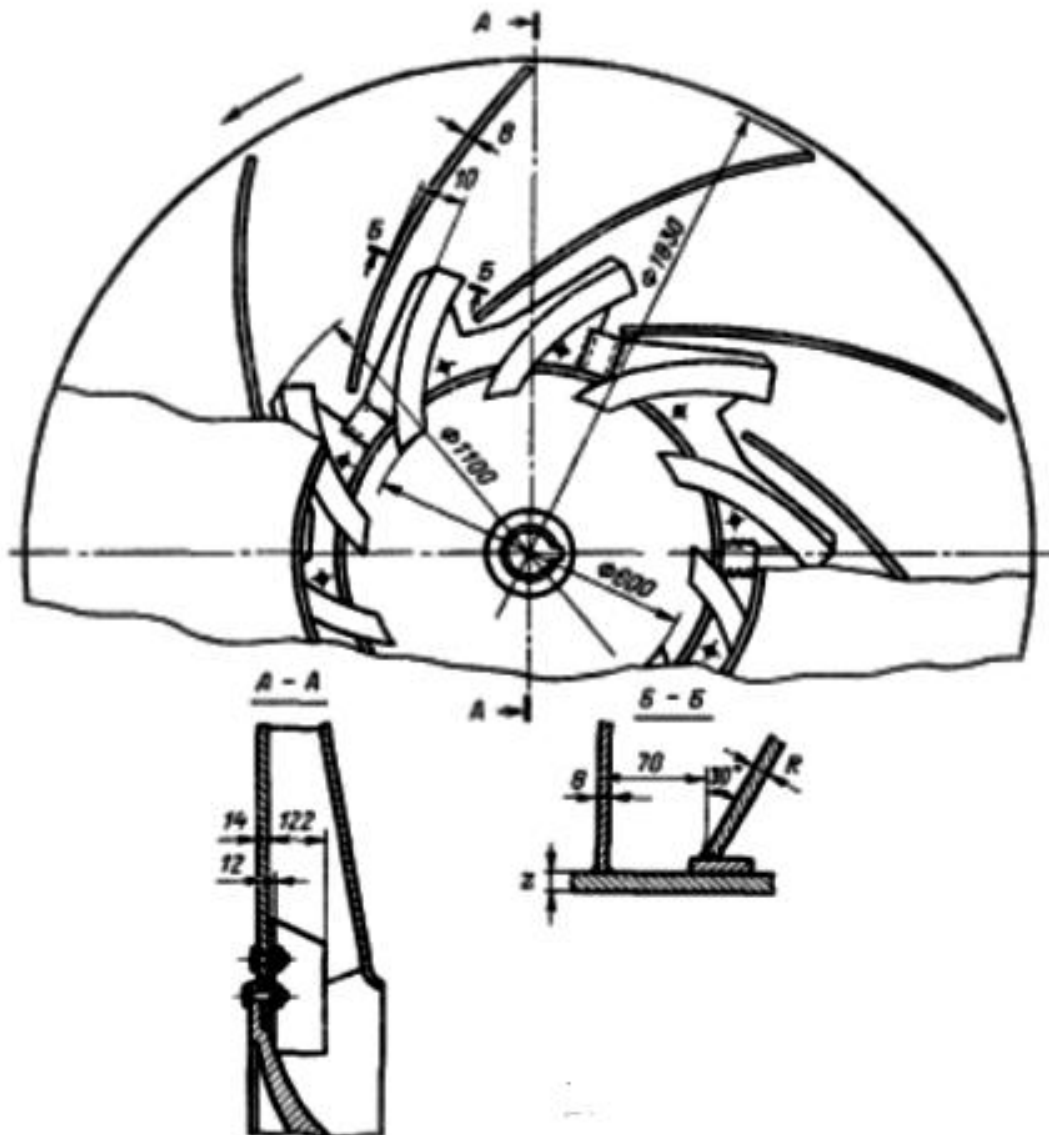


Рисунок 1 – Рабочее колесо с 16 лопатками и противоизносной решеткой [1]

Противоизносная лопаточная решетка.

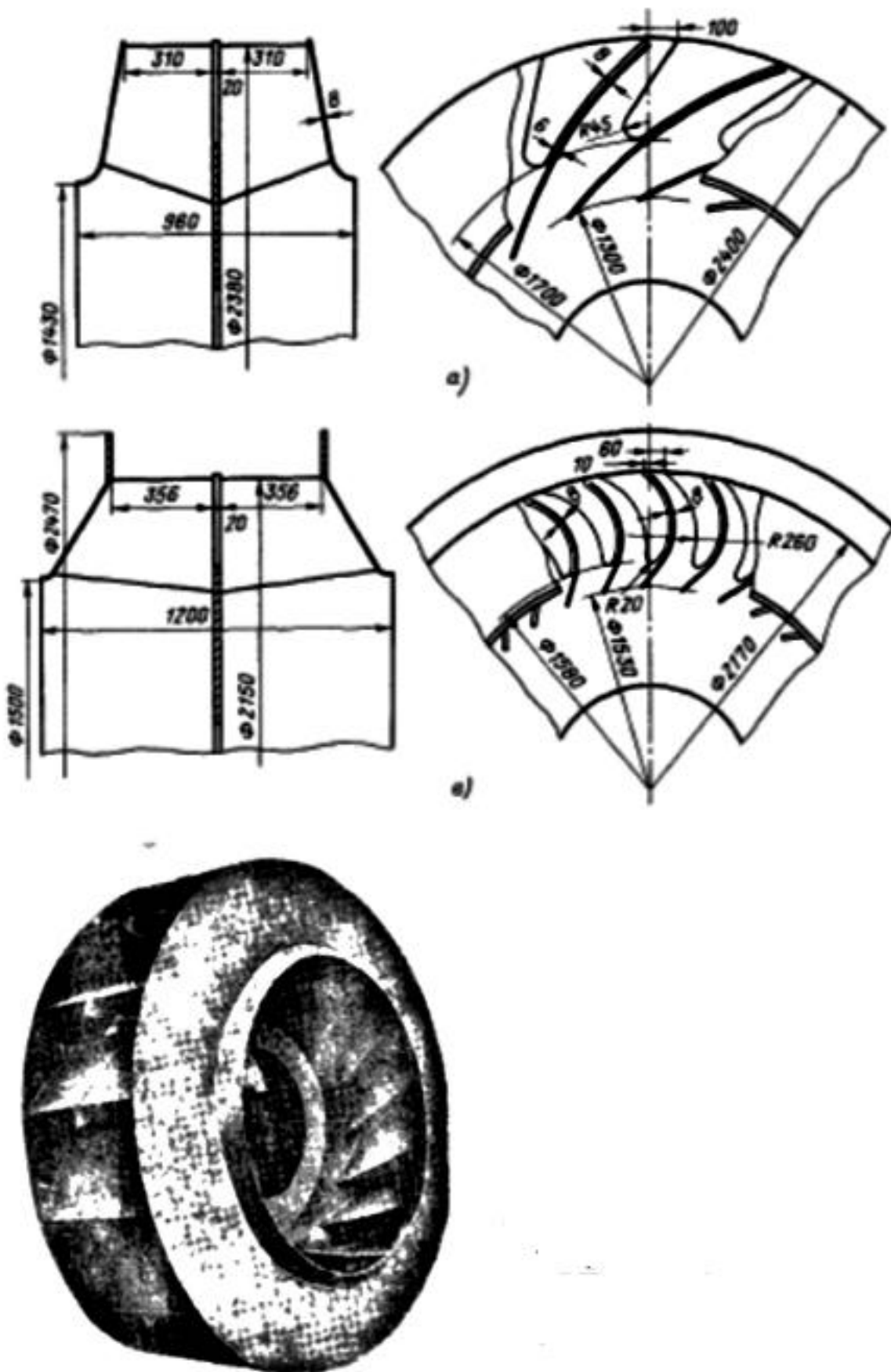
Одной из главных проблем, с которой сталкиваются лопатки, является сконцентрированная пылевая струя, действующая вдоль основного диска. Она приводит к быстрому износу лопаток и сокращению их срока службы. Применение противоизносных лопаток решает эту проблему, за счёт рассеивая пылевой струи по всей ширине межлопаточного канала. Таким образом, давление на отдельные лопатки снижается, что приводит к увеличению их износоустойчивости. Основное отличие данного метода заключается в использовании дополнительных лопаток, которые наклонены под углом  $\gamma = 55\text{--}60^\circ$  к плоскости основного диска колеса. Эти лопатки размещаются в направлении, противоположном орашению. Такое расположение и угол наклона позволяют изменить траекторию движения твердых частиц, предотвращая их нанесение местного износа на основные лопатки.

Применение противоизносных лопаток не только повышает износоустойчивость рабочих колес и кожухов тягодутьевых машин, но и оказывает положительное воздействие на их аэродинамические показатели. Фактически, в некоторых аэродинамических схемах установка этих лопаток может увеличить коэффициент полезного действия (КПД) на 1–1,5%. Изучение такого улучшения имеет значительное значение, поскольку повышение КПД приводит к более эффективной работе машины и снижению энергопотребления.

Средний диск с вырезами (пилообразный).

Основной диск является местом, наиболее подверженным интенсивному износу лопаток ТДМ. Процесс эксплуатации приводит к изменению направления пылевого потока с осевого на радиальное, что приводит к притягиванию абразивных частиц к основному диску. Износ входных кромок лопаток около диска является следствием этого процесса и распространяется на саму поверхность лопаток. Это значительно снижает коэффициент полезного действия ТДМ.

Однако разработан метод, который позволяет объединить оба потока в единый. Таким методом является двухстороннее всасывание среднего диска с вырезами [2]. Для полного понимания принципа работы двустороннего всасывания представим рабочее колесо машины с вырезами в среднем диске (рисунок 2). На рисунке видно, что основной диск изготавливается с глубокими вырезами, расположенными на уровне входных кромок лопаток. Это позволяет абразивным частицам рассеиваться по поверхностям лопаток и удаляться с уходящими газами.



*a* и *б* – с загнутыми назад лопатками; *в* – с загнутыми вперед [1]

Рисунок 2 – Рабочее колесо машины двухстороннего всасывания с вырезами в среднем диске

Исследования показывают, что даже небольшие изменения в конструкции дымососов могут оказывать значительное влияние на их работу. Например, использование вырезов в среднем диске дымососов  $D \times 2$ , построенных по аэродинамической схеме  $0,7-143^\circ$  и  $0,8-143^\circ$  с 32 рабочими лопатками на каждой стороне рабочего колеса, привело к положительным результатам. Даже небольшие вырезы до диаметра  $0,7D_2$  привели к улучшению работы дымососов.

Опыт эксплуатации дымососа  $D21, 5 \times 2$  с вырезами такой глубины подтверждает повышение долговечности рабочего колеса в три раза. Это говорит о том, что использование вырезов в дымососах может привести к более эффективной и долговечной работе этих устройств.

Наплавка лопаток с применением накладок.

Для продления срока службы и защиты лопаток от износа успешно используется наплавка электродами Т-590 и Т-620, содержащими бор. Химические соединения из бора, хрома, титана и железа, называемые бориллами, обеспечивают высокую твердость наплавленного металла. Твердость электродов Т-590 составляет 58–65 HRC, а для электродов Т-620 – 55–62 HRC.

Марка электродов Т-590 и Т-620 позволяет использовать наплавку как для сварочных аппаратов постоянного, так и переменного тока. При диаметре 4 мм рекомендуется использовать ток около 220 А, а для толщины электрода 5 мм – 240 А.

Необходимо тщательно очистить поверхность лопаток перед наплавкой от грязи, ржавчины и масла. Для сварки изношенных участков перед нанесением твердосплавного слоя обычно применяются обычные сварочные электроды. Наплавка валиков должна проводиться под прямым углом к плоскости диска рабочего колеса, нанося каждый валик отдельно и закрывая примерно  $1/3$  предыдущего. Привариваемая часть лопасти должна быть закреплена на горизонтальной поверхности.

Приваривание лопастей к основному диску производится с использованием двух слоев твердого сплава из-за того, что твердый сплав обладает высокой стойкостью к износу и может значительно продлить срок службы лопаток. В мельничных вентиляторах, где лопатки узкие, часто применяется наплавка твердым сплавом по всей поверхности лопаток. Это обеспечивает равномерную защиту от износа, так как лопатки получают большую нагрузку из-за узкой формы. В случае более широких лопаток, например, в дымососах, наплавка может производиться не по всей ширине и длине. Это связано с учетом особенностей работы и нагрузок на конкретную систему. В таких случаях выбирается оптимальная площадь наплавки для достижения нужной защиты от износа.

Кроме наплавки твердым сплавом, иногда применяются накладки, которые крепятся болтами к лопаткам рабочего колеса. Это позволяет обеспечить дополнительную защиту лопаток в условиях особо тяжелых нагрузок.

Защита броней улитки и всасывающих карманов.

Один из самых распространенных способов обеспечить защиту является применение сварных металлических броневых листов. Это эффективно предотвращает истирание улиток в условиях средней нагрузки. Однако, для

работы в более суровых условиях рациональнее использовать специальные литые накладки из белого чугуна, толщиной около 40 мм, которые крепятся с помощью болтов.

Такие накладки обеспечивают более надежную защиту и долговечность улиток. Кроме того, для защиты улиток можно использовать элементы из каменного литья. Это также эффективный способ предотвратить износ улиток, особенно в условиях, где требуется высокая прочность и стойкость к абразивному воздействию. Особое внимание следует уделять защите торцевого листа улитки, поскольку именно эта часть подвержена наибольшему износу, особенно в зоне языка. Эффективное использование правильной конструкции и соответствующих материалов является важным фактором для увеличения срока службы и уменьшения износа улитки. Кроме того, для уменьшения износа, необходимо обратить внимание на скорость выхода газа из улитки. Если скорость выхода газа составляет 25–30 м/с, это значительно снижает износ улитки.

При такой скорости выхода запыленного газа из машины, корпус (улитка) и всасывающие карманы могут работать без бронирования.

Однако нужно отметить, что скорость газов во всасывающих карманах обычно ниже, чем в самой улитке. Поэтому бронировку карманов применяют лишь в особо тяжелых условиях работы.

### **Заключение**

Конструктивные мероприятия по защите деталей тягодутьевых машин от износа играют важную роль в повышении их надежности и продолжительности срока службы. Они направлены на минимизацию воздействия различных факторов, вызывающих износ, и обеспечивают эффективную защиту механизмов от негативного влияния внешней среды и эксплуатационных условий. Таким образом, реализация конструктивных мероприятий по защите деталей тягодутьевых машин от износа является неотъемлемой частью процесса обеспечения их надежной работы и долгого срока службы.

### **Литература**

1. Модернизация и ремонт тягодутьевых машин электростанций / И.А. Боткачик. – Москва: Энергоатомиздат, 1988. – 110 с.
2. Эксплуатация тягодутьевых машин тепловых электростанций / И.М. Левин, И.А. Боткачик. – Москва: Энергия, 1977. – 272 с



УДК 621.165

**КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛА ПАРОГЕНЕРАТОРОВ  
И МЕТОДЫ ЕЕ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ  
METAL CORROSION OF STEAM GENERATORS  
AND METHODS FOR ITS PREVENTION**

В.А. Новикова, А.И. Снапкова

Научный руководитель – Н.В. Левшин, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Novikova, A. Snapkova

Supervisor – N. Levshin, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** в данной статье рассмотрена проблема негативного влияния коррозионного износа элементов парогенераторов.*

***Abstract:** this article discusses the problem of the negative impact of corrosive wear of steam generator elements.*

***Ключевые слова:** коррозия, парогенераторы, агрессивная среда, деаэрация, ингибиторы, легирование.*

***Key words:** corrosion, steam generators, aggressive environment, deaeration, inhibitors, alloying.*

### **Введение**

В сфере энергетических систем существует целый ряд факторов, которые препятствуют эффективной работе оборудования станций. Одним из таких факторов является коррозия, которая наносит повреждения металлам под воздействием физико-химических процессов в окружающей среде. Поэтому необходимо принимать меры для предотвращения и снижения ущерба, наносимого оборудованию.

### **Основная часть**

Одной из форм разрушения металла в паровых котлах является коррозия. Коррозия бывает химической и электрохимической. Химическая коррозия происходит при взаимодействии металла с окружающей средой, а электрохимическая коррозия возникает в результате образования гальванических пар на металлической поверхности при контакте с водой.

В основном, коррозионные повреждения металлических элементов парогенераторов вызваны такими факторами, как недостаточная циркуляция воды, скопление пара и отложение примесей, что мешает нормальному охлаждению и очищению поверхности нагрева [1].

Для предотвращения коррозии, необходимо обеспечить отсутствие вышеперечисленных факторов и поддерживать нейтральную или умеренно щелочную среду без наличия растворенного кислорода. В присутствии кислорода, барабаны, входные части водяных экономайзеров и опускные трубы циркуляционных контуров подвергаются кислородной коррозии. Малая скорость движения воды также провоцирует местную кислородную коррозию в экономайзерах [1].

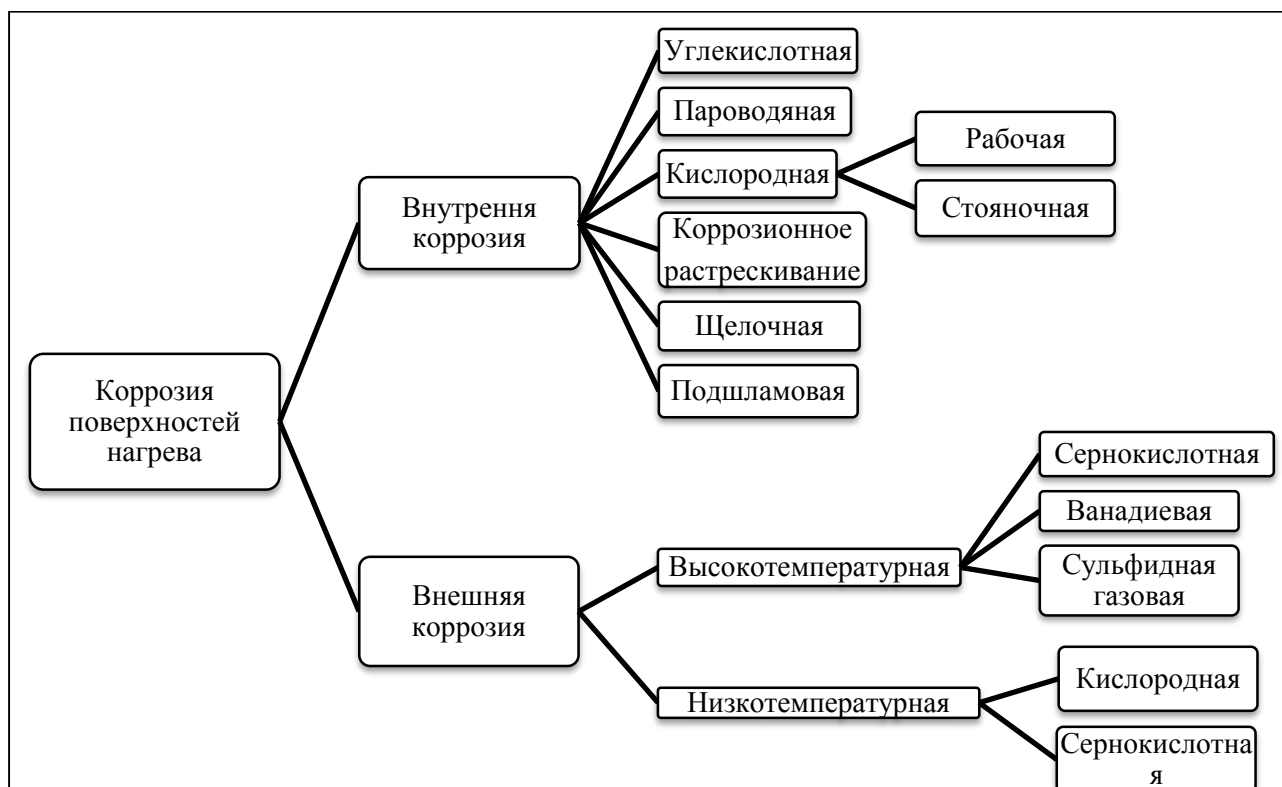


Рисунок 1 – Основные виды коррозии поверхностей нагрева котлов [2]

Для защиты парогенераторов от коррозии во время их простоя используются консервационные меры. Для поверхностной обработки металлического оборудования и закрытых контуров применяются специальные жидкости серии «СП-В» и «СП-ОМ» [3].

В случае водородной коррозии, основными методами предотвращения являются устранение любых коррозионных процессов, приводящих к образованию атомарного водорода. Это достигается путем химической обработки парогенераторов, улучшения циркуляции воды и снижения тепловых нагрузок на поверхность нагрева [1].

Для борьбы с коррозией в экономайзерах осуществляется деаэрация воды или добавление щелочи и химических замедлителей. При обработке воды из котла через экономайзер необходимо избегать отложений шлама и учитывать влияние рециркуляции воды на качество пара [3].

Для предотвращения накопления загрязнений, поступающих в пароводяной тракт электростанции, можно организовать их вывод из цикла. Это осуществляется продувкой парогенераторов с многократной циркуляцией, использованием промывочно-сепарационных устройств и химическим обессоливанием конденсата [4].

Другой метод предотвращения коррозии связан с уменьшением агрессивности среды путем деаэрации, изменения рН и введения ингибиторов, замедляющих воздействие агрессивных сред на металлические поверхности [3]. Однако этот метод не является универсальным и рекомендуется в основном для защиты ограниченных объемов, трубопроводных систем и цистерн.

В перспективе рассматривается использование коррозионностойких металлов, полученных путем легирования стали или сплавов с высоким

содержанием хрома и дополнительными элементами. Однако этот метод имеет свои недостатки и не всегда экономически выгоден.

### **Заключение**

Исходя из всего вышесказанного, выбор оптимального метода предотвращения и защиты от коррозии должен осуществляться на основе анализа конкретных требований и особенностей каждого случая. Каждый из перечисленных методов имеет свои особенности и преимущества, но нельзя говорить о их универсальности. Важно учитывать требования к защите конструкции, условия эксплуатации и технико-экономическое обоснование при выборе метода предотвращения коррозии.

### **Литература**

1. Коррозия металла парогенераторов / П.А. Антикайн. – М.: Энергия, 1977. – 112 с., с ил.
2. Коррозия в пароводяном тракте котельной установки и методы её предотвращения: СТО ННГАСУ 3.1–ХХ–2008. – Введ. 01.09.08. – Нижний Новгород: ГОУ «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет», 2008. – 56 с.
3. Водоподготовка и вводно-химические режимы в теплоэнергетике: учебное пособие / Э.П. Гужулев [и др.]. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. – 384 с.
4. Водно-химические режимы тепловых электростанций и котельных промышленных предприятий: учебное пособие / А.И. Глазырин, Л.П. Музыка, М.М. Кабдуалиева. – Алматы: РИК, 1994. – 83 с.

УДК 621.311

**МАЗУТНОЕ ХОЗЯЙСТВО. МАЗУТНЫЕ НАСОСЫ  
FUEL OIL FARMING. FUEL OIL PUMPS**

Н.Д. Самсонов

Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

N. Samsonov

Supervisor – E. Pronkevich, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** в данной статье представлен принцип работы мазутного хозяйства на электростанциях. Здесь подробно описан комплекс сооружений, служащий для подготовки, хранения и транспортировки мазута. Особое внимание отводится мазутным насосам. В заключении делается вывод о значимости мазутного хозяйства для промышленности.*

***Annotation:** this article presents the principle of operation of the fuel oil industry at power plants. The complex of structures serving for the preparation, storage and transportation of fuel oil is described in detail here. Special attention is paid to fuel oil pumps. In conclusion, the conclusion is made about the importance of the fuel oil industry for industry.*

***Ключевые слова:** мазут, мазутное хозяйство, насос первой ступени, насос второй ступени, фильтр грубой и тонкой очистки, кавитация.*

***Key words:** fuel oil, fuel oil, first stage pump, second stage pump, coarse and fine filter, cavitation.*

**Введение**

Мазут является одним из видов топлива, которое широко используется на электростанциях для производства электроэнергии. Он получается в результате переработки нефти и представляет собой тяжелую, вязкую жидкость темного цвета. На электростанциях мазут является основным источником жидкого топлива, причем в основном используется высоковязкая марка М100, а также в меньших количествах - марка М40, используемая для растопки. Для обеспечения перекачки и слива мазута, его температура должна поддерживаться на уровне не менее 55 градусов Цельсия для марки М40 и не менее 70 градусов Цельсия для марки М100.

**Основная часть**

Мазутное хозяйство – это важная часть энергетической системы, которая обеспечивает хранение, подготовку и подачу мазута к горелочным устройствам котлов. На тепловых электростанциях мазут может использоваться в качестве резервного или основного топлива, а также для пуска и останова котлов. Использование мазута имеет свои преимущества, такие как высокая теплотворная способность и низкая стоимость, но также и недостатки, такие как более высокое воздействие на окружающую среду и более высокие затраты на хранение и транспортировку. Несмотря на это, мазутные хозяйства продолжают играть важную роль в энергетической безопасности во всем мире. Мазут в

качестве растопочного топлива используется на пылеугольных электростанциях. Здесь мазут нужен только для растопки котлов [1].

Основным показателем эффективности работы мазутных хозяйств ТЭС является обеспечение непрерывной подачи очищенного и подогретого до нужной температуры мазута к горелкам котлов при условии минимальных энергозатрат. Доставка мазута на электростанции осуществляется по железной дороге в цистернах с грузоподъемностью до 125 т. Цистерны не приспособлены для поддержания необходимой температуры текучести мазута. Мазутное хозяйство является важным элементом энергетической системы. Оно обеспечивает хранение, подготовку и подачу жидкого топлива к горелкам котлов. Мазут может использоваться на тепловых электростанциях как резервное или основное топливо, а также для пуска и остановки котлов. При поступлении на станцию мазут имеет низкую температуру и высокую вязкость, что затрудняет его слив. Для подогрева мазута используются два способа: подогрев топлива в цистерне паром и подогрев нижней части цистерны снаружи. Тракт подачи и подготовки мазута состоит из приемно-сливного устройства, резервуаров для хранения мазута и мазутонасосной системы трубопроводов. В приемно-сливном устройстве мазут нагревается до температуры 60–70 градусов и перекачивается в основные резервуары для хранения. Основные резервуары представляют собой железобетонные баки-хранилища, в которых поддерживается температура мазута не ниже 60 градусов. Поддержание температуры обеспечивается за счет циркуляционного подогрева мазута путем возврата части разогретого мазута обратно в бак. Насосы второй ступени перекачивают подогретый и очищенный мазут в главное здание электростанции, где устанавливается необходимое давление (3,5–4,5 МПа).

Работа системы мазутного хозяйства автоматизирована. Управление насосами первой и второй ступени происходит дистанционно с местного щита управления мазутонасосной или с главного щита электростанции. В процессе эксплуатации мазутопроводов и подогревателей на внутренней поверхности труб увеличивается загрязнение в виде отложений. В целях профилактики загрязнения, уменьшения роста загустевших осадков в резервуарах в мазут добавляют щелочные растворимые присадки в количестве около 0,2% расхода мазута.

Более подробно рассмотрим мазутные насосы. На электростанциях широкое применение получили поршневые, шестеренчатые, винтовые и центробежные насосы. Обычно в качестве циркуляционных и основных насосов при температуре топлива до 80°C устанавливают шестеренчатые насосы. Их также можно использовать для перекачки мазута в резервуар, а в котельных – в качестве насосов первого подъема. При температуре жидкого топлива до 100°C используют винтовые насосы. В мазутном хозяйстве они выполняют функцию основных насосов.

Поршневые насосы классифицируют:

- по виду привода: паровые, электроприводные и ручные;
- по расположению осей поршней: вертикальные и горизонтальные;
- по принципу работы: одинарного, двойного, тройного и четырехкратного



действия.

Широкое распространение получили поршневые насосы с паровым приводом.

В ротационных насосах подача жидкого топлива осуществляется за счет вытеснения жидкости рабочими органами, как и в случае поршневых насосов. Однако в отличие от поршневых они не имеют всасывающих и напорных клапанов ввиду значительно большей равномерности подачи. Ротационные насосы обязательно снабжаются предохранительными клапанами. Достоинствами ротационных насосов можно назвать малогабаритность и отсутствие шума при работе.

Винтовые насосы обладают рядом преимуществ: долговечностью, отсутствием шума при работе, компактностью, высоким КПД (60–85%) и отсутствием пульсации подачи топлива. Винтовые насосы применяют в широком диапазоне подач при давлении до 20 МПа.

Шестеренчатые насосы в настоящее время являются наиболее распространенными видами ротационных насосов. Давление нагнетания здесь составляет до 2 МПа и КПД находится в диапазоне от 55 до 65%. Преимуществом данной установки является простота конструкции, однако имеет место быть пульсация подачи, нестабильность внутренних усилий, шум и вибрация при работе.

Центробежные насосы в зависимости от давления подразделяются на низконапорные (до 25 м вод. ст.), средненапорные (до 150 м вод. ст.) и высоконапорные (выше 150 м вод. ст.). Они в то же время являются самыми распространенными и обладают следующими достоинствами: компактность, быстрходность, небольшая стоимость, равномерная подача жидкости, возможность перекачки жидкости с механическими примесями. Из недостатков можно выделить большее потребление энергии в сравнении с поршневыми насосами в силу более низкого КПД.

Для нормальной безаварийной работы насоса рекомендуется пользоваться общепринятыми правилами пуска и остановки, которые прописаны в заводских и станционных инструкциях. Так, например, перед пуском паровых насосов должны быть открыты паровыпускной клапан и продувочные краны паровых цилиндров. После 500–1000 ч работы производится осмотр и при необходимости ремонт или замена оборудования. После 4000–5000 ч работы рекомендуется полная разборка насоса для осмотра всех его деталей. При эксплуатации центробежных насосов для перекачки мазута необходимо учитывать явление кавитации. Кавитация – это образование внутри насоса пространства с пониженным давлением, что влияет на всасывающую способность насосов. Мазут начинает вскипать, образуя полости, заполненные паром. В результате возникает вибрация и шум, уменьшается подача и напор мазута, снижается КПД насоса. Кавитация также может привести к аварии насоса.

Для обеспечения бесперебойной работы насосов необходимо соблюдать правила пуска и остановки оборудования, а также проводить регулярные осмотры и техническое обслуживание. Перед запуском паровых насосов необходимо проверить состояние паровыпускного клапана и продувочных

кранов. После 500-1000 часов работы проводится осмотр оборудования и при необходимости выполняется ремонт или замена изношенных деталей. Полная разборка насоса рекомендуется после 4000–5000 часов работы. При работе с центробежными насосами важно учитывать явление кавитации, которое может привести к снижению производительности и напора, а также к шуму и вибрации. Для предотвращения кавитации необходимо поддерживать оптимальное давление и температуру мазута, а также следить за состоянием оборудования [2].

### **Заключение**

В заключении можно сказать, что мазутное хозяйство является неотъемлемой частью многих промышленных предприятий и играет важную роль в обеспечении их бесперебойного функционирования. Эффективное управление и эксплуатация мазутного хозяйства требуют строгого соблюдения всех норм и правил, а также постоянного контроля качества мазута и состояния оборудования. Только так можно гарантировать безопасность, экологическую чистоту и стабильность работы промышленного объекта в целом.

### **Литература**

1. Котельные установки электростанций [Электронный ресурс] / Котельные установки электростанций. – Режим доступа: <https://teplota.org.ua/2013-08-30-rezников-lipov-parovye-kotly-teplovyx-elektrostancii.html> /. – Дата доступа: 09.10.2023.
2. Мазутные хозяйства ТЭС [Электронный ресурс] / Мазутные хозяйства ТЭС. – Режим доступа: <https://djvu.online/file/czLrDvj449uя> /. – Дата доступа: 11.10.2023.

УДК 62-713.1

**МАСЛООХЛАДИТЕЛИ В СИСТЕМЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ, СМАЗКИ И НАЛАДКИ ТЕХНИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ**  
**OIL COOLERS IN THE SYSTEM OF AUXILIARY EQUIPMENT,  
LUBRICATION AND ADJUSTMENT OF TECHNICAL PROCESSES**

Е.М. Стельмак, В.Р. Бежелев

Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет  
E.V.PronkevichAV@mail.ru

E. Stelmak, V. Bezhelev

Scientific supervisor – E. Pronkevich, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** маслоохладительные установки широко используются на КЭС, АЭС, ТЭЦ и многих других объектах. Эти установки являются достаточно распространёнными, так как почти каждый элемент принципиальной схемы требует смазывания. Без обеспечения маслом отсутствие смазки вызывало бы более частые изнашивания, истирание узлов и механизмов, и вследствие, поломку оборудования.*

***Abstract:** oil cooling units are widely used at condensing power plant, nuclear power plants, thermal power plants and many other facilities. These installations are quite common, since almost every element of the circuit diagram requires lubrication. Without the provision of oil, the lack of lubrication would cause more frequent wear, abrasion of components and mechanisms, and, as a result, equipment breakdown.*

***Ключевые слова:** маслоохладитель, охлаждающая жидкость, циркуляционная вода.*

***Key words:** oil cooler, coolant, circulating water.*

### **Введение**

Маслоохладительная установка – это теплообменный аппарат, основной функцией которого является охлаждение масла. Это происходит за счет теплопередачи между хладагентом и маслом. В подобных установках хладагентом могут выступать газы, жидкости, другие смазывающие жидкости и прочее. Хладагент – это рабочая среда, имеющая температуру ниже рабочего вещества, способная поглощать его тепло с дальнейшим понижением температуры. В качестве хладагента на электрических станциях в промышленных масштабах используется циркуляционная вода. Рассмотрим маслоохладительные установки с использованием циркуляционной воды.

### **Основная часть**

Как уже упоминалось выше, маслоохладители широко распространены, поэтому имеют несколько вариаций своей компоновки и функционала.

Их подразделяют на маслоохладители МБ, МО, МРУ, МП, МХ и других типов:

МБ – маслоохладитель, где в роли хладагента выступает пресная вода. Устройства этого типа охлаждают масло в турбине, МО – маслоохладитель,

который охлаждает масло исключительно технического оборудования и оборудования поддержки, МРУ – маслоохладитель с отводом тепла, МП – маслоохладитель, где в роли хладагента выступает проточная вода. Устройства этого типа охлаждают масло в турбине.

Также маслоохладители разделяют по компоновке на горизонтальные и вертикальные.

Маслоохладители имеют свою маркировку [1]:

- тип маслоохладителя;
- поверхность теплообмена,  $m^2$ ;
- расход масла,  $m^3/ч$ .

Марка самого распространённого маслоохладителя на ТЭЦ – МО–2–6.

Принцип их работы основан на теплообмене между охлаждающей жидкостью, заполняющей поверхность нагрева, и маслом, проходящим по системе трубок. Маслоохладители бывают с естественной и принудительной циркуляцией. При естественной циркуляции охлаждающая жидкость проходит через теплообменник под действием естественной циркуляции жидкости. Принудительная циркуляция требует насос для прокачки охлаждающей жидкости по поверхности нагрева.

Основными конструктивными элементами маслоохладительные установки являются корпус, с плотно расположенными теплообменными трубками, верхняя поворотная водяная камера с патрубками входа жидкости, нижняя водяная камера с патрубками выхода.

Через патрубок входа охлаждающая жидкость, с температурой  $33^{\circ}C$  поступает в нижнюю водяную камеру. Пройдя всю теплообменную поверхность, выходит через патрубок выхода. Теплообменная поверхность имеет П-образную компоновку, с двумя путями, но бывают маслоохладители, у которых количество этих путей достигает четырех. Масло поступает по патрубку входа с температурой  $70^{\circ}C$ . Распределяется в теплообменные трубки, и под действием естественной циркуляции стекает вниз. Выход обеспечивается патрубком выхода масла. Конечная температура масла после маслоохладителя составляет  $35-45^{\circ}C$ .

Маслоохладители с циркуляционной или проточной водой имеют большее преимущество чем маслоохладители с химическими хладагентами и воздухом. Несмотря на то, что химические хладагенты способны охлаждать с большей эффективностью, их недостатком является необходимость наличия специального оборудования для входа выхода охлаждающей химической жидкости из установки. Подача воздуха, в качестве хладагента, в маслоохладительную установку, также является нецелесообразной, так как будет проходить менее интенсивный процесс теплообмена, при этом изменение температур масла на входе и на выходе будет невелико.

На рисунке 1 представлена схема маслоохладительной установки.

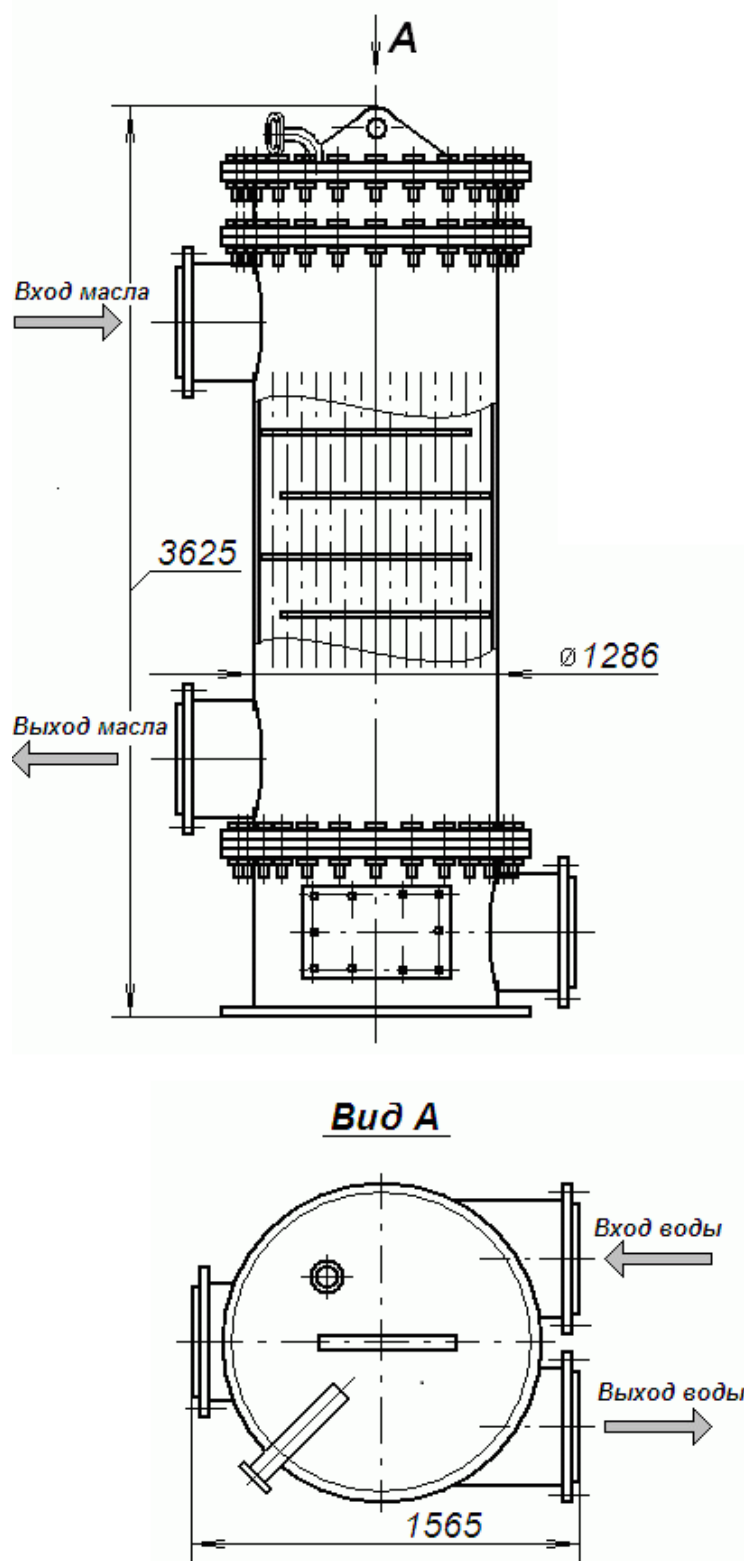


Рисунок 1 – Схема маслоохладительной установки [2]

В каждом их отсеков нижней водяной камеры окна со съемными крышками, для доступа технического обслуживания и проведения ремонтных работ. Такое окно имеется и на верхней водяной камере. Для отслеживания температуры внутри установки, по периметру корпуса установлены термометры. Для выпуска воздуха и слива воды и масла на крышках расположены краны.



Основные параметры маслоохладительной установки приведены в таблице 1:

Таблица 1 – Основные параметры маслоохладительной установки [3]

Температура масла на входе, °С	70
Гидродинамическое сопротивление, МПа по маслу	0,1
Гидродинамическое сопротивление, МПа по воде	0,05
Рабочее давление, Мпа (кг/см <sup>3</sup> ) масла	0,8
Рабочее давление, Мпа (кг/см <sup>3</sup> ) воды	0,8

### Заключение

Перегрев обслуживающего технического масла является серьезной угрозой для любого устройства. Перегретое масло в теплообменных трубках маслоохладителя может привести к кавитации, т.е. образованию внутри пузырьков воздуха, что негативно сказывается на работоспособности оборудования, так как насос накачки будет присасывать пузырьки воздуха. Конструкция маслоохладителя должна соответствовать высокому качеству сборки. Разгерметизация оборудования может привести к поломке оборудования на станции. Смешивание воды с маслом недопустимо.

### Литература

1. Маркировка маслоохладителей [Электронный ресурс] / Маркировка маслоохладителей. – Режим доступа: <https://promprivod.by/produkcija/teploobmennoe-oborudovanie/ohladiteli/>. – Дата доступа: 08.10.2023.
2. Схема маслоохладительной установки [Электронный ресурс] / Схема маслоохладительной установки. – Режим доступа: <https://www.ural-mer.ru/masloohladiteli/masloohladitel-m-540m.html>. – Дата доступа: 08.10.2023.
3. Основные параметры маслоохладительной установки [Электронный ресурс] / Основные параметры маслоохладительной установки. – Режим доступа: <https://spe.by/product-category/masloohladiteli/>. – Дата доступа: 08.10.2023.

УДК 620.4, 528.7

**МОНИТОРИНГ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК С ПОМОЩЬЮ  
БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ  
MONITORING OF PHOTOVOLTAIC UNITS USING  
UNMANNED AIRCRAFT**

А.А. Кожух, М.Ю. Нагорнюк

Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Kozhykh, M. Nagornyuk

Supervisor – S. Kachan, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** показано, что срок службы и рентабельность солнечной фотоэлектрической электростанции зависит от регулярного и эффективного технического обслуживания. Перечислены особенности и преимущества использования для инспекции и наблюдения беспилотных летательных аппаратов. Рассмотрен алгоритм для отслеживания линии компьютерного зрения на фотоэлектрических установках с использованием беспилотных летательных аппаратов.

**Abstract:** it has been shown that the service life and profitability of a solar photovoltaic power plant depends on regular and effective maintenance. The features and advantages of using unmanned aerial vehicles for inspection and surveillance are listed. An algorithm for computer vision line tracking on photovoltaic installations using unmanned aerial vehicles is considered.

**Ключевые слова:** фотоэлектрический модуль, беспилотный летательный аппарат, инспекция, поиск дефектов.

**Keywords:** photovoltaic module, unmanned aerial vehicle, inspection, defect detection.

**Введение**

За последние десятилетия в фотоэлектрическом секторе наблюдался очень быстрый рост производительности благодаря сочетанию экономических стимулов, предлагаемых многими странами, и общего внимания мирового рынка к возобновляемым источникам энергии. Срок службы солнечной фотоэлектрической электростанции зависит от регулярного и эффективного технического обслуживания, которое оказывает ключевое влияние на рентабельность фотоэлектрических установок.

**Основная часть**

Исследования показывают весьма высокую повреждаемость фотоэлектрических модулей. Так, по данным [1], влияние дефектов на фотоэлектрические модули может увеличить нормированную стоимость энергии примерно на 5%. При этом среди всех возможных дефектов наиболее распространены поверхностные [1].

Одни из первых тестов, который был введен для поиска дефектов – это визуальный осмотр, который может обнаруживать расслоения, коррозию, повреждение стекла и другое.

Визуальный осмотр, проводимый экспертом эффективен, но, поскольку солнечные панели используют большие площади земли, проверки могут занимать длительный период времени и требовать значительных затрат, однако можно существенно сократить расходы на инспекции и наблюдение за счет использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Во время проверки солнечных панелей сервисная группа должна охватить всю территорию фотоэлектрической электростанции с помощью портативных камер, что является утомительной и трудоемкой задачей. При использовании БПЛА с камерой на борту можно обеспечить тот же осмотр всей солнечной электростанции, оставаясь в одном месте (или сменив всего несколько мест) (рисунок 1) [2].



Рисунок 1 – Использование БПЛА для проверки фотоэлектрических панелей [2]

Автономный контроль таких систем является многообещающей технологией, особенно для крупных электростанций.

Основным преимуществом применения БПЛА является очень малое время, необходимое для сбора данных, но при этом создается большой их объем, который необходимо обработать.

Применяя БПЛА можно получить изображение фотоэлектрического модуля в видимом спектре света, а также в инфракрасном излучении. Последнее активно используется для диагностики, поскольку помогает обнаруживать более широкий спектр дефектов [1].

Тепловизоры способны заметить повышение температуры фотоэлектрического модуля всего в несколько десятых градуса и передать соответствующие GPS-координаты в компьютер [2], что позволяет бригадам

технического обслуживания получать информацию практически в режиме реального времени и оперативно устранять недостатки.

Изображения, полученные с БПЛА, могут обрабатываться как опытным пользователем, так и с помощью вычислительных методов постобработки изображений, которые позволяют быстро и эффективно обрабатывать большие объемы данных, обеспечивая конкурентоспособность всего процесса.

Передовые методы обработки данных касаются анализа состояния работоспособности каждого модуля. Этот анализ может быть выполнен с использованием детерминированных алгоритмов или методов искусственного интеллекта, таких как глубокое обучение.

При использовании автоматизированной обработки изображений необходимо учитывать следующее:

- во-первых, для крупных фотоэлектрических установок доступ к окончательной информации может быть очень затруднен и, таким образом, может замедлить общие операции по техническому обслуживанию. Для преодоления этой проблемы внедряются передовые методы обработки для автоматического индексирования информации в базе данных фотоэлектрической установки и для обеспечения лучшего пользовательского интерфейса;
- во-вторых, полет БПЛА должен четко соответствовать требованиям с точки зрения точности и разрешения этапа постобработки. В частности, изображения должны быть правильно ориентированы и получены в заданном диапазоне высот. Система управления полетом БПЛА должна позволять получать точные изображения в визуальном и тепловом спектре воспроизводимым и эффективным способом.

Требуемое разрешение для постобработки является ключевым фактором для разработки правильного плана полета: для достижения разрешения, необходимого для обнаружения дефектов, необходим правильный компромисс между высотой полета и точностью датчика БПЛА.

Как правило, предпочтительна малая высота полета, что создает проблемы при планировании траектории движения БПЛА.

Представляют интерес исследования по управлению полетом.

Например, в [1] разработана методика коррекции в реальном времени траектории полета мультироторного БПЛА для осмотра фотоэлектрических установок с использованием информации, поступающей от дополнительных датчиков, в частности камер. Разработанный и протестированный в соответствующей среде моделирования алгоритм наведения на основе зрения показал способность восстанавливать расстояние со средней ошибкой 5 см.

Задача управления транспортным средством или, вообще, роботом с использованием информации обратной связи, поступающей от датчика зрения, называется визуальным сопровождением.

Для отслеживания линии компьютерного зрения на фотоэлектрических установках с использованием БПЛА, обычно применяют следующий алгоритм:

- Захват изображения. Сначала БПЛА делает фотографию области с фотоэлектрической установкой, используя встроенную камеру или



- специальную камеру с высоким разрешением.
- Предварительная обработка. Полученное изображение подвергается предварительной обработке, включая сжатие, улучшение контраста и устранение шума для повышения качества данных.
  - Сегментация изображения. Линии, которые нужно отслеживать, выделяются от фона. Это может быть достигнуто с использованием методов бинаризации, фильтрации по цвету или использованием сверточных нейронных сетей.
  - Отслеживание движения. Для отслеживания линий на последовательных кадрах, применяют алгоритмы отслеживания движения, которые могут определять перемещение линий и их изменение во времени.
  - Оценка положения линий. На этом этапе определяется точное положение линий на изображении. Для поиска линий можно использовать такие методы, как преобразование Хафа.
  - Коррекция ошибок. Иногда линии могут быть неверно обнаружены из-за шума или других факторов, поэтому важно реализовать механизм коррекции ошибок, чтобы убедиться, что линии правильно отслеживаются.
  - Управление. После определения положения линий, БПЛА может корректировать свое положение и ориентацию, чтобы поддерживать нужное положение относительно фотоэлектрической установки. Это может включать в себя регулировку высоты, направления и скорости полета.

Описанный алгоритм обычно выполняется в цикле на каждом новом кадре, что позволяет БПЛА непрерывно отслеживать и корректировать свое положение.

### **Заключение**

Отметим, что по данным [1] стоимость автоматической проверки по сравнению с производством энергии фотоэлектрической установкой мощностью более 4 МВт полностью окупается за один год, учитывая всего 1,5% отказов фотоэлектрических модулей.

### **Литература**

1. A Computer Vision Line-Tracking Algorithm for Automatic UAV Photovoltaic Plants Monitoring Applications / G. Roggi, A. Niccolai, F. Grimaccia, M. Lovera. – 14 February 2020. – Energy 13(4):838.
2. Умные дроны на солнечных электростанциях: инновационная проверка солнечных панелей от ДТЭК ВИЭ [Электронный ресурс] / Сегодня. Новости экономики. – Режим доступа: <https://economics.segodnya.ua/economics/enews/umnye-drony-na-solnechnyh-elektrostantsiyah-innovacionnaya-proverka-solnechnyh-paneley-ot-dtek-vie-1492353.html> /. – Дата доступа: 08.10.2023.

УДК 628.16

НАЗНАЧЕНИЕ И УСТРОЙСТВО ФИЛЬТРА СМЕШАННОГО  
ДЕЙСТВИЯ (ФСД)  
PURPOSE AND DESIGN OF A MIXED-ACTION FILTER (MAF)

А.О. Барбуцько, М.В. Кульнис

Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Barbutko, M. Kulnis

Supervisor – V. Romanko, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** качество воды, проходящей через систему парогенерации, имеет значительное воздействие на эффективность и долговечность ее функционирования. Использование воды, загрязненной взвешенными веществами, затрудняет осуществление процессов ее химической обработки и не приемлемо в ряде технологических процессов. Поэтому первой технологической операцией обработки такой воды является удаление механических примесей. Именно в таких случаях на начальном этапе применяется фильтр смешанного действия.

**Abstract:** the quality of water passing through a steam generation system has a significant impact on the efficiency and longevity of its operation. The use of water contaminated with suspended substances complicates the implementation of its chemical treatment processes and is not acceptable in a number of technological processes. Therefore, the first technological operation of treating such water is to free it from coarse contaminants. It is in such cases that a mixed-action filter is used at the initial stage.

**Ключевые слова:** фильтр смешанного действия, обессоливание, регенерация, промывка, смешивание.

**Keywords:** mixed filter, desalting, regeneration, flushing, mixing.

### Введение

В процессе обессоливания, ионообменник смешанного действия (еще называется «фильтр смешанного действия») предназначен для приготовления обессоленной воды третьей ступени очистки. Обрабатываемая вода протекает сверху вниз через слои смолы для получения производственной обессоленной воды. В однородно смешанном слое ионитов, катиониты и аниониты расположены в шахматном порядке, каждая пара частиц катионита и анионита выступает как группа композитного слоя, а фильтр смешанного действия – как огромное количество групп композитных слоев последовательной эксплуатации. После фильтра смешанного действия, водородные и гидроксильные противоионы, полученные при обмене катионами или анионами, мгновенно образуют молекулы воды с очень низкой степенью диссоциации, данная реакция обмена проводится достаточно полно, вследствие этого можно приготовить воду с высокой степенью очистки.

### Основная часть



Вода после установки обратного осмоса, где происходит процесс двухступенчатого обессоливания, поступает через декарбонизатор, на фильтр смешанного действия.

На фильтрах смешанного действия окончательно происходит третья ступень обессоливания воды, т.е. снижение общего количества положительно и отрицательно заряженных ионов солей, за счёт ионного обмена, задерживания катионов ( $K^+$ ) и замена их на ион ( $H^+$ ), задерживания анионов ( $A^-$ ) и замена их на ион ( $OH^-$ ). Обессоленная вода подаётся на нужды станции, в основном в качестве подпиточной воды.

Процесс производства обессоленной воды происходит на 3 параллельно установленных фильтрах смешанного действия. При нормальном режиме работы, два из которых находятся на стадии производства воды, а один на регенерации (резерве).

Основной параметр качества выходящей воды: удельная электропроводность  $\leq 0,2$  мкСм/см [1].

Фильтры смешанного действия выполнены в количестве трёх вертикально расположенных цилиндрических колонн, представляющих собой металлические сосуды с эллиптическим днищем. Конструктивно имеют внутренние сборно-распределительные устройства и покрыты гуммированием (рисунок 1). Он рассчитан на рабочее давление 0,2–0,35 МПа. В верхней части фильтра находится верхнее распределительное устройство. Оно выполнено в виде радиально расположенных перфорированных труб, предназначенных для равномерного распределения воды, поступающей на обработку, и для отвода воды при взрыхляющей обратной промывке.

В средней части расположены два сборно-распределительных устройства выполненных в виде лучевых перфорированных труб, предназначенных для равномерного распределения реагентов, поступающих на регенерацию, и для отвода реагентов (промывной воды) при отмывке.

Нижнее сборно-распределительное устройство представляет собой перфорированную металлическую плиту с отверстиями, в которые закручены пористые колпачки.

Каждая колонна фильтра смешанного действия снабжена: датчиком расхода, манометрами на входе и на выходе воды ФСД, датчиком удельной электропроводности выходящей обессоленной воды; водовпускным клапаном, водовыпускным клапаном, водоотводящим клапаном обратной промывки, промежуточным выпускным клапаном, водовпускным клапаном обратной промывки, водоотводным клапаном промывки, впускной клапан сжатого воздуха, выпускной клапан сжатого воздуха, впускным клапаном кислоты, впускным клапаном щёлочи [1].

Фильтр снабжён пробоотборными устройствами на входе и выходе воды, манометрами для измерения давления воды на вход и выход каждой секции. Для отвода воздуха установлена трубка с пневматическим клапаном (воздушник). В корпусе фильтра имеются люки для осмотра, ремонта, загрузки и выгрузки фильтрующего материала.

В качестве наполнителя применяется высококислотная катионообменная смола, высота слоя загрузки составляет – 0,8 м и высокоосновная анионнообменная смола, высота слоя загрузки – 1,6 м.

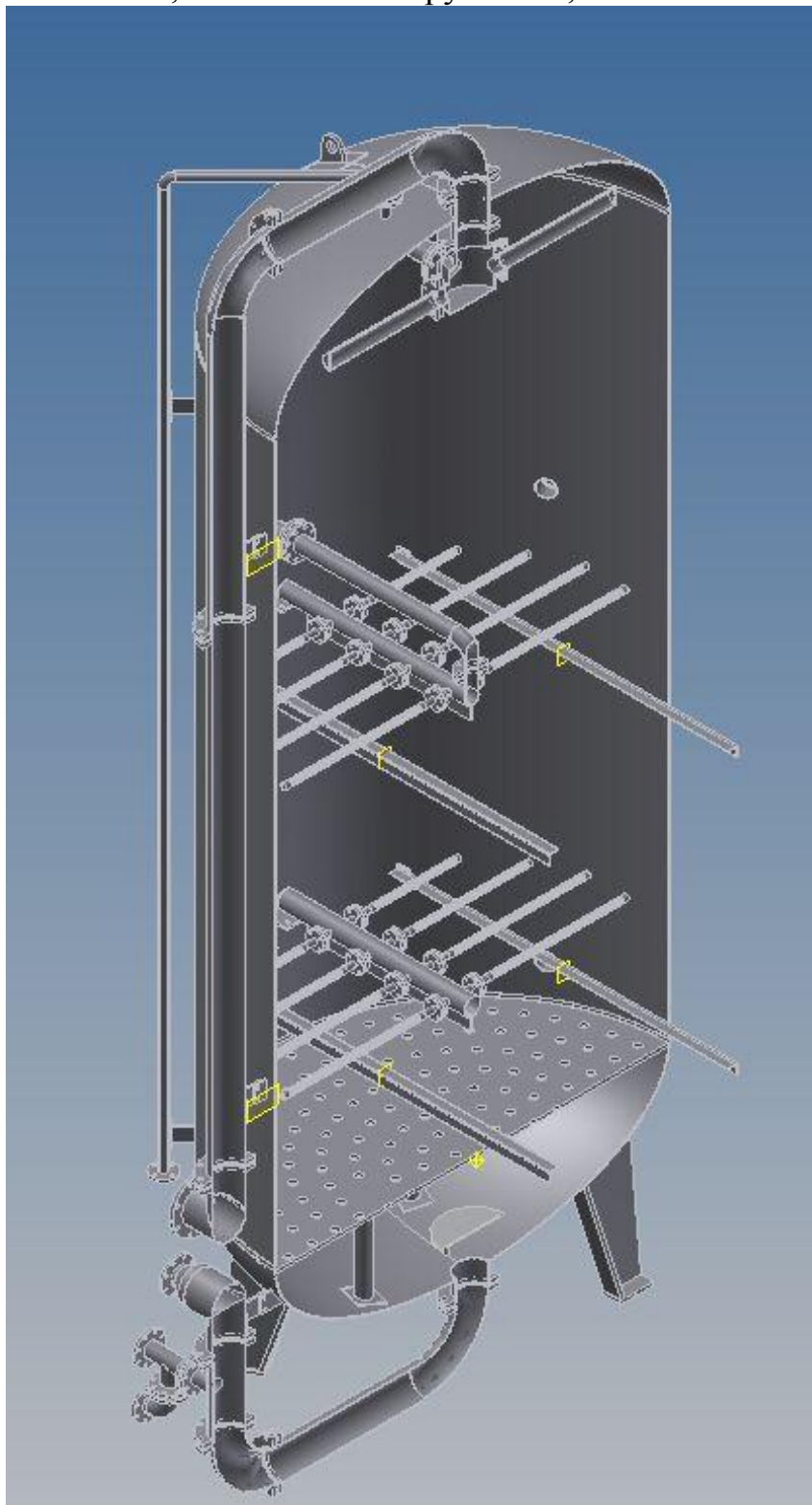


Рисунок 1 – Внутренние сборно-распределительные устройства ФСД [2]

Работа фильтров смешанного действия заключается в периодическом осуществлении операций, составляющих полный рабочий цикл:

- Обессоливание (производство воды).
- Регенерация

Поток воды поступает на 3 колонны ФСД (2 рабочие, 1 резервная), где происходит процесс обессоливания (удаление положительно заряженных ионов, по средствам их замены на ион  $H^+$  в слое загрузки смолы сильнокислотного катионита и удаление отрицательно заряженных ионов, по средствам их замены на ион  $OH^-$  в слое загрузки смолы высокоосновного анионита).

Регенерация катионитного фильтра заключается в последовательном осуществлении операций: обратная промывка и разделение, опускание, регенерация, отмывка, смешивание, прямая промывка (заполнение водой с удалением воздуха).

Регенерация катионита и анионита осуществляется раствором соляной кислоты и гидроксида натрия рабочей концентрации 3–5% соответственно.

Таблица 1 – технические характеристики ионообменника смешанного действия [2]

Критерии	Параметры
Диаметр / высота ФСД	2500мм / 5862мм
Материал корпуса	сталь Q345 с гуммированием (5 мм)
Скорость потока регенерации	4-6 м/ч
Рабочая температура	5-45°C
Рабочее давление	< 0,6 МПа
Количество пермеата	$SiO_2 < 100$ мкг/дм <sup>3</sup> , рН: $\approx 6,5-7,5$ (нейтральная)
Концентрация регенерационного раствора кислоты (HCl) и щёлочи (NaOH)	2-15 МОм·см

### Заключение

По сравнению с технологией регенерации слоя катионов и слоя анионов, технология регенерации фильтров смешанного действия более сложная. Не смотря на сложную регенерацию они дают хорошую степень очистки, длительный срок службы, являются универсальными и не требуют частой замены. Поэтому, если вы ищите оптимальный тип фильтра для очистки воды, фильтр смешанного действия может быть отличным выбором.

### Литература

1. Современные высокоэффективные технологии очистки питьевой и технической воды с применением мембран: обратный осмос, нанофильтрация, ультрафильтрация / А.Г. Первов; монография. – М: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2009. – 232 с.

2. Водоподготовка и водно-химические режимы теплоэлектростанций: учеб.-метод. пособие для студ. дневной и заочной форм обучения спец. 1-43 01 04 «Тепловые электрические станции» и 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» / В.А. Чиж, Н.Б. Карницкий. – Мн.: БНТУ, 2004. – 100 с.

УДК 620.92

**НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ И РИСКИ НА ГЛОБАЛЬНОМ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ РЫНКЕ В 2023 ГОДУ  
UNCERTAINTIES AND RISKS IN THE GLOBAL  
ENERGY MARKET IN 2023**

В.А. Андриевич, А.С. Печеньков, В.А. Москальчук  
Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
V. Andrievich, A. Pechenkov, V. Moskalchuk  
Supervisor – V. Kravchenko, Candidate of Economic Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** данная статья проводит анализ рисков и неопределенности, с которыми столкнется мировой энергетический рынок в 2023 году. В ней рассматриваются основные факторы, влияющие на стабильность и развитие данного рынка, а также выдвигаются предложения и контрмеры для эффективного их устранения.*

***Abstract:** this article analyzes the risks and uncertainties that the global energy market will face in 2023. It examines the main factors affecting the stability and development of this market, as well as puts forward proposals and countermeasures to effectively eliminate them.*

***Ключевые слова:** риски, рынок, ресурсы, энергия, развитие, энергоснабжение.*

***Keywords:** risks, market, resources, energy, development, energy supply.*

### **Введение**

В современном обществе электричество занимает важное место, и его роль будет продолжать расширяться в транспортной и отопительной сферах благодаря прогрессивным технологиям, таким как электромобили и тепловые насосы. Необходимо отметить, что производство электроэнергии является главным источником выбросов углекислого газа ( $CO_2$ ) в мире. Однако, энергетический сектор также является лидером в переходе к чистым нулевым выбросам, активно внедряя возобновляемые источники энергии, такие как солнечная и ветровая энергия. В то же время, глобальный энергетический кризис поднял вопрос о безопасности электроснабжения и его доступности по цене на первый план в политической повестке дня многих стран. В 2022 году российско-украинский конфликт серьезно повлияет на международный энергетический рынок. Мировые поставки ископаемого топлива будут по-прежнему ограничены, а цены останутся высокими. Кроме того, глобальная эпидемия продолжит повторяться, серьезно влияя на предложение и спрос на энергоносители, и международная энергетическая ситуация станет более сложной. В настоящее время все еще существует множество факторов, которые могут вызвать колебания в отрасли [1].

В этом докладе рассматривается ситуация на мировом энергетическом рынке в 2023 году, основное внимание уделяется анализу неопределенностей и рисков, с которыми сталкиваются нефть, природный газ, уголь, возобновляемые

источники энергии и другие сегментированные отрасли, изучению и оценке потенциального влияния на энергетическое развитие, а также предложению контрмер и рекомендаций для ознакомления.

### **Основная часть**

В 2022 году, несмотря на многочисленные вызовы, такие как повторяющиеся эпидемии и геополитическая напряженность, возобновляемые источники энергии по-прежнему будут демонстрировать высокие темпы развития. В контексте глобального энергетического кризиса нехватка ископаемого топлива высветила преимущества развития возобновляемых источников энергии в плане безопасности, побудив многие страны усилить политическую поддержку возобновляемых источников энергии. В то же время высокие цены на ископаемое топливо также повысили конкурентоспособность солнечной фотоэлектрической и ветряной энергетики выработка электроэнергии по сравнению с другими видами топлива. Согласно ежегодному рыночному отчету отрасли возобновляемой энергетики, опубликованному МЭА в декабре 2022 года, глобальная установленная мощность возобновляемых источников энергии вырастет почти на 2400 ГВт с 2022 по 2027 год. Это увеличение на 85% по сравнению с предыдущими пятью годами и почти на 30% выше прогноза, содержащегося в годовом отчете МЭА за 2021 год. Последние прогнозы показывают, что в ближайшие пять лет на долю возобновляемых источников энергии будет приходиться более 90% увеличения мировых мощностей по производству электроэнергии.

Крупнейшие экономики предприняли действия по включению политики в области климата, энергетической безопасности и промышленности в более широкие экономические стратегии, будь то закон США о снижении инфляции, план Европейского союза по восстановлению энергоснабжения, план «зеленой трансформации» Японии или планы стимулирования производства в Индии, направленные на стимулирование производства солнечных фотоэлектрических систем и аккумуляторов. Например, Индия заявила, что будет стремиться к достижению цели в 500 миллионов киловатт установленной выработки электроэнергии из возобновляемых источников к 2030 году. Почти две трети быстро растущего спроса страны на электроэнергию будет удовлетворяться за счет возобновляемых источников энергии; для реализации плана RepowerEU Европейский союз увеличит инвестиции на 210 миллиардов евро в ближайшие пять лет для поддержки ускорения развития зеленой энергетики; «Закон о снижении инфляции», принятый Соединенными Штатами, предусматривает общую сумму около 740 миллиардов долларов США, из которых правительство планирует выделить около 370 миллиардов долларов США на субсидирование и поддержку проектов в этой области. Сосредоточение внимания на производстве экологически чистой энергии и введение стимулов будут стимулировать развитие зеленой энергетики в Соединенных Штатах. Промышленное развитие и способствовать повышению конкуренции в глобальной области новой энергетики.

Британское издание «The Economist» опубликовало статью, в которой говорится, что в 2023 году большинство стран предпримут меры по увеличению



инвестиций в традиционные ископаемые источники энергии в краткосрочной перспективе для обеспечения безопасности энергоснабжения, одновременно принимая долгосрочные меры по корректировке государственной промышленной политики и ускорению развития возобновляемых источников энергии. В январе 2023 года МЭА опубликовало отчет «Перспективы энергетических технологий на 2023 год», в котором отмечается, что мир вступает в новую эру производства экологически чистых технологий, и промышленные стратегии различных стран станут ключом к успеху или неудаче. От Азии, Европы до Северной Америки крупнейшие экономики мира активизировали свои исследования и разработки в области экологически чистых энергетических технологий, чтобы получить конкурентное преимущество в новой энергетической экономике. Инвестиции в технологии чистой энергетики со стороны стран по всему миру быстро растут. Только в 2022 году глобальные инвестиции в технологии чистой энергетики достигнут 11,4 трлн долларов США, что составляет почти 70% годового прироста инвестиций в энергетику. Производители экологически чистой энергии в разных странах также реагируют положительно, и технологическая конкуренция в области возобновляемых источников энергии становится все более ожесточенной.

Согласно данным МЭА, цены на поликремний, ключевое сырье для солнечных панелей, выросли втрое с 2021 года. Кроме того, цены на сталь и алюминий, которые имеют решающее значение для проектов по возобновляемой энергетике, выросли на 70% и 40% соответственно. Стремительный рост цен на сырье в сочетании с растущими транспортными и финансовыми расходами привели к росту стоимости ветряных турбин и солнечных панелей на 10–20% в 2022 году, обратив вспять тенденцию снижения затрат, которая более десяти лет способствовала быстрому росту возобновляемых источников энергии.

Инфляционное давление, кризисы в цепочках поставок и рост цен на сырье нанесли ущерб прибыльности европейской отрасли возобновляемой энергетики, особенно на высококонцентрированном рынке ветроэнергетики. Многие производители ветроэнергетических установок последовательно терпели убытки, вызвав волну увольнений, когда им следовало бы расширить свои производственные мощности. В январе 2023 года Vestas объявила предварительные финансовые данные за 2022 год, показывающие, что маржа прибыли компании до вычета процентов в 2022 году составляет -8%, в то время как ее целевой показатель составляет -5%, что означает, что компания может получить годовой убыток в размере почти 1,2 млрд евро.

МЭА заявило, что после десятилетия ускоренного роста темпы расширения мировой возобновляемой энергетики, как ожидается, немного замедлятся в 2023 году из-за узких мест в цепочке поставок и роста цен на сырье. Согласно данным МЭА, в 2022 году будет добавлено в общей сложности 319 ГВт установленной мощности возобновляемых источников энергии, а в 2023 году – 317 ГВт. Это все еще быстрый рост, но это будет первое замедление роста почти за десятилетие.

Financial Times опубликовала статью, в которой говорится, что после российско-украинского конфликта Европа сделала быстрое расширение использования возобновляемых источников энергии своей основной задачей. Но

хаотичные цепочки поставок и растущие цены на ключевое сырье замедляют внедрение ветровой и солнечной энергии по всей Европе, и это тот момент, когда ЕС больше всего нуждается в чистой энергии. Инфляционное давление, кризисы в цепочках поставок и рост цен на сырье нанесли ущерб прибыльности европейской отрасли возобновляемой энергетики, особенно на высококонцентрированном рынке ветроэнергетики. Многие производители ветроэнергетических установок последовательно терпели убытки, вызвав волну увольнений, когда им следовало бы расширить свои производственные мощности. В сентябре 2022 года Siemens Gamesa опубликовала заявление, в котором говорилось, что компания планирует уволить 2900 человек, большинство из которых находятся в Европе, чтобы превратить убытки в прибыль. Вслед за Siemens Gamesa General Electric также сократила сотрудников в секторе береговой ветроэнергетики. В январе 2023 года Vestas объявила предварительные финансовые данные за 2022 год, показывающие, что маржа прибыли компании до вычета процентов в 2022 году составляет -8%, в то время как ее целевой показатель составляет -5%, что означает, что компания может получить годовой убыток в размере почти 1,2 млрд евро.

Международная торговля играет важную роль в цепочке поставок возобновляемых источников энергии. МЭА отметило, что почти 60% солнечных фотоэлектрических модулей, производимых в настоящее время во всем мире, являются трансграничными сделками, и международная торговля также очень важна для компонентов ветряных турбин. За последний год локализованного производства во многих странах восстановились, и начался новый раунд строительства зарубежных производственных баз. С усилением конкуренции в производстве возобновляемых источников энергии, представленных Соединенными Штатами, Европейским союзом и Индией, крупнейшими в мире производителями возобновляемых источников энергии рынки приняли политику локализации, а также дополнительные тарифы, налоговые льготы и другие торговые меры, направленные на расширение возможностей местных производственных цепочек.

В феврале 2022 года правительство США продлило действие истекающих 210 тарифов на фотоэлектрические элементы и модули на 4 года. В марте правительство США начало расследование по борьбе с уклонением от уплаты налогов в отношении фотоэлектрической продукции во Вьетнаме, Малайзии, Таиланде и Камбодже. После того как это повлияло на установку внутренних проектов в Соединенных Штатах, администрация Байдена объявила об освобождении от тарифов на фотоэлектрическую продукцию, импортируемую из вышеупомянутых четырех стран, в течение следующих двух лет. В апреле индийское правительство начало вводить 40%-ный базовый тариф на солнечные модули иностранного производства и 25%-ный базовый тариф на аккумуляторы. Согласно статистике МЭА, с 2011 года количество антидемпинговых, компенсационных пошлин и налогов на импорт, взимаемых только с фотоэлектрической продукции, увеличилось всего с 1 налога на импорт до 16 тарифов и налогов на импорт, и еще 8 мер находятся на рассмотрении.

Эти меры, принятые Соединенными Штатами, Европейским союзом, Индией и другими странами, по-видимому, защищают местную торговлю, но на самом деле препятствуют процессу развития региональных возобновляемых источников энергии, что приводит к увеличению затрат на развитие фотоэлектрической и ветроэнергетической промышленности в глобальном масштабе, тем самым незаметно увеличивая стоимость глобального преобразование энергии. На волне антиглобализации, вызванной эпидемией и наложением торговых барьеров, дальнейшая регионализация и укорочение цепочки поставок стали тенденцией. Продолжающееся провоцирование международных торговых споров не только окажет определенное влияние на «глобализацию» отрасли возобновляемой энергетики, но и окажет значительное влияние на международную цепочку поставок возобновляемой энергии, что в долгосрочной перспективе не пойдет на пользу процессу развития мировой отрасли возобновляемой энергетики.

### **Заключение**

В нынешних условиях растущей неопределенности на мировом энергетическом рынке и сохраняющегося дефицита мировых энергоресурсов обеспечение энергетической безопасности всегда было главным приоритетом хорошей работы в энергетике. В ближайшие годы потребность в электроэнергии будет активно расти, заявил директор МЭА по энергетическим рынкам и безопасности Кейсукэ Садамори. Спрос поддержат такие факторы, как электрификация энергосистем, все большее распространение систем охлаждения в помещениях на фоне потепления климата и увеличение потребления электроэнергии в странах с развивающейся экономикой [2]. Чтобы укрепить основу внутреннего ресурсообеспечения и обеспечить стабильное энергоснабжение, с одной стороны, нужно в полной мере использовать уголь в качестве балластного камня, оптимизировать добычу угля, строительство проектов и другие процедуры утверждения, а также приложить все усилия для того, чтобы обеспечить безопасные и стабильные поставки угля. С другой стороны, необходимо дальнейшее создание и совершенствование системы резервирования угля и нефти, особенно для ускорения строительства таких объектов, как резервные склады и станции приема сжиженного природного газа, улучшения функционирования и механизма планирования трубопроводной сети, увеличения пропускной способности при регулировании пиковых нагрузок и обеспечения того, чтобы энергетические ресурсы предложение поддерживает разумный эластичный запас.

Совершенствование системы гарантий импорта энергоносителей, диверсификация и расширение источников импорта энергоносителей, а также поддержание безопасности стратегических каналов и ключевых узлов являются неизбежными решениями в условиях текущей глубокой корректировки международной торговли энергоносителями.

В глобальном масштабе многие страны решили содействовать быстрому развитию возобновляемых источников энергии, чтобы разрешить энергетический кризис и обеспечить энергетическую безопасность. Учитывая тот акцент, который различные страны делают на развитии возобновляемых

источников энергии, и дальнейшее усиление международной конкуренции в промышленном производстве, путь к развитию глобальной возобновляемой энергетики должен быть полон проблем. Основываясь на перспективах внутреннего спроса, управлять производственными мощностями отраслей возобновляемой энергетики, таких как ветроэнергетика и светотехника, сбалансировать взаимосвязь между увеличением производства новой энергии и гарантией использования ископаемой энергии и дополнять друг друга для обеспечения энергетической безопасности; основываясь на ситуации на международном рынке, в контексте борьбы с глобализацией и реконструкция цепочки поставок, осуществление углубленного сотрудничества в цепочке поставок, ускорение процесса глобализации и создание более устойчивой системы отрасли возобновляемой энергетики. В дополнение к традиционным рынкам, таким как Европа и Соединенные Штаты, развивающиеся рынки, такие как Ближний Восток, Северная Африка и Латинская Америка, богаты природными ресурсами, и спрос на электроэнергию также значительно возрастет в будущем. Эти регионы обладают огромным пространством на рынке возобновляемых источников энергии.

#### Литература

1. Рынок электроэнергии в 2023 году [Электронный ресурс] / электроэнергия. – Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/electricity-market-report-2023> /. – Дата доступа: 03.10.2023.
2. Спрос на электроэнергию в 2023 году [Электронный ресурс] / электроэнергия. – Режим доступа: <https://www.interfax.ru/world/912344> /. – Дата доступа: 29.09.2023.

УДК 620.97

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ  
DETERMINATION OF THE ECONOMIC EFFICIENCY OF THE USE  
OF SECONDARY ENERGY RESOURCES**

Н.А. Петруша

Научный руководитель – Л.А. Тарасевич, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
N. Petrusha

Supervisor – L. Tarasevich, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

*Аннотация:* в данной статье рассматривается определение, экономической эффективности использования вторичных энергетических ресурсов.

*Annotation:* this article discusses the definition of the economic efficiency of the use of secondary energy resources.

*Ключевые слова:* вторичные энергетические ресурсы, экономичность, эффективность.

*Key words:* secondary energy resources, economy, efficiency.

### **Введение**

Отопительно-производственные котельные располагают потенциальными для использования вторичными энергоресурсами (ВЭР) образующимися при работе технологического оборудования.

В настоящей работе предпринята попытка в какой-то мере восполнить такой пробел в учебной литературе, систематизировать разработанные материалы и таким образом облегчить студентам усвоение основ утилизации ВЭР в котельных, помочь им при выполнении спецзаданий по рассматриваемой тематике в курсовом и дипломном проектировании.

Одним из наиболее эффективных путей решения задач экономии топливно-энергетических ресурсов является более полное использование вторичных энергетических ресурсов в равной степени как у потребителей, так и на источниках, в частности в отопительно-производственных котельных.

### **Основная часть**

Выбор путей использования вторичной теплоты должен определяться на основе технико-экономического анализа учетом конкретных условий котельной, а также условий внешних и внутренних потребителей.

В соответствии с типовой методикой определения эффективности капиталовложений, критерием оценки экономической эффективности вариантов утилизации является значение приведенных затрат по данной энергетической установке:

$$Z = C + E_n K, \quad (1)$$

где  $Z$  – приведенные затраты;

$C$  – годовые: эксплуатационные издержки;



$E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений;  
 $K$  – капиталовложения.

Наиболее экономически выгодный вариант решения характеризуется минимальными затратами. При оценке экономической эффективности использования вторичных энергетических ресурсов (ВЭР), производится сравнение между вариантами энергетических установок с утилизацией и без утилизации ВЭР. Согласно методикам технико-экономических расчетов в энергетике, сравнение рассматриваемых вариантов осуществляется на основе следующих критериев:

- равное энергетическое обеспечение: каждый вариант должен обеспечивать потребителя одинаковым образом как по объему, так и по заданному режиму поставки энергии;
- создание оптимальных условий для каждого из рассматриваемых вариантов: использование в каждом из них наиболее совершенного технического оборудования;
- гарантирование одинаковой надежности энергоснабжения: варианты с низкой надежностью включаются в схему с дополнительными мощностями, чтобы обеспечить необходимую надежность поставки энергии.

Таким образом, осуществляется сравнение различных вариантов с учетом их затрат, эффективности и надежности, чтобы выбрать наиболее экономически выгодное решение.

При оценке затрат на энергоснабжение с использованием вторичных энергетических ресурсов, стоимость ВЭР принимается равной нулю. В удельные приведенные затраты, связанные с использованием ВЭР, включаются только расходы, которые непосредственно связаны с установкой и эксплуатацией утилизационных систем.

Организация использования ВЭР в уже существующих тепловых электростанциях может в некоторых случаях сопровождаться дополнительными расходами из-за сложностей в размещении утилизационных систем, вызванных ограничениями в компоновке оборудования, необходимостью настройки новых коммуникаций и даже возможным оказанием влияния на уже внедренные капитальные вложения и другими аспектами. Все эти факторы должны учитываться при расчете экономической эффективности использования ВЭР и утилизации их потенциала.

Для каждого из сравниваемых вариантов энергоснабжения, удовлетворяющих одну и ту же потребность в энергии (внешних и внутренних потребителей), приведенные затраты, связанные с их реализацией, определяются как для энергоснабжения с использованием ВЭР, так и без их использования:

$$Z_{ут} = C_{ут} + E_n K_{ут}, \quad (2)$$

$$Z_{б.ут} = C_{б.ут} + E_n K_{б.ут}. \quad (3)$$

где  $Z_{ут}$  – приведенные затраты для варианта с утилизацией ВЭР;  
 $Z_{б.ут}$  – то же без утилизации.

Экономическая эффективность применения вторичных энергетических ресурсов определяется путем сравнения вариантов с минимальными приведенными затратами, при использовании таких ресурсов и без их использования.

Экономический выгодный результат от использования вторичных энергетических ресурсов вычисляется по разнице между годовыми приведенными затратами по данным сравниваемым вариантам:

$$\mathcal{E} = Z_{б.ут}^{min} - Z_{ут}^{min} = C_{б.ут} - C_{ут} - E_n(K_{ут} - K_{б.ут}). \quad (4)$$

Использование вторичных энергетических ресурсов экономически целесообразно при положительном значении расчетной экономии.

### **Заключение**

Расчеты показывают, что наибольшую технико-экономическую эффективность обеспечивает применение экономайзерных агрегатов в котельных со стабильным технологическим потреблением пара и в отопительно-производственных котельных с продолжительным отопительным периодом и при наличии потребителей низкотемпературной воды.

Практика показывает, что экономическая целесообразность утилизации ВЭР в котельных в последнее время неуклонно возрастает в связи с тенденцией повышения цен на первичные энергоносители.

### **Литература**

1. Методика (основные положения) определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. – М.: Экономика, 1976. – 25 с.
2. Производственные и отопительные котельные / Е.Ф. Бужников, К.Ф. Роддатис, Э.Я. Берзиньш. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 248 с.

УДК 620.1-1/-9

**ПАРОГЕНЕРАТОРЫ. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ  
STEAM GENERATORS. DEVICE AND PRINCIPLE OF OPERATION**

Е.М. Стельмак

Научный руководитель – Н.В. Левшин, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

E. Stelmak

Supervisor – N. Levshin, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian National Technical University, Minsk

**Аннотация:** нормальное функционирование тепловой станции обеспечивает налаженность технологических процессов, таких как обеспечение оборудования водой или паром. Основными средствами генерации рабочего пара служат котлы и парогенераторы. В данной статье будет детально рассмотрено устройство, принцип работы парогенератора, его основные характеристики, преимущества и недостатки и критерии выбора оборудования.

**Abstract:** the normal functioning of a thermal station ensures the smooth functioning of technological processes, such as the provision of equipment with water or steam. The main means of generating steam are boilers and steam generators. This article will examine in detail the device, the principle of operation of the steam generator, its main characteristics, advantages and disadvantages, and criteria for choosing equipment.

**Ключевые слова:** парогенератор, теплоноситель, теплопередача, котел-утилизатор.

**Keywords:** steam generator, coolant, heat transfer, waste heat boiler.

**Введение**

Самые распространенные на тепловых станциях, на сегодняшний день, парогенерирующие установки – это котел и парогенератор. Без работы парогенерирующих установок полноценная работа любой электростанции была бы невозможной.

**Основная часть**

Парогенератор – это теплообменный аппарат, имеющий своей задачей за счет теплоносителя преобразовывать приходящую на него воду в уходящий из него пар. Рассмотрим некоторые типы парогенераторов.

Вертикальным называется парогенератор, имеющий вертикальное расположение (рисунок 1). Вход теплоносителя осуществляется в нижней части парогенератора. Теплоноситель проходит теплообменные трубки, пробитая большую температуру. Питательная вода, под действием естественной циркуляции поступает вниз и, взаимодействуя с перегретым теплоносителем, выходит через верхнее отверстие в виде пара. Пустота между каналами теплообменных трубок называется коллектором. Парогенераторы разделяют на одноколлекторные, двухколлекторные, виточные – трубки в виде витков, и ширмовые. Преимущество – меньшая площадь.

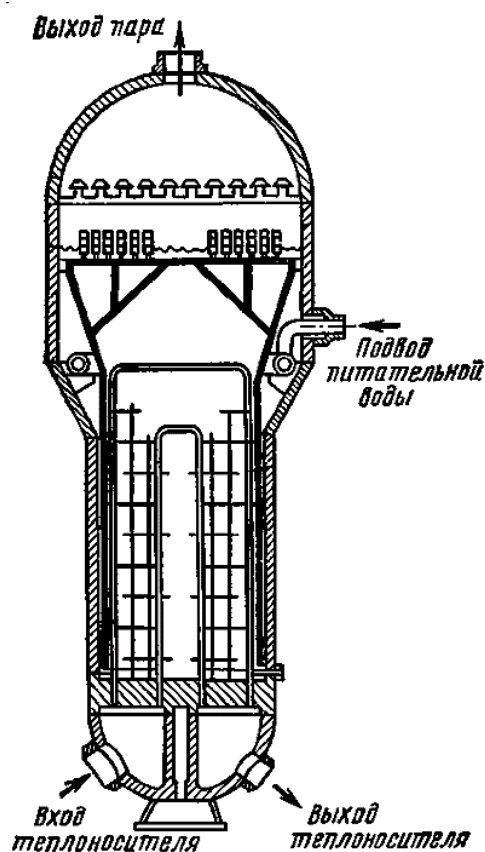


Рисунок 1 – Вертикальный парогенератор [1]

Горизонтальным называется парогенератор, имеющий горизонтальную компоновку (рисунок 2). Вход теплоносителя осуществляется в нижней части парогенератора. Теплоноситель проходит теплообменные трубки, пробитая большую температуру. Преимущество – это больший объем испарения.

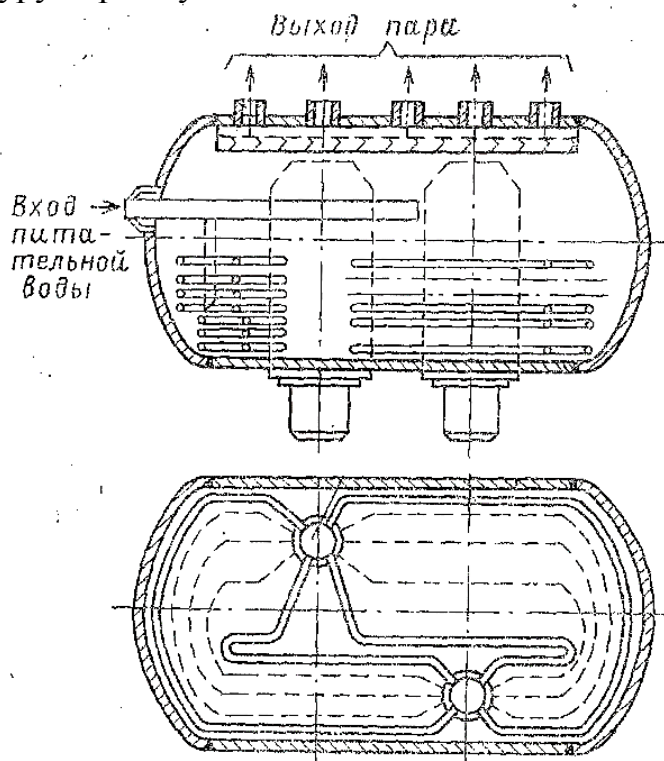


Рисунок 2 – Горизонтальный парогенератор [2]

Прямоточный парогенератор имеет горизонтальное расположение. Парогенератор этого типа имеет большую площадь теплообмена и предварительный подогрев воздуха. Внутри его заполняет специальный змеевик, навитый противоположно направлению потока воды. В этом теплообменнике вода проходит змеевик, по специальным путям, которые обеспечивают лучшую теплопередачу. Условно, этот путь можно разделить на три зоны: зона насыщения, зона парообразования и зона пароперегрева (рисунок 3).

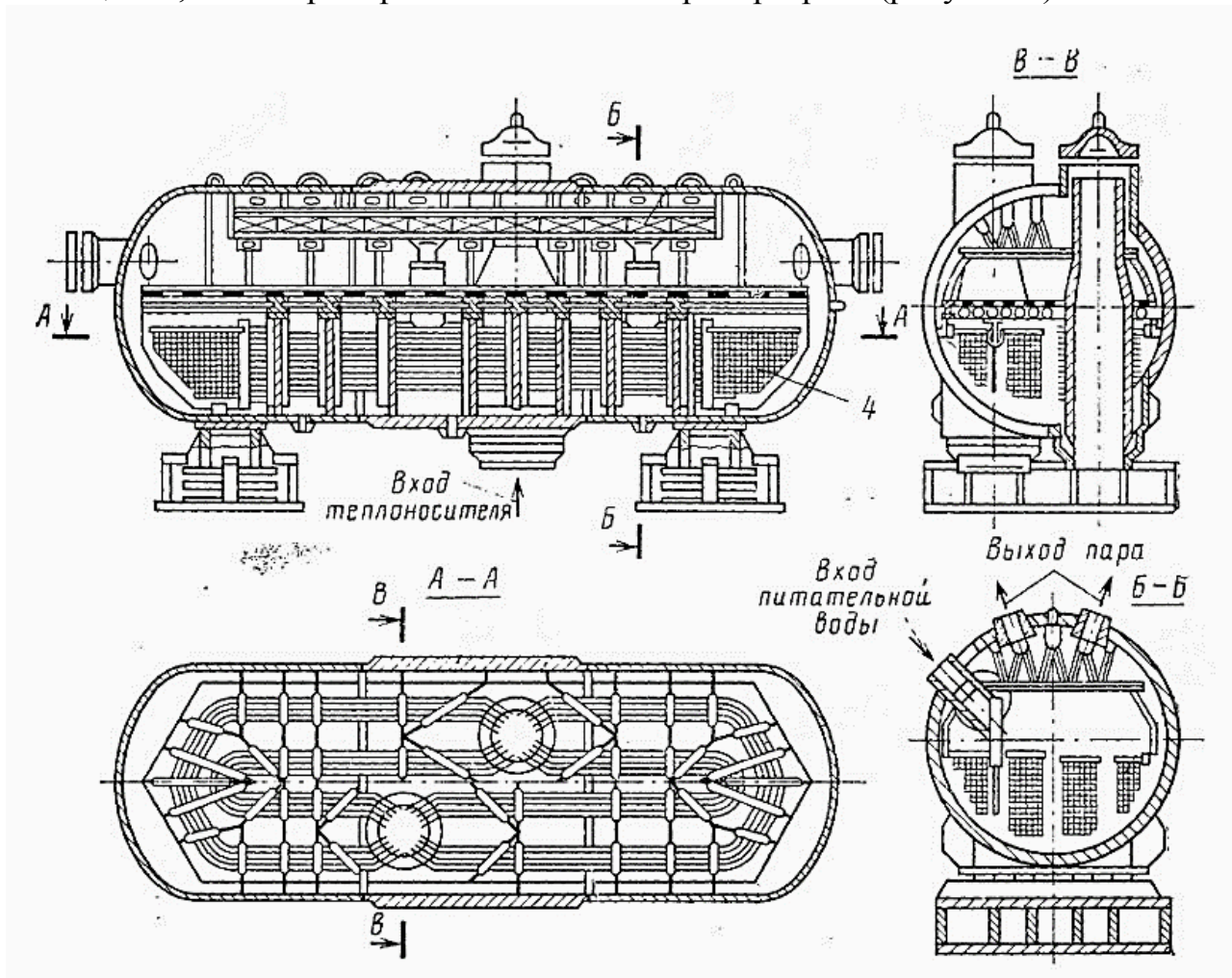


Рисунок 3 – Прямоточный парогенератор [3]

Прямоточный парогенератор имеет горизонтальное расположение. Парогенератор этого типа имеет большую площадь теплообмена и предварительный подогрев воздуха. Внутри его заполняет специальный змеевик, навитый противоположно направлению потока воды. В этом теплообменнике вода проходит змеевик, по специальным путям, которые обеспечивают лучшую теплопередачу. Условно, этот путь можно разделить на три зоны: зона насыщения, зона парообразования и зона пароперегрева. Преимущество – эффективность.

Из недостатков парогенераторов – обязательная водоподготовка. Вода, поступающая на парогенератор должна быть очищена от солей, так как оседающая на теплообменных трубках соль может вызвать появление накипи, и в дальнейшем негодность оборудования.



В таблице 1 представлены основные параметры парогенератора ПВГ-1000, широко применяемого на атомных электрических станциях.

Таблица 1 – Параметры парогенератора [5]

Характеристика	Значение
Тепловая мощность, МВт	750
Паропроизводительность, т/ч	408
Давление пара, МПа	6,27
Температура питательной воды, °С	220
Температура пара на выходе, °С	278,5
Температура теплоносителя на входе, °С	320
Температура теплоносителя на выходе, °С	289,7

Широкое распространение парогенератор нашел в парогазовой установке утилизационного типа. На рисунке 4 представлена принципиальная схема ПГУ утилизационного типа.

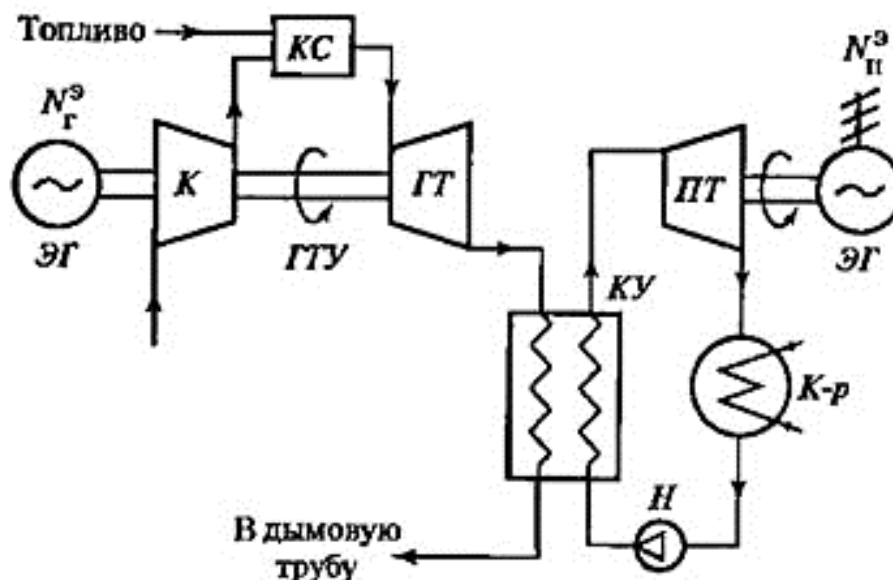


Рисунок 4 – Принципиальная схема парогазовой установки утилизационного типа [4]

На рисунке 4 представлены следующие элементы: К – компрессор; КС – камера сгорания; ГТ – газовая турбина; КУ – котел-утилизатор; ПТ – паровая турбина; К-р – конденсатор; Н – насос (конденсатный), ЭГ – электрогенератор.

Схема ПГУ состоит из ГТУ, расположенной слева от котла-утилизатора и ПТУ, расположенной справа от котла-утилизатора. Котел-утилизатор, как раз, представляет собой парогенератор простейшего типа.

Принцип работы парогенератора КУ в составе ПГУ: Воздух подается на компрессор, где происходит его сжатие. В камере сгорания топливо сжигается и дымовые газы нагревают воздух. Отработавшие в газовой турбине дымовые газы поступают в котел-утилизатор. Циркуляционным насосом вода доставляется в конденсатор, затем оттуда конденсатным насосом идет на котел-утилизатор. Через стенки трубок котла-утилизатора происходит теплопередача. Тепло газов передается конденсату, который затем испаряется и идет на турбину, вращая ее.

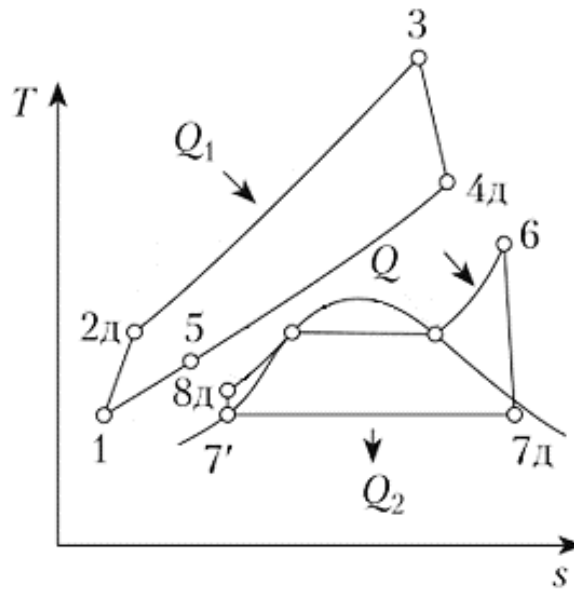


Рисунок 5 – Принципиальная схема парогазовой установки утилизационного типа [4]

Рассмотрим графическую интерпретацию термодинамических процессов для ПГУ утилизационного типа в  $TS$  – диаграмме, приведенной выше на рисунке 5. Обозначим  $Q_1$  за  $q_1$  ГТУ, а  $Q_2$  –  $q_2$  ПТУ, а  $Q$  за  $q_1$  ПТУ. Тогда, исходя из принципа работы ПГУ, имеем:

$$Q_{КУ} = Q_{ПТУ}, \tag{1}$$

$$q_{ПТУ} = q_{КУ}^{ПАРА}, \tag{2}$$

$$Q_{КУ} = G_{ГАЗА} \cdot q_{КУ}^{ГАЗА}. \tag{3}$$

где  $Q_{КУ}$  – теплота, передаваемая от уходящего газа питательной воде, равна произведению расхода газа на удельную теплоту пара котла-утилизатора.

КПД ПГУ утилизационного типа рассчитывается по следующей формуле:

$$\eta_{ЭНЕРГ.} = \eta_{ИСП.ТОПЛ.} = \frac{W_{ГТУ} + W_{ПТУ}}{Q_{ТОПЛ}} \approx 85 \%. \tag{4}$$

Важным критерием выбора парогенератора является подбор и усмотрение оптимальных термодинамических и рабочих параметров тепловой станции.

### Заключение

Парогенератор всегда был и остается устройством, обеспечивающим наивысшую эффективность парогенерации, нагрева и сопутствующих им процессов.

### Литература

1. Вертикальный парогенератор [Электронный ресурс] / Вертикальный парогенератор. – Режим доступа: <http://www.atominfo.ru/news/air8869.htm> /. – Дата доступа: 03.10.2023.
2. Горизонтальный парогенератор [Электронный ресурс] / Горизонтальный парогенератор. – Режим доступа: <https://leg.co.ua/arhiv/generaciya/atomnye-elektricheskie-stancii-i-ih-oborudovanie-22.html> /. – Дата доступа: 03.10.2023.

3. Прямоточный парогенератор [Электронный ресурс] / прямоточный парогенератор. – Режим доступа: [https://sinref.ru/000\\_uchebniki/00850\\_energetica/100\\_konstruirovaniye\\_osnovnogooborudovaniye\\_aes\\_burdov\\_1985/084.htm](https://sinref.ru/000_uchebniki/00850_energetica/100_konstruirovaniye_osnovnogooborudovaniye_aes_burdov_1985/084.htm) /. – Дата доступа: 03.10.2023.

4. Принципиальная схема парогазовой установки утилизационного типа [Электронный ресурс] / Принципиальная схема парогазовой установки утилизационного типа. – Режим доступа: [https://sinref.ru/000\\_uchebniki/00850\\_energetica/100\\_konstruirovaniye\\_osnovnogooborudovaniye\\_aes\\_burdov\\_1985/084.htm](https://sinref.ru/000_uchebniki/00850_energetica/100_konstruirovaniye_osnovnogooborudovaniye_aes_burdov_1985/084.htm) /. – Дата доступа: 03.10.2023.

5. Параметры парогенератора [Электронный ресурс]/параметры парогенератора. – Режим доступа: [https://portal.tpu.ru/SHARED/k/KOROTKIKH/educational\\_work/Tab/m2.pdf](https://portal.tpu.ru/SHARED/k/KOROTKIKH/educational_work/Tab/m2.pdf) /. – Дата доступа: 03.10.2023.

УДК 621.18

**ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛИ  
SUPERHEATERS**

В.В. Бакалова, Н.Д. Самсонов

Научный руководитель – Н.В. Левшин, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Bakalova, N. Samsonov

Supervisor– N. Levshin, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** в данной статье представлены виды пароперегревателей и их принцип работы. Отдельно рассмотрена работа пароохладителя и теплообменника. Особое же внимание уделяется методам регулирования температуры пара. В заключении делается вывод о значимости пароперегревателей для эффективной работы электростанций.

**Annotation:** this article presents the types of superheaters and their principle of operation. The operation of the steam cooler and heat exchanger is considered separately. Special attention is paid to the methods of steam temperature regulation. In conclusion, the conclusion is made about the importance of superheaters for the efficient operation of power plants.

**Ключевые слова:** пароперегреватель, змеевики, ширмы, регулировочная характеристика, пароохладитель, теплообменник.

**Key words:** superheater, coils, screens, adjustment characteristic, steam cooler, heat exchanger.

**Введение**

Пароперегреватели являются важной частью технологии производства электроэнергии на электростанциях. Они используются для повышения эффективности работы паровых турбин путем нагрева пара до высоких температур и давлений. Далее будет рассмотрен принцип работы пароперегревателей, их преимущества и недостатки.

**Основная часть**

Пароперегреватели – устройства, которые используются для повышения температуры насыщенного пара до определенного уровня. Они считаются весьма важными элементами котла, поскольку при их работе достигается самая высокая температура пара, что предполагает повышенные требования к металлу труб при их изготовлении.

Различают следующие типы пароперегревателей:

- По типу теплообмена: конвективные, радиационные, полурadiационные ширмовые пароперегреватели;
- По назначению: основные, промежуточные.

Пароперегреватели конвективной части состоят из труб из стали, имеющих наружный диаметр, в среднем от 32 до 42 мм. Толщина стенки составляет от 5 до 7 мм. Геометрия трубного пучка предполагает гладкотрубное исполнение, из-за дешевизны и способности противостоять внешним отложениям. Несмотря на

возможность образования отложений, они сравнительно легко удаляются. Недостатком гладкотрубных пучков является ограниченное тепловосприятие при невысоких скоростях газового потока. Для монтажа пароперегревателя из гладких труб создаются трубные пучки, которые привариваются к коллекторам (входным и выходным), образуя пакеты.

Компоновка трубного пучка может иметь как однорядное так и многорядное исполнение. По направлению движения потока пара в перегреватель различают: прямоточную, противоточную и смешанную схемы. Противоточный пакет позволяет увеличить напор парового потока, что уменьшает расход металла при нагревании. Однако существует риск пережога выходных петель, что предполагает использование металла в условиях работы близких к предельным. Прямоточное исполнение более металлоемко, ввиду пониженного температурного напора. Недостатки обеих схем частично компенсирует комбинированная схема. Геометрия трубного пучка пароперегревателей может предполагать как вертикальное, так и горизонтальное расположение змеевиков. Вертикальная компоновка предпочтительна из-за надежности и простоты использования и обслуживания. Змеевиковые пароперегреватели предпочтительнее, так как они более удобны, просты и надежны в использовании. Горизонтальные змеевики, наоборот, считаются более сложными в обслуживании и легче загрязняются, но они значительно проще в использовании. Радиационные пароперегреватели обычно располагаются в верхней части топки, на потолке или на вертикальных стенах парового котла. Ширмовые пароперегреватели представляют собой трубы, образующие плоские плотные панели (ширмы) и являются радиационно-конвективными поверхностями. Ширмы располагаются на расстоянии 600–1000 мм друг от друга. Ширмовые пароперегреватели обычно получают 25–40% от всего тепловосприятия перегревателя [1].

Современные пароперегреватели преимущественно комбинированные и включают в себя радиационную, полурadiационную и конвективную конструкции. Место расположения перегревателя в газовом тракте и последовательность включения различных конструкций зависят от параметров пара. Регулирующая характеристика зависит от изменения температуры перегретого пара при изменении нагрузки на паровой котел. Например, для радиационного пароперегревателя характерно снижение температуры перегретого пара при повышении нагрузки котла. Это объясняется тем, что температура продуктов сгорания растет медленнее, чем нагрузка, что приводит к увеличению тепловосприятия настенных поверхностей нагрева. Несколько эксплуатационных факторов могут влиять на температуру перегретого пара, такие как изменение температуры питательной воды, влажность топлива, избыток воздуха в топке и шлакование на отдельных участках оборудования.

Регулирование температуры пара может осуществляться различными методами. Одним из них является паровое регулирование, которое заключается в снижении энтальпии пара или отборе его теплоты для питательной воды. Также используется метод инъекции обессоленной воды в пар, для испарения которой требуется теплота. Паровое регулирование нашло широкое применение при



высоком давлении пара. Однако для промежуточного перегрева пара этот метод не рекомендуется, так как образование дополнительного количества перегретого пара в итоге снижает эффективность производства энергии. Газовое регулирование температуры применяется для изменения температуры пара промежуточного перегрева и основано на изменении тепловосприятости поверхности нагрева. Это можно осуществить с помощью рециркуляции продуктов сгорания или поворотных горелок, путем изменения положения факела в топке котла. Для рециркуляции газов часть газов из газохода после экономайзера с температурой 350–450°C возвращается обратно в топочную камеру котла. Для этого применяются специальные дымоходы рециркуляции газов. Как следствие имеем рост затрат энергии на перекачку газов и увеличение объема газов в топке. По мере снижения нагрузки доля рециркулирующих газов увеличивается. Таким образом, наличие рециркуляции газов приводит к некоторому повышению температуры уходящих газов, что ведет к потерям теплоты и большему расходу топлива по отношению к режиму, где рециркуляция отсутствует. Регулирование температуры пара промежуточного перегрева осуществляется путем изменения теплового воздействия на поверхность нагрева с помощью газового регулирования. В мощных котлах обычно применяется совокупность этих методов, другими словами, требуемая температура пара обеспечивается с помощью парового и газового регулирования [2].

Пароохладитель может быть установлен либо до, либо после пароперегревателя. В случае монтажа пароохладителя после пароперегревателя повышается надежность поддержания требуемой температуры перегретого пара перед турбиной. Однако, в связи с высокими температурами в выходной части перегревателя, метод парового регулирования здесь не применим. В случае другой установки пароохладителя турбина и пароперегреватель оказываются в более защищенном положении. Для регулирования температуры пара обычно используют два или три пароохладителя, которые размещаются в разных частях пакетов пароперегревателя. Впрыскивающий пароохладитель представляет собой прямой участок 6–7 метрового паропровода. Его работа заключается в понижении потенциала перегретого пара за счет захлаживания при впрыске конденсата. Требования к качеству конденсата при этом повышенные.

При регулировании температуры вторичного пара широко применяются теплообменники. В основу работы положен принцип передачи теплоты свежего пара пару промперегрева. Функционал устройства востребован на частичных нагрузках котла при стабилизации температуры пара вторичного перегрева. Теплообменник имеет U-образную форму и состоит из 10–20 труб.

### **Заключение**

Пароперегреватели играют важную роль в повышении эффективности работы электростанций. Они позволяют повысить температуру пара, увеличивая его энергетический потенциал и тем самым увеличивая мощность электростанции. Однако, использование пароперегревателей также сопряжено с проблемами, такими как коррозия и высокие температуры, что требует постоянного обслуживания и контроля. Несмотря на это, пароперегреватели

остаются важным компонентом современных электростанций и вносят значительный вклад в производство электроэнергии.

### Литература

1. Котельные установки электростанций [Электронный ресурс] / Котельные установки электростанций. – Режим доступа: <https://teplota.org.ua/2013-08-30-reznikov-lipov-parovye-kotly-teplovux-elektrostantsii.html> /. – Дата доступа: 16.10.2023.

2. Исследование влияния качества регулирования температуры перегретого пара на срок службы металла пароперегревателя котлов [Электронный ресурс] / Исследование влияния качества регулирования температуры перегретого пара на срок службы металла пароперегревателя котлов. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vliyaniya-kachestva-regulirovaniya-temperatury-peregretogo-para-na-srok-sluzhby-metalla-paroperegrevatelya-kotlov/viewer> /. – Дата доступа: 18.10.2023.

УДК 502.075.8

**ПОДГОТОВКА УГОЛЬНОГО ТОПЛИВА К СЖИГАНИЮ  
PREPARATION OF COAL FUEL FOR COMBUSTION**

В.В. Бакалова

Научный руководитель – Е.В. Пронкевич, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Bakalova

Supervisor – E. Pronkevich, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** в данной статье рассматривается поэтапная подготовка угольного топлива к сжиганию. Здесь представлен принцип работы дробильно-измельчительных оборудований и систем пылеприготовления. Особое внимание акцентируется на достоинствах и недостатках тех или иных установок в зависимости от их параметров и их способности работать с различными видами топлива. В заключении делается вывод о важности процесса предварительной подготовки топлива к сжиганию.

**Annotation:** this article discusses the step-by-step preparation of coal fuel for combustion. The principle of operation of crushing and crushing equipment and dust preparation systems is presented here. Particular attention is focused on the advantages and disadvantages of certain installations, depending on their parameters and their ability to work with different types of fuel. In conclusion, the conclusion is made about the importance of the process of preliminary preparation of fuel for combustion.

**Ключевые слова:** угольная пыль, дробленка, мельницы, сушильный агент, сепаратор, система пылеприготовления.

**Key words:** coal dust, crushing, mills, drying agent, separator, dust preparation system.

**Введение**

Угольное топливо является одним из основных источников энергии во многих странах. Оно используется для генерации электроэнергии, отопления и производства промышленных товаров. Однако, перед тем как угольное топливо может быть использовано, оно требует определенной подготовки. В данной статье рассмотрены процессы подготовки угольного топлива к сжиганию. Любая электростанция, работающая на твердом топливе, имеет развитое топливно транспортное хозяйство. На сегодняшний день более 1000 т/ч угля потребляется крупными электростанциям. Исходя из этого, существует необходимость использования высокопроизводительных вагоноопрокидывателей, служащих для разгрузки топлива. На этапе проектирования тракта топливоподачи важно учесть вид, свойства и особенности транспорта поступающего топлива. Топливный тракт состоит из приемно-разгрузочного устройства, склада топлива, дробильные устройства, системы пылеприготовления, а также устройства для транспорта готового продукта (угольной пыли) к горелкам котла.

**Основная часть**

Топливо поступает на станцию в специальных вагонах. Далее транспортировка топлива осуществляется с помощью ленточных конвейеров (ЛК). На этом этапе выделяют два вида приемно-разгрузочных устройств: устройства с вагоноопрокидывателями и приемным бункером под ними (вагоны вводят в вагоноопрокидыватель, фиксируют и переворачивают, после чего вагон выталкивается и на его место прибывает другой) и со щелевым бункером (под путями находится бункер, в который топливо поступает через щели). Смерзшееся топливо предварительно разогревается в тепляках. Они представляют собой закрытые отапливаемые помещения.

Процесс формирования угольной пыли происходит в два этапа:

- Сырое топливо подвергается дроблению в специальном дробильном отделении. На выходе получаем измельченное топливо, или дробленку.
- Дробленка последовательно поступает в бункер сырого угля и мельницы, где и происходит размол топлива до угольной пыли. Размер частиц пыли должен быть не более 300–500 мкм. Одновременно с размоллом происходит подсушка топлива для обеспечения оптимальной текучести пыли.

Размер кусков топлива, поступающих на станцию, не должен превышать 300 мм. В целях профилактики более крупных кусков под приемным бункером устанавливают дискозубчатые дробилки. Также топливо, прибывшее на станцию, может содержать металлические остатки или древесные включения. Удаление металлических включений производится с помощью электромагнитных сепараторов, щепы удаляется щепоуловителями. Для обнаружения в потоке топлива металлических остатков устанавливают специальные датчики металлоискателя, которые срабатывают на металлические предметы массой 0,1–0,2 кг. Предметы, меньше указанных, не несут опасности для работы дробильных установок, а для их удаления применяют грохоты. Грохоты представляют собой неподвижные наклонные решетки с продольно расширяющимися щелями, сквозь которые и проваливается ненужная мелочь. Угол наклона грохота составляет 40–55°.

Очищенное от металла и щепы топливо направляется к дробилкам. В качестве примера рассмотрим принцип работы молотковой дробилки. Вращающиеся с большой скоростью била разбивают куски топлива. В нижней части дробилки размещают решетки, через которые дробленка по ЛК попадает в главное здание станции. Для этой решетки устанавливаются оптимальные размеры ячеек. За увеличением размера ячеек последует снижение эффективности подсушки топлива, уменьшение износостойкости оборудования и увеличение энергозатратности на приготовление пыли. При уменьшении размера ячеек можно наблюдать налипание топлива на рабочих органах оборудования. Во избежание вышеперечисленного для сильновлажных топлив размер ячеек находится в диапазоне от 25 до 30 мм, для умеренно влажных и сухих – 15–20 мм.

Дробленое топливо направляется в мельницы. Здесь на выходе получают смесь частиц размером от 0,1 до 300–500 мкм. При грубом размоле бурого угля (БУ) допускается размер частиц до 1000 мкм. Механические свойства различных

видов топлива различны, следовательно, производительность мельниц при размоле разных видов топлива будет неодинаковой. На долговечность мелющих органов влияет износостойкость металла. Этот момент является одним из ключевых при эксплуатации мельниц, так как в случае необходимости замены мелющих элементов потребуются остановка работы мельницы. В процессе размола топлива угольную пыль параллельно подсушивают сушильным агрегатом. В качестве сушильного агрегата может выступать горячий воздух или дымовые газы. Горячий воздух также может использоваться для транспорта пыли к горелкам котла.

Мельницы классифицируют по способу измельчения топлива и по частоте вращения подвижной их составляющей. Из всех мельниц наибольшее распространение получили шаровые барабанные мельницы (ШБМ) и молотковые мельницы (ММ). Более 90% размола всех видов топлива приходится именно на ШБМ и ММ.

ШБМ служит для размола старых каменных углей (КУ) и антрацитов, выход летучих веществ которых относительно мал. ШБМ представляет собой цилиндр (барабан) диаметром 1,5–4 м и длиной 2,5–12 м. Барабан частично (22–35%) заполняют стальными шаром. Диаметр шаров составляет 30–60 мм. Изнутри цилиндр покрыт волнистыми броневыми листами. Сверху имеется слой тепло- и звукоизоляции. Когда барабан начинает вращаться, шары поднимаются на некоторую высоту, зависящую от частоты вращения мельницы, а затем падают на слой угля. Размол угля происходит именно за счет удара шаров и перетирания топлива между ними. В процессе эксплуатации шары истираются, как следствие масса их уменьшается. Тогда для обеспечения нормальной работы мельницы придется обновлять либо добавлять шары. Достоинства: возможность работать на разном виде топлива, высокая надежность, легкая замена отработавших шаров, невосприимчивость мельницы к металлическим предметам. Недостатки: громоздкость и повышенные затраты металла на изготовление, высокая энергозатратность на размол и шум при работе.

ММ в свою очередь применяют для размола молодых КУ, бурых углей (БУ), торфа и сланцев, требующих грубого помола. Процесс измельчения топлива осуществляется за счет удара молотков (бил). На выходе получаем продукт более грубого помола в сравнении с ШБМ, поэтому ММ применяют при работе на высокорреакционных углях. Мельница представляет собой вал, на котором неподвижно закреплены диски. На дисках крепятся билодержатели, на противоположных концах которых располагаются била – основной мелющий элемент мельницы. Била изготавливают из марганцовистой стали или чугуна. Все вышеперечисленные элементы составляют ротор, который помещают в корпус, выполненный из стали. Толщина корпуса составляет 10–15 мм, внутри он покрыт броневыми плитами (толщиной 20–30 мм). Била из-за интенсивной работы подвержены износу. В сравнении с ШБМ била в ММ изнашиваются быстрее металлических шаров. В качестве сушильного агента здесь также выступает горячий воздух или топочные газы. При размоле вышеперечисленных видов топлив ММ имеют в 1,5–2 раза меньший удельный расход энергии, чем ШБМ [1].



Размол некоторых видов КУ более эффективно осуществлять с помощью среднеходных валковых мельниц (МВС). МВС имеют сравнительно небольшой удельный расход электроэнергии на размол, характеризуется малым износом мелющих элементов. Для них характерна компактность, меньший уровень шума, однако они имеют повышенную чувствительность к металлическим предметам, который могут попасть в мельницу вместе с дробленным топливом. Принцип работы мельницы заключается в том, что топливо подают на вращающийся стол и за счет центробежных сил оно попадает под валки и раздавливается. Измельченное топливо выносится потоками воздуха в сепаратор.

В отдельных случаях, когда необходимо работать с сильно влажными БУ, рационально применять мельницы вентиляторы (МВ). В данной конструкции ротор выполняет сразу две функции: функцию мелющего устройства и функцию крыльчаток вентилятора. По удельному расходу на размол угля МВ совпадает или близко к ММ. На выходе получаем грубый размол топлива.

После разлома в мельницах пыль поступает в сепаратор. Здесь мелкие частицы пыли отделяются от более крупных. Более крупные частицы направляются обратно в мельницу, а частицы пыли нужного размера уносятся потоками горячего воздуха.

Далее речь пойдет о системе пылеприготовления. Другими словами, система пылеприготовления (СПП) представляет собой совокупность оборудования, которое так или иначе используется для размола, сушки и транспорта угольной пыли к горелкам котла. Можно выделить два вида СПП:

- Центральная СПП отличается большой сложностью, а ее оборудование имеет большую цену. Ее спокойно можно назвать недостаточно надежной, как следствие центральная СПП имеет узкое применение. Здесь пыль получают в отдельном здании, другими словами, размольные установки обособлены от котла. Готовую пыль в дальнейшем используют для всех котлов, которые есть на станции.
- Индивидуальная СПП отличаются простотой и надежностью и здесь размольные установки установлены непосредственно у котла. Пыль в свою очередь может передаваться и соседним агрегатам. Существует два типа индивидуальных СПП. Индивидуальная СПП с прямым вдуванием, в случае которой промежуточная емкость для пыли не предусмотрена. Из-за жесткой связи пылесистемы и котла к ней выдвигаются особые требования. Нагрузка мельницы пропорциональна нагрузке котла. Достоинства данной схемы заключается в простоте, компактности (небольшое количество оборудования), низкой энергозатратности на размол и транспорт пыли. Минусом является невозможность передачи пыли другим котлам, следовательно, каждый котел должен иметь свою мельницу. При остановке одной из мельниц оставшиеся должны обеспечить не менее 90% производительности парового котла. Напротив, индивидуальная СПП с промежуточным бункером предусматривает возможность переброса части угольной пыли в бункеры других пылесистем. Как следствие, мельница может работать при постоянной нагрузке. Это позволяет использовать ШБМ в данной схеме. Запас пыли

позволяет останавливать мельницы для их ремонта. Для данной схемы характерна сложность и громоздкость [2].

### **Заключение**

В заключении стоит отметить важность подготовки угольного топлива к сжиганию. Благодаря этому можно эффективно использовать тот или иной вид топлива. Однако, необходимо учитывать и его влияние на окружающую среду. Развитие и применение более экологически чистых технологий и методов может помочь уменьшить негативные последствия подготовки угольного топлива и снизить его воздействие на окружающую среду.

### **Литература**

1. Котельные установки электростанций [Электронный ресурс] / Котельные установки электростанций. – Режим доступа: <https://teplota.org.ua/2013-08-30-rezников-lipov-parovye-kotly-teplovux-elektrostantsii.html> /. – Дата доступа: 09.10.2023.
2. Подготовка угля и его использование на отечественных ТЭС [Электронный ресурс] / Подготовка угля и его использование на отечественных ТЭС. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/podgotovka-uglya-i-ego-ispolzovanie-na-otchestvennyh-tes/viewer> /. – Дата доступа: 11.09.2023.

УДК 621.305

**ПРИМЕНЕНИЕ ПИ-ТРУБ В ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ  
THE USE OF PI-PIPES IN HEATING NETWORKS**

В.И. Хамицкая

Научный руководитель – Л.А. Тарасевич, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Khamitskaya

Supervisor – L. Tarasevich, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** в данной статье рассматриваются технические характеристики, преимущества и недостатки применения ПИ-труб, подчеркивая их ключевой вклад в создание устойчивых и эффективных систем теплоснабжения.

**Annotation:** this article discusses the technical characteristics, advantages and disadvantages of using PI-pipes, emphasizing their key contribution to the creation of sustainable and efficient heat supply systems.

**Ключевые слова:** тепловые сети, пи-трубы, энергоэффективность, теплопотери.

**Key words:** heating networks, pi-pipes, energy efficiency, heat loss.

**Введение**

В современном мире, где эффективность и экологическая устойчивость становятся ключевыми критериями в энергетической инфраструктуре, применение ПИ-трубопроводов в тепловых сетях занимает важное место. Эти передовые решения не только обеспечивают надежную транспортировку тепла от источников к конечным потребителям, но и открывают двери для оптимизации энергопотребления, увеличения эффективности и снижения воздействия на окружающую среду.

**Основная часть**

Трубы для теплотрасс, известные как ПИ-трубы, представляют собой внутреннюю трубу (стальную, стеклопластиковую или полипропиленовую), внешнюю трубу-оболочку (полиэтиленовую или оцинкованную) и пространство между ними, заполненное пенополиуретаном. ПИ-трубы оснащены проводами для системы оперативного дистанционного контроля состояния изоляции (СОДК), встроенными в теплоизоляцию. Эта система позволяет операторам отслеживать состояние трубопроводов в реальном времени, обнаруживать возможные утечки, контролировать температуру и давление, а также оптимизировать процессы подачи тепла.

ПИ-трубы предназначены для прокладки тепловых сетей с постоянной температурой теплоносителя до 393К (120°C), а также для прокладки тепловых сетей, работающих по графику качественного регулирования с температурой теплоносителя до 423К (150°C) [1].



Рисунок 1 – Конструкция ПИ-труб [2]

Преимуществами ПИ-труб являются:

- низкие теплопотери – ПИ-трубы обладают низкой теплопроводностью, что снижает теплопотери в системе теплоснабжения. Это помогает сохранять тепло и снижает расходы на обогрев воды, делая систему более эффективной и экономичной;
- устойчивость к коррозии – ПИ-трубы не подвержены коррозии, что обеспечивает долгий срок службы системы теплоснабжения и уменьшает необходимость в регулярных ремонтах и заменах;
- гибкость и легкость установки – они легкие и гибкие, что упрощает процесс установки, особенно на большие расстояния или в труднодоступных местах. Это может сократить время и трудозатраты при монтаже теплосети;
- устойчивость к температурным изменениям – ПИ-трубы могут безопасно выдерживать различные температурные условия, что делает их надежным выбором для теплосетей с переменной температурой;
- устойчивость к химическим воздействиям – они устойчивы к воздействию большинства химических веществ, что делает их подходящими для различных условий эксплуатации. Учитывая эти преимущества, ПИ-трубы являются эффективным решением для теплосетей, обеспечивая надежную и энергосберегающую систему теплоснабжения.

Однако ПИ-трубы имеют следующие недостатки:

- требования к поверхности для установки - при установке важно, чтобы поверхность, на которой прокладываются трубы, была ровной и свободной от острых предметов, чтобы предотвратить повреждения труб;
- цена – в некоторых случаях ПИ-трубы могут быть более дорогими по сравнению с другими материалами, хотя это зависит от рыночных

- условий и доступности материалов в конкретном регионе;
- сопротивление ударам - в сравнении с некоторыми другими материалами, ПИ-трубы могут быть менее устойчивы к механическим ударам и повреждениям;
  - чувствительность к ультрафиолету - полиэтилен подвержен воздействию ультрафиолетовых лучей. Если ПИ-трубы используются на открытом воздухе, без должной защиты от солнечного света, это может привести к их старению и ухудшению свойств со временем.

Замена традиционных труб ПИ-трубами повышает надежность теплоснабжения. ПИ-трубы обладают выдающимися техническими характеристиками, включая низкую теплопроводность, устойчивость к коррозии и химическим воздействиям. Эти свойства делают их идеальным выбором для теплосетей.

### **Заключение**

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что современные ПИ-трубопроводы теплосети являются технологически сложными и надежными системами, играющими ключевую роль в обеспечении устойчивого теплоснабжения для наших городов и общества в целом. Развитие новых технологий и подходов к проектированию продолжит улучшать эффективность и экологическую устойчивость этих систем, обеспечивая комфорт и безопасность в будущем.

### **Литература**

1. Трубы в ППУ изоляции [Электронный ресурс] / Трубы в ППУ изоляции. – Режим доступа: <https://pnd.by/product/truby-v-ppu-izolyacii/>. – Дата доступа: 13.10.2023.
2. Трубы в ППУ [Электронный ресурс] / Трубы в ППУ. – Режим доступа: [https://company-germes.ru/truby\\_v\\_ppu/](https://company-germes.ru/truby_v_ppu/). – Дата доступа: 13.10.2023.



УДК 620.92

**ПРОБЛЕМА ХРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ  
ELECTRICITY STORAGE PROBLEM**

В.В. Уласевич, Г.Б. Парамонов

Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

V. Ulasevich, H. Paramonov

Supervisor – V. Kravchenko, Candidate of Economic Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** в статье представлены краткое описание принципов работы некоторых типов аккумуляторных установок, а также перспективы развития технологий в данной сфере.

**Abstract:** this article presents a brief description of the operating principles of some types of battery installations, as well as prospects for the development of technologies in this area.

**Ключевые слова:** аккумуляторы, хранение, электроэнергия.

**Keywords:** batteries, storage, electricity.

**Введение**

Решение проблемы хранения электроэнергии является одной из важнейших задач человечества, которое положительным образом сказалось бы не только на энергетической сфере экономики, но и на всех остальных. Данная проблема возникла в связи с увеличением числа энергопотребителей и, как следствие, количества электропотребления, расширением сетей зарядочных станций для электромобилей и увеличением электрических инноваций в целом.

**Основная часть**

С вводом в эксплуатацию Белорусской Атомной Электростанции (далее – БелАЭС) стала остро ощущаться необходимость хранения электроэнергии, вырабатываемой на электростанции. Данная необходимость вызвана тем, что количество энергии, вырабатываемой в дневное и ночное время суток, одинаково, но потребление в ночное время существенно ниже, что представлено на графике (рисунок 1).

Имея возможность хранить электроэнергию, выработанную в ночное время суток, можно было бы направить её на нужды потребителя следующего дня. Таким образом, данная проблема может быть решена введением в эксплуатацию электроэнергетического процесса БелАЭС особо мощных аккумуляторных установок. Такими установками являются:

- гидроаккумулирующие электростанции (далее – ГАЭС);
- накопители энергии сжатого воздуха;
- электрохимические системы для хранения энергии;
- электрические технологии хранения электроэнергии.

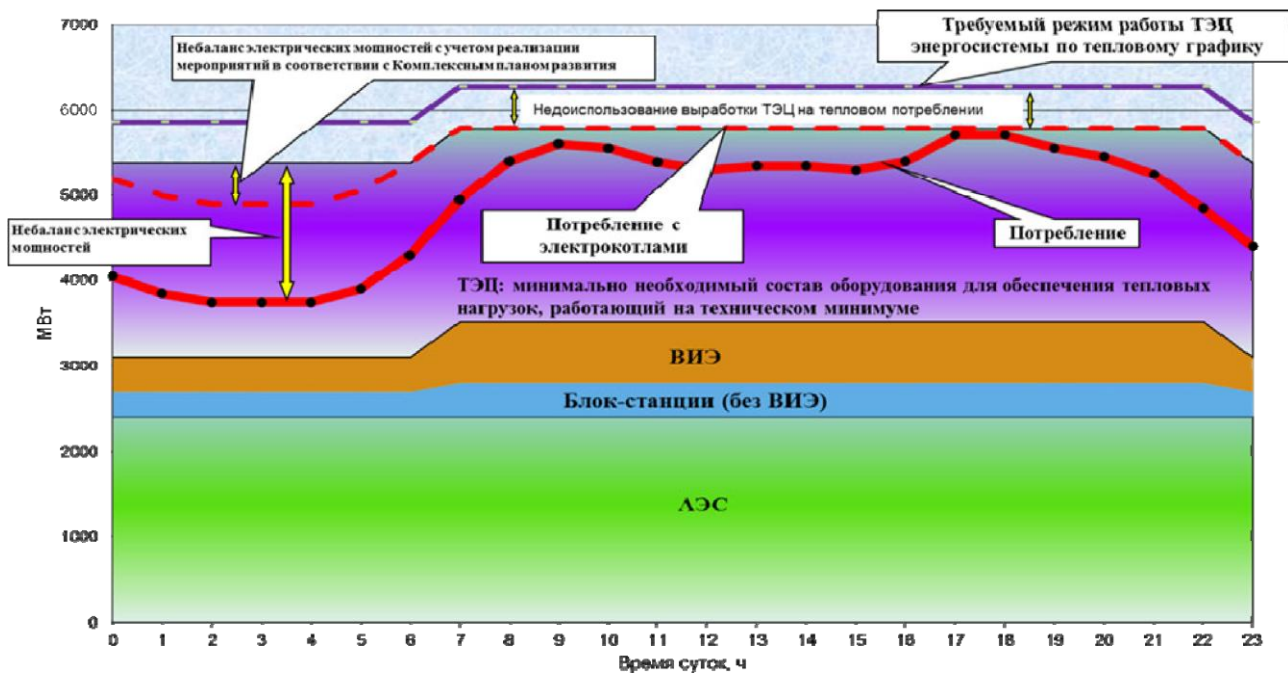


Рисунок 1 – Покрытие потребления в ОЭС Беларуси типовой день при работе двух энергоблоков БелАЭС [1]

Наибольшее распространение получили ГАЭС. 99% всей хранимой электроэнергии в мире поступает от них. В ночное время суток электроэнергия подаётся на насосы, заполняющие резервуар водой, которая во время пика потребления под действием силы тяжести вращает турбины. Данный вариант в Беларуси не может быть осуществлён по ряду причин, одна из которых – необходимость затопления огромных территорий с последующим созданием перепада высоты, а другая – колоссальные денежные затраты на организацию и строительство вышеуказанной электростанции.

Накопители энергии сжатого воздуха характеризуются наличием воздушного аккумулятора. Принцип работы воздушного аккумулятора заключается в том, что в ночное время суток электроэнергия подаётся на компрессор, повышающий давление воздуха в особом резервуаре. В свою очередь воздух во время пика потребления электроэнергии подаётся на турбины. От этого варианта в Беларуси отказались из-за отсутствия специалистов в данной области [2].

Широкое распространение получили электрохимические системы для хранения энергии. Технология базируется на принципе взаимодействия электродов и электролита. На данный момент на мировом рынке получили наибольшее распространение литий-ионные, свинцово-кислотные и никель-кадмиевые аккумуляторы, однако в этой области продолжают вести исследования. В большинстве случаев на электростанциях используются свинцово-кислотные аккумуляторы, однако в 2017 году компания Tesla впервые построила в Австралии станцию с улучшенными литий-ионными аккумуляторами, встроенными в гибридную энергетическую систему. Такая станция имеет мощность 100 МВт, но её существенным минусом является то, что из-за специфики её применения неизвестно, сколько циклов заряда способны вынести её батареи до их полного износа.

Электрические технологии хранения электроэнергии в настоящее время представлены суперконденсаторами. Принцип работы суперконденсатора заключается в его зарядке в ночное время суток и последующей разрядке во время пикового потребления электроэнергии [3].

Исследования в данном направлении достаточно перспективны: по данным Европейского патентного ведомства и Международного энергетического агентства в период с 2000 по 2018 годы число патентов на изобретения в области хранения электроэнергии росло заметно больше патентов на изобретения в других областях. В связи с активными исследованиями в сфере литий-ионных аккумуляторов, с 2010 года стоимость стационарных аккумуляторных установок в электроэнергетике снизилась на две трети [4].

### **Заключение**

В настоящее время как в Республике Беларусь, так и во всём мире непрерывно ведутся разработки новых, более эффективных типов аккумуляторных установок, которые смогли бы решить проблему хранения электроэнергии. На данный момент самым перспективным типом аккумулирующих станций являются электрохимические системы для хранения энергии, а именно литий-ионные батареи. Эти батареи продолжают совершенствоваться, и уже в недалёком будущем они станут широко применяться.

### **Литература**

1. Гецман, Е.М. Прогнозируемые режимы работы белорусской энергосистемы после ввода в промышленную эксплуатацию второго энергоблока БелАЭС / Е.М. Гецман, Т.Д. Ковалева // Энергетика Беларуси – 2022 [Электронный ресурс]: материалы Республиканской научно-практической конференции / сост.: И.Н. Прокопеня. – Минск: БНТУ, 2022. – С. 7–13. – Режим доступа: <https://rep.bntu.by/handle/data/120457>.
2. Способы управления генерацией энергосистемы [Электронный ресурс] / Как эффективно использовать Белорусскую АЭС. – Режим доступа: <https://eneca.by/novosti/energetika-i-energoeffektivnost/kak-effektivno-ispolzovat-beloruskuyu-aes/>. – Дата доступа: 12.10.2023.
3. Типы аккумуляторов [Электронный ресурс] / Технологии хранения электрической энергии. – Режим доступа: <https://esfccompany.com/articles/tekhnologii/tekhnologii-khraneniya-elektricheskoy-energii/>. – Дата доступа: 12.10.2023.
4. Перспективы рынка аккумуляторов [Электронный ресурс] / Села батарейка: что происходит на рынке сохранения энергии. – Режим доступа: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/60bde5849a7947f7d5c34333/>. – Дата доступа: 15.10.2023.

УДК 621.644.07

**ПРОГРАММА ДЛЯ БЫСТРОГО РАСЧЕТА ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ПРЯМЫХ ТРУБ И КОЛЕН С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ПАРКОВОГО РЕСУРСА  
A PROGRAM FOR FAST CALCULATION OF WALL THICKNESS FOR STRAIGHT PIPES AND ELBOWS WITH DETERMINATION OF SERVICE RESOURCE**

З.В. Ковганов, А.Н. Медведева

Научные руководители – В.А. Романко, старший преподаватель,

А.Г. Герасимова, к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Z. Kovganov, A. Medvedeva

Supervisors – V. Romanko, Senior Lecturer,

A. Gerasymova, Candidate of Technical Sciences, Docent

Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** расчет минимально допустимой толщины стенки прямых трубопроводов и гибов, а также определение паркового ресурса трубопровода с помощью программы, разработанной на языке программирования C++.*

***Abstract:** calculation of the minimum allowable wall thickness of straight pipelines and bends, as well as determination of the service resource of the pipeline using a program developed in the C++ programming language.*

***Ключевые слова:** трубопровод, расчет, толщина стенки, парковый ресурс, программа, сталь, колено.*

***Keywords:** pipeline, calculation, wall thickness, service resource, program, steel, elbow.*

### **Введение**

Одним из самых важных элементов на тепловой электростанции (ТЭС) являются трубопроводы, благодаря которым соединяется все основное оборудование и по которым происходит транспортировка рабочих сред (пара, воды, масла и т.д.). Все трубопроводы играют важную роль в функционировании ТЭС, обеспечивая передачу теплоты, необходимой для производства электроэнергии [1]. Исходя из этого, при проектировании каких-либо трубопроводных систем на станции каждая труба рассчитывается на прочность и стойкость к различным воздействиям. Также необходимо строго контролировать состояние каждого трубопровода, чтобы обеспечить надежное и безаварийное функционирование электростанции, и, в случае чего, вовремя произвести ремонт или замену вышедшего из строя оборудования.

Каждое действие, связанное с проектированием или заменой трубопроводных систем, сопровождается различными инженерными расчетами. В них входит: выбор материала трубопровода, расчет толщины стенки трубы (прочностной расчет), определение срока службы (ресурса) и многое другое. Каждая операция по расчету должна быть точная и иногда с некоторым запасом на случай возникновения нестандартных ситуаций. Для исключения различных ошибок в расчетах и для более быстрого определения искомых величин была

разработана компьютерная программа (рисунки 1, 2), с помощью которой можно рассчитать толщину стенки трубопровода и его парковый ресурс.

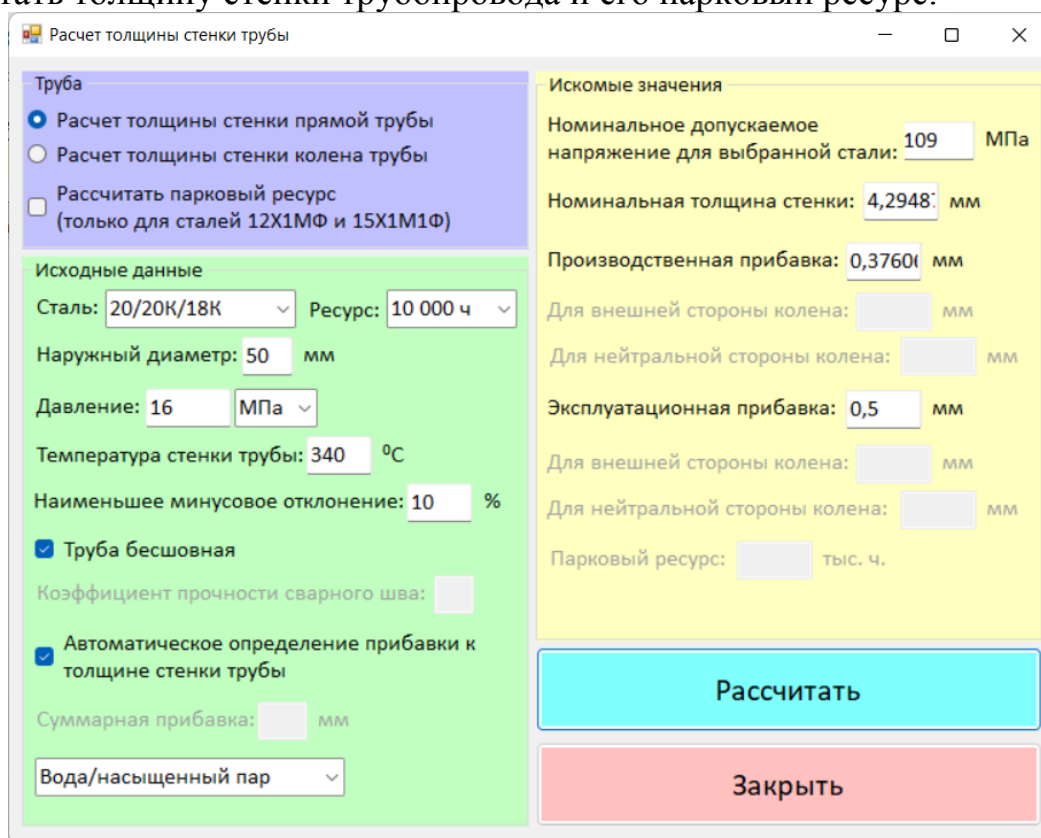


Рисунок 1 – Внешний вид программы

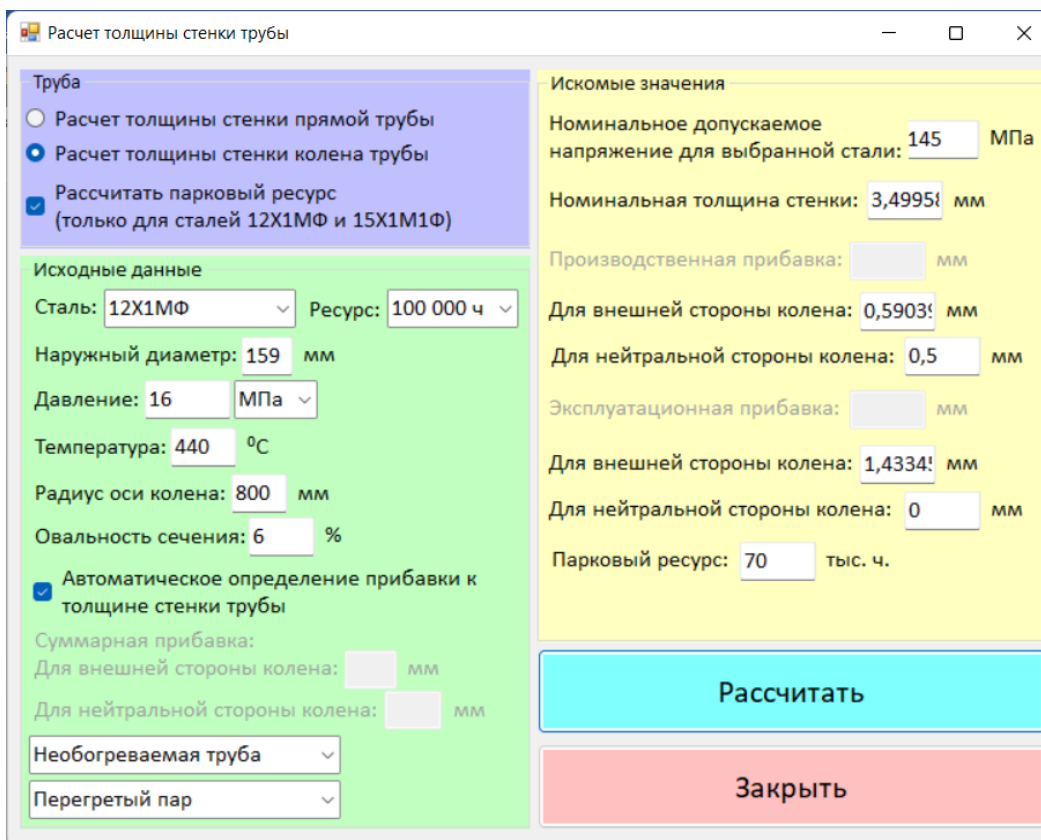


Рисунок 2 – Внешний вид программы

**Основная часть**



Расчет толщины стенки прямых трубопроводов и гибов в программе реализован по следующим формулам [2]:

Расчетная толщина стенки трубы:

$$s_R = \frac{pD_a}{2\varphi_\omega[\sigma]+p}, \quad (1)$$

где  $p$  – давление, МПа;

$D_a$  – наружный диаметр трубы, мм;

$\varphi_\omega$  – безразмерный коэффициент прочности спирального или продольного сварных швов (для бесшовных труб  $\varphi_\omega = 1$ );

$[\sigma]$  – номинальное допускаемое напряжение, МПа. Определяется в соответствии с материалом, из которого изготовлена труба [2, приложение 2].

Номинальная толщина стенки трубы:

$$s = s_R + c, \quad (2)$$

где  $c$  – суммарная прибавка к расчетной толщине стенки трубы, мм. Определяется путем сложения эксплуатационной и производственной прибавки [2, приложение 3].

Для изогнутых участков трубопроводов толщина стенки определяется по следующим формулам:

$$s_{R1} = s_R K_1 Y_1; \quad s_{R3} = s_R K_3 Y_3, \quad (3)$$

где  $s_{R1}, s_{R3}$  – расчетная толщина стенки на внешней и нейтральной стороне колена соответственно, мм;

$K_1, K_3$  – безразмерный торový коэффициент внешней и нейтральной стороны колена соответственно;

$Y_1, Y_3$  – безразмерный коэффициент формы внешней и нейтральной стороны колена соответственно.

$$K_1 = \frac{4\frac{R}{D_a}+1}{4\frac{R}{D_a}+2}; \quad K_3 = 1, \quad (4)$$

где  $R$  – радиус гiba, мм.

В зависимости от типа стали и температуры стенки коэффициенты формы рассчитываются по следующим формулам:

Для колен из углеродистой стали с температурой стенки, не превышающей 350°C, а также для колен из легированной стали с температурой стенки, не превышающей 400°C:

$$Y_1 = 0,12 \left( 1 + \sqrt{1 + 0,4q \frac{a}{\alpha}} \right); \quad Y_3 = 0,12 \left( 1 + \sqrt{1 + 0,4 \frac{a}{\alpha}} \right), \quad (5)$$

где  $a$  – овальность сечения, %;

$\alpha, q$  – безразмерные коэффициенты, определяемые по формулам:

$$\alpha = \frac{p}{2[\sigma]+p}; \quad q = 2\alpha \frac{R}{D_a} + 0,5. \quad (6)$$

Для колен из углеродистой стали с температурой стенки, превышающей 400°C, а также для колен из легированной стали с температурой стенки, превышающей 450°C:

$$Y_1 = 0,4 \left( 1 + \sqrt{1 + 0,015q \frac{a}{\alpha}} \right); Y_3 = 0,4 \left( 1 + \sqrt{1 + 0,015 \frac{a}{\alpha}} \right), \quad (7)$$

Для колен из углеродистой стали с температурой стенки, находящейся в пределах от 350°C до 400°C, а также для колен из легированной стали с температурой стенки, находящейся в пределах от 400°C до 450°C коэффициенты формы определяются по формулам (5) и (7) путем линейного интерполирования в зависимости от температуры.

Также при расчете гибов находятся две прибавки: одна прибавка для внешней стороны колена, вторая – для нейтральной [2, приложение 3].

Номинальная толщина стенки будет равна:

$$s_1 = s_{R1} + c; s_3 = s_{R3} + c; s = \max(s_1, s_3). \quad (8)$$

Также в программе присутствует расчет паркового ресурса трубопровода. Он определяется только для труб, изготовленных из сталей 15X1M1Ф и 12X1MФ, по численному значению коэффициента запаса прочности, рассчитываемому по следующей формуле:

$$K = \frac{3[\sigma]s}{p(D_a - s)}, \quad (9)$$

где  $[\sigma]$  – определяется для расчетного ресурса равного 100 000 часам.

В программе помимо вывода на экран численных значений толщины стенки и паркового ресурса трубопроводов присутствует отображение номинального допускаемого напряжения для выбранной стали и прибавок. Благодаря этому, с помощью программы можно также дополнительно определять промежуточные расчетные значения. Также в программе присутствует ручной ввод прибавок к расчетной толщине стенки трубы на случай, если автоматическое их вычисление не корректно для данного расчета.

### Заключение

Таким образом, благодаря разработанной программе можно за несколько секунд рассчитать толщину стенки трубопровода и определить его парковый ресурс, в то время как расчет вручную занял бы несколько минут. Все вычисления производятся с высокой точностью, так как их производит компьютер, что также исключает какие-либо ошибки со стороны человека. Применение в подобных расчетах возможностей языка C++ существенно помогает в сложных и многочисленных вычислениях в энергетике.

### Литература

1. Ковганов, З.В. Тепловая электрическая станция небольшой мощности на органическом цикле Ренкина = Small capacity thermal power plant operating on the organic Rankine cycle / З.В. Ковганов, Е.В. Таранко; науч. рук. Е.В. Пронкевич // Актуальные проблемы энергетики - 2022 [Электронный ресурс]: материалы студенческой научно-технической конференции / сост.: И.Н.

Прокопеня, Т.А. Петровская; редкол.: Е.Г. Пономаренко (пред.) [и др.]. – Минск: БНТУ, 2022. – С. 420–422.

2. Контроль и диагностика теплового оборудования ТЭС: учебно-методическое пособие для студентов дневной формы обучения специальности 1-43 01 04 «Тепловые электрические станции» / А.Г. Герасимова, Н.Б. Карницкий. – Минск: БНТУ, 2009. – 123 с.

УДК 621.311.11

**СИСТЕМЫ АККУМУЛЯЦИИ ТЕПЛА В ЭНЕРГЕТИКЕ БЕЛАРУСИ  
HEAT ACCUMULATION IN THE ENERGY SECTOR OF BELARUS**

А.А. Кожух, М.Ю. Нагорнюк

Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

А. Kozhykh, M. Nagornyuk

Supervisor – S. Kachan, Candidate of Technical Sciences, Docent

Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** описаны аккумулирующие установки, позволяющие обеспечивать более равномерную загрузку энергогенерирующего оборудования электростанций. Рассмотрены три варианта включения баков-аккумуляторов в тепловую схему энергообъектов. Показаны преимущества и недостатки схем.

**Abstract:** storage installations are described that allow for more uniform loading of power generating equipment at power plants. Three options for including storage tanks in the thermal circuit of power facilities are considered. The advantages and disadvantages of the schemes are shown.

**Ключевые слова:** электрокотлы, аккумуляция теплоты, схемы включения баков-аккумуляторов.

**Keywords:** electric boilers, heat accumulation, methods of connecting of storage tanks.

**Введение**

Одним из мероприятий по интеграции Белорусской АЭС в энергосистему нашей страны является ввод электрокотлов общей установленной мощностью порядка 1150 МВт (в том числе порядка 950 МВт на объектах энергетической отрасли – на котельных и электростанциях ГПО «Белэнерго») [1]. При прохождении ночного минимума нагрузок это позволяет исключить необходимость останова в резерв генерирующего оборудования (в том числе и теплофикационного) за счёт потребления части вырабатываемой электроэнергии на нагрев сетевой воды.

При данном способе разгрузке турбоагрегатов в ночное время появляется большой избыток тепловой энергии, для использования которого принято решение использовать установки аккумуляции тепла, которые накапливают избыток тепловой энергии в ночное время, а во время её недостатка – отдают потребителям.

**Основная часть**

Использование аккумулирующих установок позволяет обеспечить более равномерную загрузку генерирующего оборудования станций и тем самым повысить их надежность и экономичность. Кроме того, благодаря увеличению мощности в момент прохождения пиков нагрузки снижается необходимость установки специальных пиковых мощностей.

Установка аккумуляции тепла предназначена для запаса тепловой энергии в виде горячей воды в периоды избытка тепловой мощности теплоисточника (зарядка бака-аккумулятора) и выдачи тепловой энергии – в периоды недостатка

тепловой мощности теплоисточника (разрядка бака-аккумулятора). Система аккумуляции тепла состоит из следующих основных элементов:

- бак-аккумулятор;
- насосы горячей воды (электродвигатели оснащены ЧРЭП);
- насосы холодной воды (электродвигатели оснащены ЧРЭП);
- установка по генерации азота;
- запорная, регулирующая, предохранительная арматура;
- приборы КИПиА.

Типы аккумуляторов горячей воды:

- атмосферные баки аккумуляторы, используются для аккумуляции горячей воды с температурой не выше 100°C (обычно 95°C), такие баки используют для включения в схему отпуска тепла от ТЭЦ;
- баки аккумуляторы под давлением, изготавливаемые, как правило, из напряженного железобетона.

К числу наиболее важных технико-экономических показателей таких установок следует отнести:

- сравнительно невысокие удельные капиталовложения в дополнительную мощность;
- возможность получения высокотехнологичного цикла регулирования мощности (теоретическое отношение дополнительно вырабатываемой электроэнергии при разряде аккумулятора невырабатываемой электроэнергии при зарядке может быть 0,8–0,85);
- возможность получения высокоманевренных характеристик, что обусловлено минимальными температурными изменениями в оборудовании и трубопроводах при изменении мощности, а также несложными и кратковременными операциями при изменении мощности, такими, как пуск-останов насосов, открытие-закрытие задвижек и т.п..

Рассмотрим три варианта включения баков-аккумуляторов в тепловую схему энергообъекта [2]:

- схема аккумуляции тепла с двумя баками запаса холодной и горячей воды;
- схема аккумуляции тепла с одним баком-аккумулятором (подключенным непосредственно к теплосетям);
- схема аккумуляции тепла с одним баком-аккумулятором (подключенным к теплосетям через разделительный теплообменник).

Схема аккумуляции тепла с двумя баками холодной и горячей воды отличается наличием двух баков-аккумуляторов – холодной и горячей воды (рисунок 1). Принцип её работы заключается в следующем. Во время суточного провала потребления электроэнергии, когда необходима разгрузка турбин, вода из бака холодной воды подаётся в трубопровод обратной сетевой воды, а из трубопровода прямой сетевой воды осуществляется отбор в бак горячей воды. Таким образом происходят зарядка системы аккумуляции, а также снижение выдаваемой электрической мощности, если подогрев осуществляется в электродвигателе.



Когда в энергосистеме дефицит тепловой энергии – происходит разрядка бака горячей воды в тепловую сеть, а зарядка бака холодной воды осуществляется из обратного трубопровода сетевой воды. В данном случае снижается нагрузка на сетевой подогреватель, что влечёт снижение расхода пара в отборы и, как следствие, увеличение электрической мощности турбины.

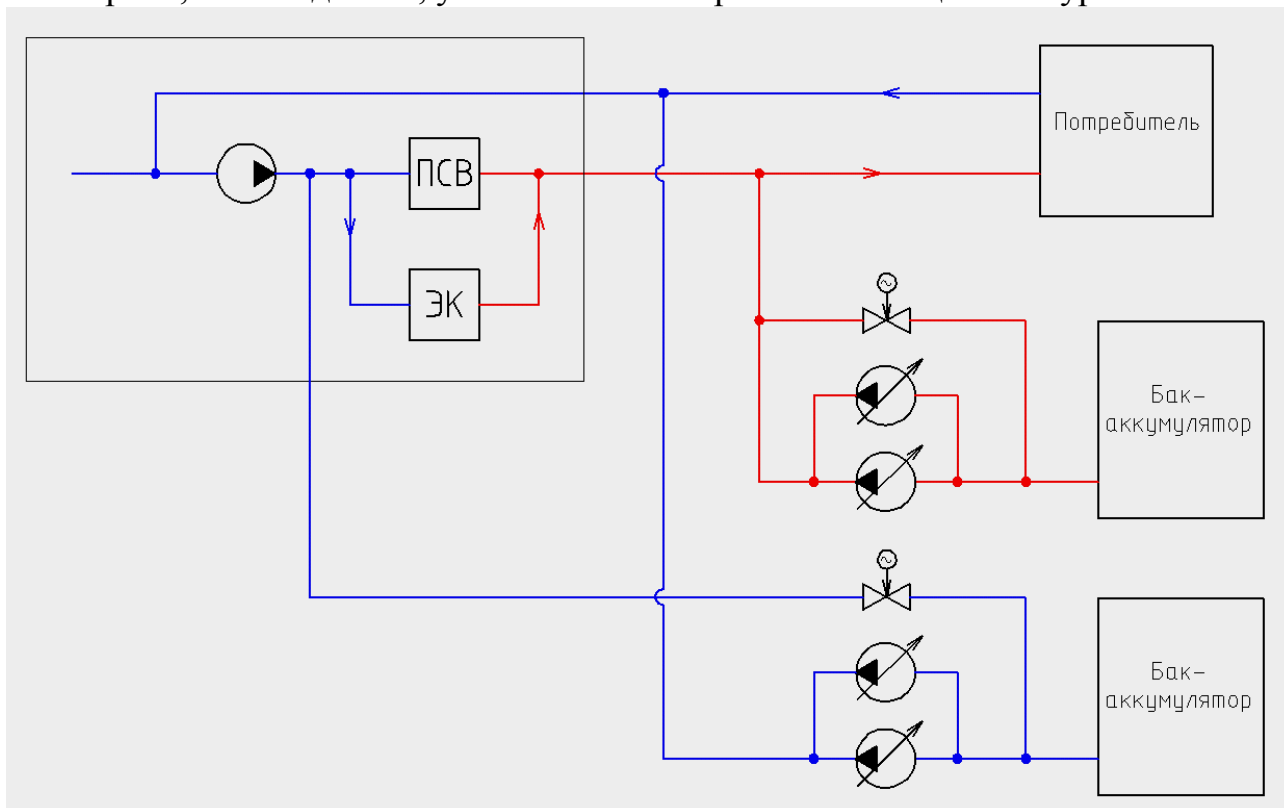


Рисунок 1 – Схема реализации установки аккумуляции тепла с двумя баками-аккумуляторами [2]

Преимущества схемы:

- простота конструкции баков;
- отсутствие необходимости в специальных диффузорах.

Недостатки схемы:

- наличие двух баков аккумуляторов, что влечёт удорожание конструкции, усложнение схемы и увеличение объёмов строительно-монтажных работ;
- наличие как минимум четырёх насосов и, как следствие, – удорожание конструкции;
- большое потребление электроэнергии на собственные нужды установки;
- взаимное влияние гидравлики контура тепловой сети и баков-аккумуляторов друг на друга.

В схеме аккумуляции тепла с одним баком-аккумулятором (подключенным непосредственно к теплосетям) горячая и холодная вода одновременно хранятся в единственном баке-аккумуляторе (рисунок 2).

Принцип работы схемы: для зарядки бака-аккумулятора горячая вода отбирается из тепловой сети и подаётся в верхнее распределительное устройство – диффузор. Оно обеспечивает равномерное распределение горячей воды по сечению бака. Одновременно с этим из нижней части бака через аналогичный

диффузор откачивается холодная вода, а затем подается в обратный трубопровод сетевой воды. Разрядка бака-аккумулятора производится в обратном порядке.

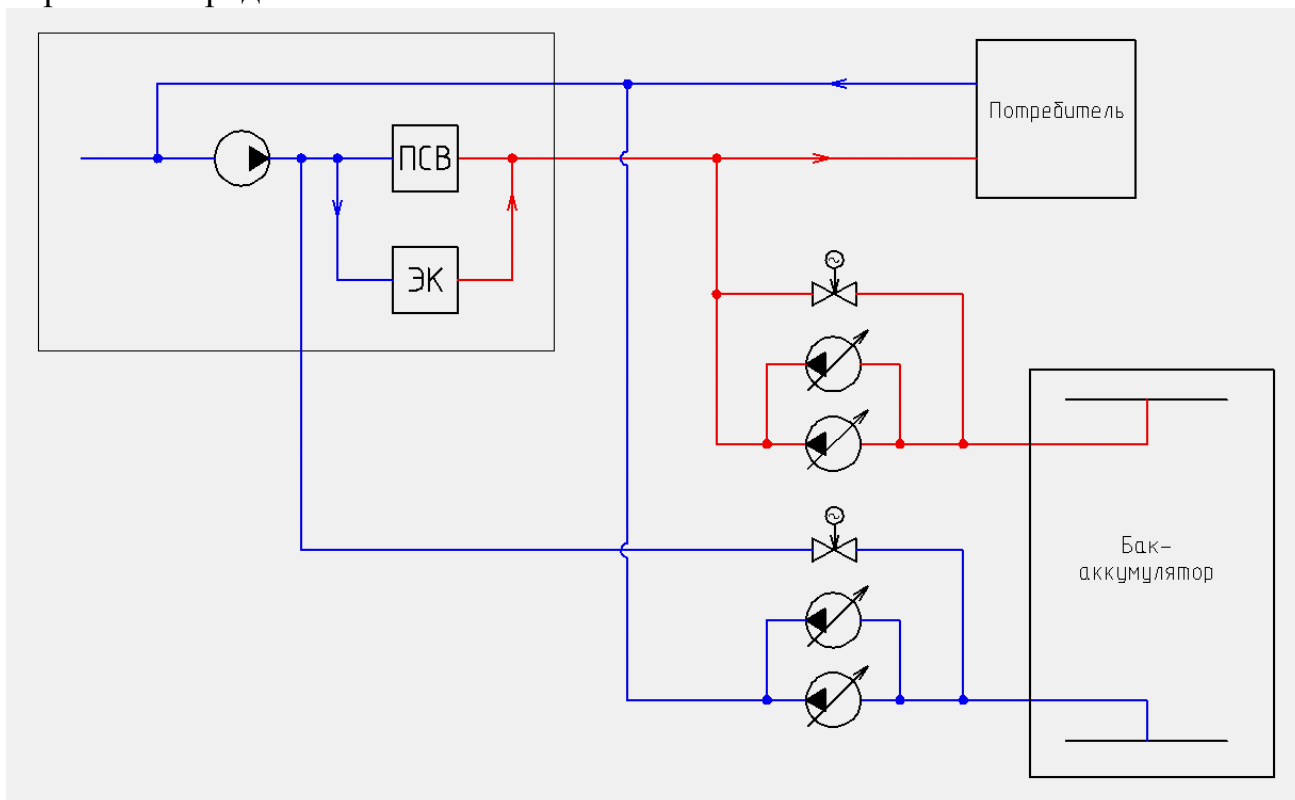


Рисунок 2 – Схема реализации установки аккумуляции тепла с одним баком-аккумулятором [2]

Преимущества схемы:

- наличие только одного бака-аккумулятора – снижение стоимости установки и уменьшение объёма строительно-монтажных работ;
- компактность установки.

Недостатки схемы:

- усложнение и удорожание конструкции бака-аккумулятора за счёт наличия дополнительных устройств – диффузоров;
- наличие неиспользуемой зоны рабочего объёма бака (переходная зона между горячей и холодной средой);
- взаимное влияние гидравлики контура тепловой сети и баков-аккумуляторов друг на друга.

Основным отличием схемы аккумуляции тепла с одним баком-аккумулятором и разделительным теплообменником от предыдущей является наличие разделительного теплообменника, который обеспечивает гидравлическую независимость контуров теплосети и бака-аккумулятора (рисунок 3).

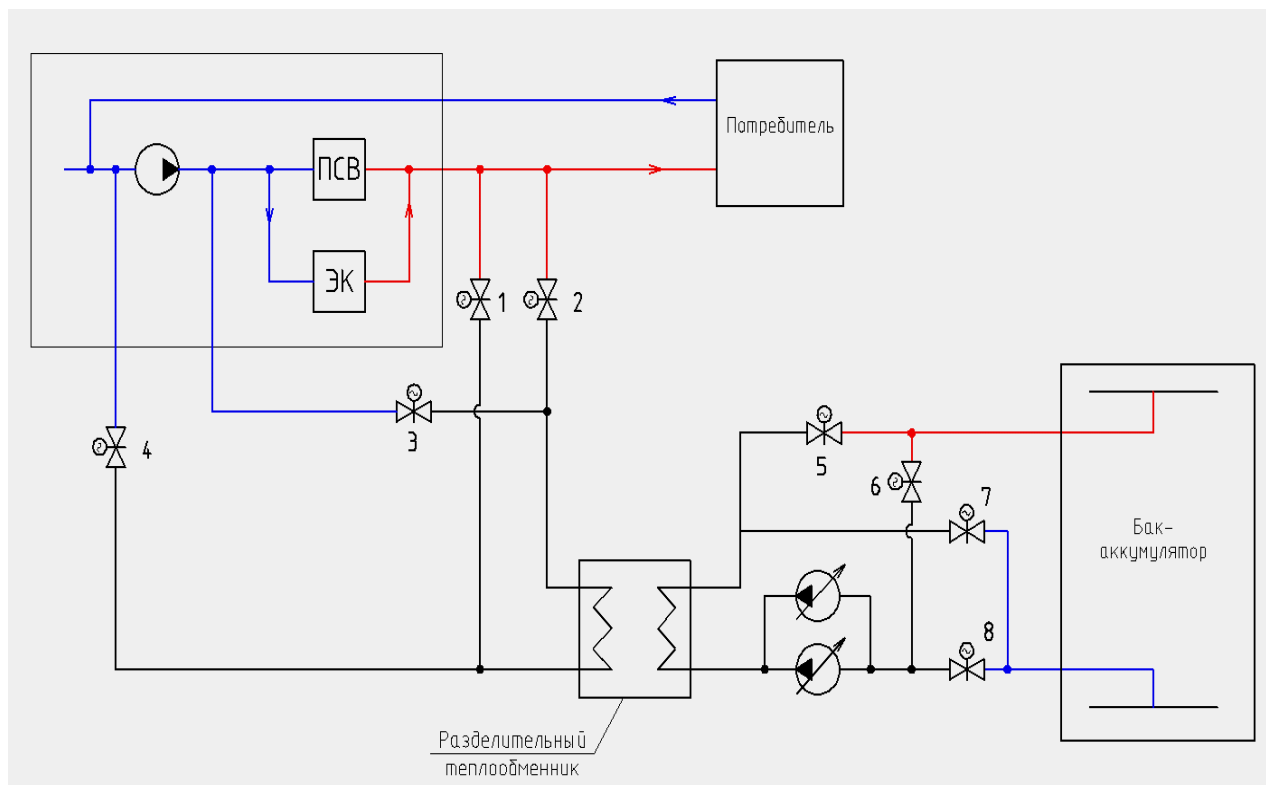


Рисунок 3 – Схема реализации установки аккумуляции тепла с одним баком-аккумулятором и разделительным теплообменником [2]

Принцип зарядки и разрядки бака-аккумулятора аналогичен предыдущей схеме, однако происходит усложнение схемы и увеличение количества арматуры.

Для зарядки бака необходимо перекрыть арматуру 1, 3, 6 и 7. Тогда вода в контуре бака-аккумулятора откачивается из его нижней части, подогревается в теплообменнике и закачивается в верхнюю часть бака. Греющей средой в данном случае является сетевая вода, отбираемая из трубопровода прямой сетевой воды. После теплообменника она подаётся в трубопровод обратной сетевой воды.

Для разрядки необходимо перекрыть арматуру 2, 4, 5 и 8. В данном случае греющей средой является вода, откачиваемая из верхней части бака-аккумулятора.

Применение такой схемы одновременно позволяет сократить количество необходимых насосов, что благоприятно сказывается на экономичности установки.

Преимущества схемы:

- наличие разделительного теплообменника обеспечивает гидравлическую независимость контура бака-аккумулятора и теплосети, а также позволяет поддерживать высокое качество воды;
- наличие только одного бака-аккумулятора даёт снижение стоимости установки и уменьшение объёма строительно-монтажных работ;
- два насоса небольшой мощности вместо четырёх существенно снижают потребление электроэнергии на собственные нужды;

Недостатки схемы:

- сложность схемы (реализация переключений запорной арматуры при

- зарядке/разрядке);
- наличие разделительного теплообменника вызывает появление температурного напора, что влечёт за собой увеличение объёма бака-аккумулятора на 20–25 %.

### **Заключение**

Из рассмотренных схем реализации установок аккумуляции тепла наиболее предпочтительной является третья схема – с одним баком аккумулятором и разделительным теплообменником. Благодаря наличию только двух насосов обеспечивается высокая экономичность установки, а наличие разделительного теплообменника создаёт независимость контуров теплосети и бака-аккумулятора. Также он позволяет поддерживать высокое качество воды в контуре и продлевает срок службы основного оборудования.

### **Литература**

1. Трутаев, В.И. Применение электродкотлов на ТЭЦ как эффективный способ получения маневренной электрической мощности в энергосистеме Беларуси с вводом АЭС / В.И. Трутаев, В.М. Сыропуцинский // Энергетическая стратегия. – 2010. – № 4(16). – С. 19–24.
2. Таращук, К.А. Внедрение установок аккумуляции тепла в энергосистему Республики Беларусь / К.А. Таращук, Е.М. Пархомчик [Электронный ресурс] // РУП «Белнипиэнергопром». – Молодежная научно-практическая конференция специалистов-энергетиков 2018. – Режим доступа: <https://yandex.by/video/preview/13968948610849090488>. – Дата доступа: 24.09.2023.

УДК 621.9.015

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОСОБЕННОСТИ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОКОТЛОВ МИНСКОЙ ТЭЦ-4  
TECHNICAL CHARACTERISTICS AND OPERATING FEATURES  
OF ELECTRIC BOILERS OF MINSK CHPP-4

И.В. Шпомер, Т.Ю. Пожарицкий, С.Д. Крутиков  
Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
I. Shpomer, T. Pozharitsky, S. Krutsikau  
Supervisor – S. Kachan, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** показаны предпосылки ввода электрокотлов на Минской ТЭЦ-4 с целью интеграции Белорусской АЭС в энергосистему Республики Беларусь. Приведена принципиальная схема электрокотельной водогрейной установки и описаны особенности ее эксплуатации. Перечислены требования к качеству воды электрокотлов.

**Abstract:** the prerequisites for commissioning electric boilers at Minsk CHPP-4 with the aim of integrating the Belarusian NPP into the energy system of the Republic of Belarus are shown. A schematic diagram of an electric boiler water heating installation is given and the features of its operation are described. The requirements for water quality of electric boilers are listed.

**Ключевые слова:** Минская ТЭЦ-4, электрокотлы, особенности эксплуатации, качество воды.

**Keywords:** Minsk CHPP-4, electric boilers, operating features, water quality.

### Введение

С целью интеграции Белорусской АЭС в энергосистему Республики на ряде ТЭЦ Беларуси вводятся электрокотлы, которые предназначены для более глубокой разгрузки генерирующего оборудования в период спада потребления электрической энергии. Ввод электрокотлов на Минской ТЭЦ-4, крупнейшей отопительной ТЭЦ Беларуси, позволяет в ночные часы отопительного периода передавать на них тепловую нагрузку паровых турбин, разгружая последние ниже режима теплового графика. Это обеспечивает существенное снижение выдаваемой мощности от ТЭЦ на величину потребления электроэнергии электрокотлами и снижения теплофикационной выработки турбин. При этом в отопительный период возможна номинальная загрузка блоков Белорусской АЭС и работа маневренных конденсационных блоков энергосистемы без ежесуточных ночных остановов.

### Основная часть

Объем реконструкции по установке электрокотлов на Минской ТЭЦ-4 следующий.

Во временном торце турбинного отделения ТЭЦ установлены 4 водогрейных электродных котла ZVP-2840 (таблица 1) суммарной мощностью



160 МВт [1]. Совместно с электродкотлами установлено следующее оборудование [1]:

- 8 насосов замкнутого контура;
- 4 подогревателя сетевой воды;
- 4 автоматические установки поддержания давления и подпитки замкнутого контура;
- 1 установки подготовки добавочной воды;
- таль грузоподъемностью 2 т.

Таблица 1 – Технические характеристики котла ZVP-2840 [1]

Показатели	Единица измерения	Величины
Максимальная тепловая производительность	МВт	40
Минимальная тепловая производительность	МВт	4
Напряжение питания	кВ	11
Расчетная температура теплоносителя до	°С	135
Расчетное давление до	МПа	0,6
Водяной объем	м <sup>3</sup>	21
Температура теплоносителя на входе в котел	°С	90
Температура теплоносителя на выходе из котла	°С	120
Расход теплоносителя через котел	1200 м <sup>3</sup> /ч	1200
Рабочее давление	МПа	0,25

Установка построена по двухконтурной схеме (рисунок 1) [2].

Первичный контур – это электродкотёл, автоматическая установка поддержания давления, теплообменник пластинчатый со стороны греющей воды котла и группа циркуляционных насосов. Вторичный контур – это теплообменник пластинчатый со стороны нагреваемой сетевой воды.

Заполнение и подпитка первичного контура происходит водой из коллектора химобессоленной воды.

В первичном контуре вода нагревается в электродкотле. Вода в котёл подаётся под давлением, благодаря чему, становится возможным нагрев ее до температуры, превышающей температуру кипения при нормальных условиях. Рабочая температура в котле может достигать 135°С.

Установленный в системе расширительный бак предназначен для компенсации увеличения объёма воды в первичном контуре при изменении её температуры в зависимости от режима работы.

Насос электродкотла (СНЭК) обеспечивает циркуляцию теплоносителя замкнутого (первичного) контура между котлом и теплообменником. В контуре устанавливаются два насоса электродкотла. Один из насосов находится в работе, в то время как другой находится в резерве. При остановке эксплуатируемого насоса второй насос из резерва запускается автоматически (АВР).

Давление в системе поддерживается автоматически, устройством поддержания давления (УПД). Установка поддержания давления Variomat Giga в автоматическом режиме выполняет подпитку котла, поддержание давления в системе электродкотла и деаэрацию воды.

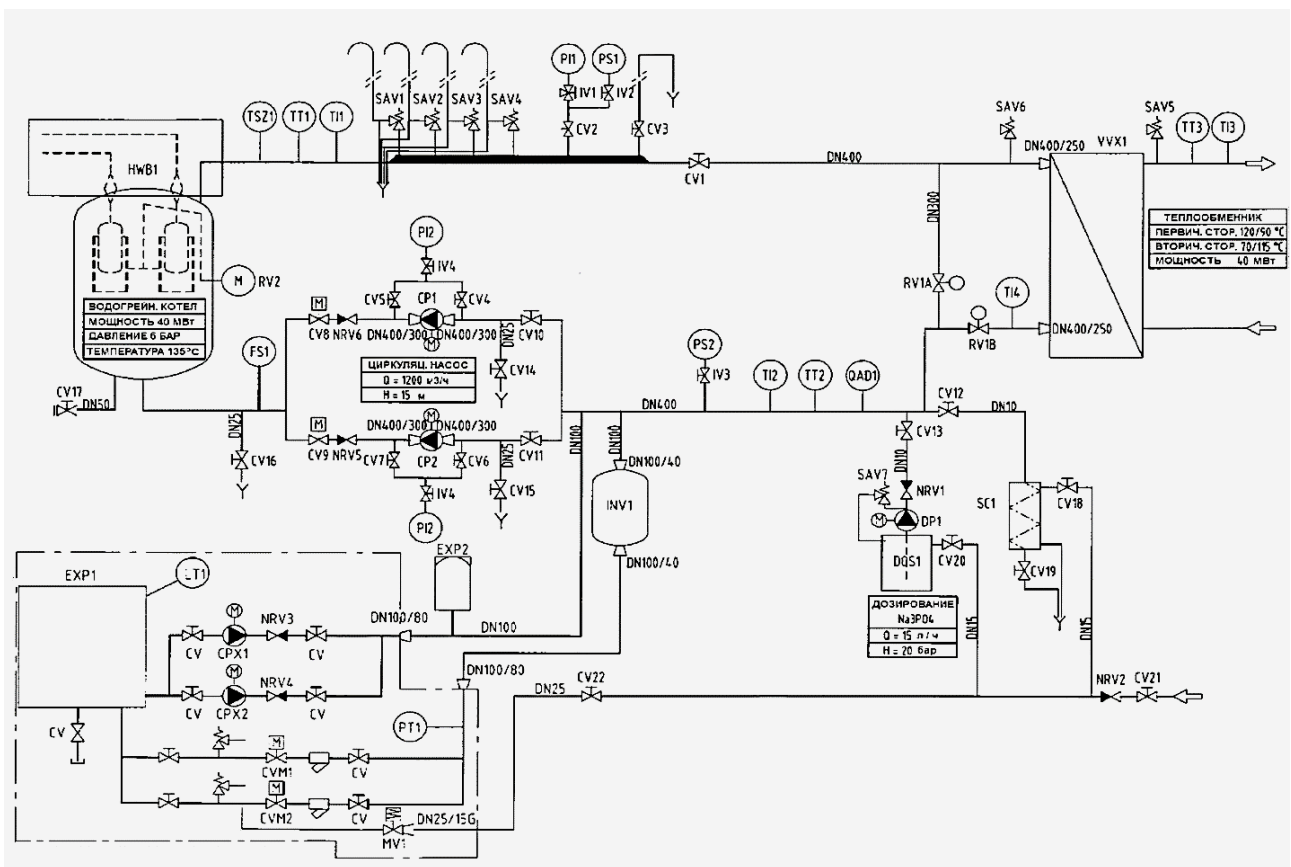


Рисунок 1 – Принципиальная схема электродогрейной водогрейной установки [2]

Установка состоит из блока управления, основного резервуара, промежуточного и дополнительного резервуаров. В основном и дополнительном резервуарах установлены мембраны, которые делят резервуар на воздушную и водяную ёмкости и не допускают попадания воздуха в контур котла.

Основной резервуар предназначен для регулирования давления, подпитки котла в процессе работы и деаэрации воды контура котла. Дополнительный резервуар служит для поддержания постоянного заданного давления. Промежуточный резервуар является приёмной буферной ёмкостью.

При нагреве воды происходит повышение давления. Для поддержания заданного давления в котле часть воды из котла через перепускное устройство поступает в УПД и давление в контуре котла снижается. При снижении температуры воды, давление падает и тогда через расширительную линию установка Variomat Giga возвращает воду в контур котла.

Деаэрация воды контура котла в установке происходит следующим образом: газонасыщенный поток воды контура проходит через основной резервуар и за счёт разницы между атмосферным давлением в воздушной камере основного резервуара и давлением воды котла происходит выделение в виде пузырьков свободных газов и удаление их через автоматический воздушник.

Процесс поддержания заданного давления, деаэрации и подпитки осуществляются в автоматическом режиме блоком управления установки Variomat Giga.

Качество теплоносителя первичного контура оказывает значительное влияние на обеспечение безопасной и эффективной эксплуатации котла в

течение всего длительного срока службы, так как её химический состав (в особенности электропроводность) существенно влияет на производительность котла [2].

Для того чтобы провести необходимый ток, обеспечивающий нагрев до определённой температуры, нагреваемая вода первичного контура должна иметь определенное количество ионов, а именно, вода должна характеризоваться определённой величиной солесодержания, косвенным показателем которой является электропроводность. При этом ионы должны быть такими, которые не вызывают образование коррозии и накипи.

Обессоленная вода, для примера имеет низкое солесодержание и, соответственно, характеризуются низкой электропроводностью (менее 0,2 мкСм/см), и электрический ток она проводит очень плохо.

Содержащиеся в сырой воде ионы кальция (*Ca*) и магния (*Mg*) при повышенном давлении и температуре образуют на поверхностях электродов в котле твёрдые, трудноудаляемые отложения – накипь, которая плохо проводит электрический ток, что вызывает снижение производительности электродвигателя, поэтому электродвигатель должен заполняться водой, не содержащей ионов жесткости.

Присутствие в воде кислорода и угольной кислоты нежелательно, так как приводит к протеканию процесса коррозии. Для удаления растворённого кислорода и угольной кислоты воду необходимо подвергать термической деаэрации.

На Минской ТЭЦ-4 с целью создания определённой величины электропроводности питательной воды котлов, а также для повышения значения рН питательной воды в первичный контур электродвигателя осуществляется дозирование водного раствора тринатрийфосфата ( $Na_3PO_4$ ) до достижения определённого уровня электропроводности. Как правило, рН в пределах 8,3–9,5 является надёжно коррозионно-безопасным по угольной кислоте, так как угольная кислота в этом случае находится в связанном состоянии.

Дозирование может происходить как в ручном, так и автоматическом режиме. Для возможности автоматического дозирования раствора тринатрийфосфата в трубопровод замкнутого контура за теплообменником установлен кондуктометр серии Valmet 3100 с датчиком. Для периодического контроля качества воды первого контура предусмотрена пробоотборная точка с холодильником.

### **Заключение**

В заключение отметим, что водогрейные электродные котлы имеют высокую эффективность, что способствует экономии электроэнергии и воды; электродвигатели могут регулировать выходную мощность. Однако, как отмечено выше, для успешной эксплуатации необходимо учитывать местные условия и требования, а также следовать рекомендациям производителей.

### **Литература**

1. Минская ТЭЦ-4. Установка водогрейных электродвигателей с целью отпуска тепла в период глубокой разгрузки турбин после ввода Белорусской

АЭС. Архитектурный проект. 326-ПЗ-АП6. Книга 11. Эффективность инвестиций // ГПО «Белэнерго», РУП «Белнипиэнергопром». – Минск, 2016.

2. Инструкция по ведению воднохимического режима и эксплуатации установки дозирования тринатрийфосфата электродов типа ZVP 2840 СТ.№ 1, № 2, № 3, № 4 Минской ТЭЦ-4 // ОАО «Белэнергоремналадка». – Минск, 2020.

УДК 504.75

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ПРОДУВКИ ПАРОГЕНЕРАТОРА,  
ДОЖИГАНИЯ ВОДОРОДА И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ  
TECHNOLOGICAL SYSTEMS OF STEAM GENERATOR PURGING,  
HYDROGEN AFTERBURNING AND ENVIRONMENTAL PROTECTION**

Д.А. Исенгалиев, Е.С. Арашкевич

Научный руководитель – И.А. Евсеенко, ассистент

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

D. Isengaliev, E. Arashkevich

Supervisor – I. Evseenko, assistant

Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** описаны система продувки парогенератора, предназначенная для поддержания оптимальных условий внутри парогенератора, система дожигания водорода для предотвращения накопления взрывоопасных концентраций водорода, и системы охраны окружающей среды, контролирующие выбросы и управляющие отходами.

**Abstract:** a steam generator purge system designed to maintain optimal conditions inside the steam generator, a water afterburning system to prevent the accumulation of explosive hydrogen concentrations, and environmental protection systems controlling emissions and waste management are described.

**Ключевые слова:** выбросы, безопасность, системы очистки выбросов, система дожигания водорода.

**Keywords:** emissions, safety, emission purification systems, water afterburning system.

**Введение**

В данной работе мы рассмотрим ключевые аспекты технологических систем, включая систему продувки парогенератора, дожигание водорода и системы охраны окружающей среды на АЭС. Эти системы являются неотъемлемой частью инфраструктуры АЭС и играют важную роль в обеспечении безопасности, устойчивости и соблюдении экологических стандартов в области атомной энергетики.

**Основная часть**

Система продувки парогенератора. Принцип работы системы продувки включает в себя использование вентиляторов, компрессоров или вентиляционных систем, которые поставляют воздух внутрь парогенератора. Воздух обогащается кислородом, необходимым для нормального горения и эффективного теплообмена, и сжигается вместе с теплоносителем, обычно водой, для образования пара.

Система продувки подвергается постоянному мониторингу и управлению. Датчики следят за параметрами внутри парогенератора, такими как температура и давление, и автоматически регулируют скорость продувки воздуха, чтобы обеспечить стабильные условия. Кроме того, система продувки играет важную роль в безопасности АЭС, так как может использоваться для охлаждения парогенератора и снижения давления в случае аварийных ситуаций.

Технические характеристики системы продувки могут различаться в зависимости от конкретных требований АЭС, но они обязательно включают в себя оборудование, обеспечивающее подачу и контроль воздуха. Эффективность и надежность этой системы являются важными аспектами работы АЭС, обеспечивая стабильное производство электроэнергии и безопасность всего процесса.

Система дожигания водорода. Система дожигания водорода на АЭС предназначена для безопасного устранения водорода, который образуется при работе реактора. Эффективность сгорания водорода в таких системах может достигать 99%. Расход водорода может колебаться, но на больших АЭС он может достигать порядка 1000 кубических метров в час.

Принцип работы системы дожигания водорода заключается в следующем: система включает в себя специальные горелки и оборудование, которые непрерывно мониторят содержание водорода в реакторном помещении с помощью датчиков. Если уровень водорода достигает опасных значений, система автоматически включается. Она подает точное количество кислорода и запускает горелки для сжигания водорода в безопасном режиме. Этот процесс позволяет нейтрализовать водород без взрывов или пожаров. Сжигание водорода превращает его в безопасные продукты, обычно водяной пар.

Технические характеристики системы дожигания водорода могут варьироваться в зависимости от конкретных параметров АЭС, таких как тип реактора, его размер и конфигурация. Важно, чтобы система обладала высокой точностью и скоростью реакции, чтобы нейтрализация водорода происходила немедленно и безопасно.

Для обеспечения безопасности система дожигания водорода часто имеет дублированные компоненты и системы контроля для надежной работы. Она также может быть интегрирована с другими системами безопасности, такими как системы обнаружения утечек газа и аварийного отключения.

Системы охраны окружающей среды. Системы мониторинга постоянно контролируют выбросы из АЭС в атмосферу и водные системы. Измеряются концентрации радиоактивных и химических веществ, а также температура выбросов.

Для снижения выбросов в атмосферу применяются системы очистки, такие как фильтры и абсорбенты. Вредные вещества адсорбируются, поглощаются или улавливаются различными методами, зависящими от типа загрязнителя и конкретной системы очистки. Эти системы улавливают и уменьшают количество вредных веществ в выбросах. Очищенные газы или воздух затем выбрасываются в атмосферу, соответствуя нормативам.

Отходы, образующиеся при работе АЭС, включая радиоактивные отходы, должны быть управляемыми и обработанными согласно международным стандартам. Отходы собираются и классифицируются в соответствии с уровнем радиоактивности и химической природой. Классификация помогает определить оптимальные методы и средства для их обработки и хранения. Системы управления отходами включают в себя контейнеры, хранилища и процедуры обезвреживания.



Радиоактивные отходы обычно хранятся в специальных контейнерах или хранилищах, которые спроектированы для защиты от утечек и воздействия внешних факторов. Хранение радиоактивных отходов на АЭС может продолжаться десятилетиями, пока отходы не станут безопасными для окончательной утилизации. Отходы разделяются на три категории: временное хранение, промежуточное хранение и окончательное хранение. Окончательная утилизация может включать в себя размещение отходов в глубоких геологических хранилищах, что может стоить многие миллиарды долларов.

Обработка радиоактивных отходов может включать в себя различные методы, такие как обезвреживание, вторичное использование, переработку и физическую обработку. Целью является снижение объема и радиоактивности отходов.

Управление отходами на АЭС подчиняется международным и национальным стандартам и регуляциям, что включает в себя требования по безопасности, радиационной защите и экологической устойчивости.

### **Заключение**

Технологические системы продувки парогенератора, дожигания водорода и системы охраны окружающей среды являются неотъемлемой частью безопасной и экологически устойчивой работы атомных электростанций. Они обеспечивают эффективность процессов, предотвращают опасности и минимизируют воздействие на окружающую природу, обеспечивая безопасное и устойчивое производство электроэнергии.

### **Литература**

1. Атомные электрические станции – 2-е изд., перераб. и доп. / Т.Х. Маргулова. – М.: Высшая школа, 1984. – 284 с.
2. Охрана окружающей среды при эксплуатации АЭС / В.В. Бадяев; под ред. В.В. Бадяев, Ю.А. Егоров. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 204 с.
3. Система сжигания водорода [Электронный ресурс] / Система сжигания водорода. – Режим доступа: [https://ozlib.com/862739/tehnika/sistema\\_szhiganiya\\_vodoroda/](https://ozlib.com/862739/tehnika/sistema_szhiganiya_vodoroda/). – Дата доступа: 07.10.2023.
4. Каталитические рекомбинаторы водорода для систем аварийной безопасности АЭС [Электронный ресурс] / Каталитические рекомбинаторы водорода для систем аварийной безопасности АЭС. – Режим доступа: <https://www.recatalys.ru/razrabotka-i-isledovanie/kataliticheskie-rekombinatory-vodoroda-dlya-sistem-avarijnoj-bezopasnosti-aes/>. – Дата доступа: 07.10.2023.

УДК 621.1(075.32)

**ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА СЕТЕВЫХ НАСОСОВ  
REPAIR TECHNOLOGY FOR NETWORK PUMPS**

А.В. Дедюля, И.В. Шпомер

Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Dedyulya, I. Shpomer

Supervisor – S. Kachan, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** рассмотрены особенности технологии ремонта одноступенчатых центробежных сетевых насосов с горизонтальным двойным всасыванием. Перечислены правила разборки, дефектации, монтажа и опробования. Приведены правила техники безопасности при производстве ремонтных работ.

**Abstract:** the features of the technology for repairing single-stage centrifugal network pumps with horizontal double suction are considered. The rules for disassembly, defect detection, installation and testing are listed. Safety rules for repair work are given.

**Ключевые слова:** сетевые насосы, технология ремонта, правила техники безопасности.

**Keywords:** network pumps, repair technology, safety regulations.

**Введение**

На районной котельной «Кедышко», филиал РУП «Минскэнерго», установлены одноступенчатые центробежные сетевые насосы с горизонтальным двойным всасыванием типа ТР0W (рисунок 1) [1]. Рассмотрим особенности технологии ремонта таких сетевых насосов.

**Основная часть**

За 1–2 дня до ремонта подается заявка на ремонт определенного сетевого насоса, далее составляется наряд-допуск.

Процесс ремонта регламентируется следующей нормативно-технической и технологической документацией [2]:

- СТП и руководства по ремонту и обслуживанию насосного оборудования;
- ремонтные чертежи;
- нормы расхода запасных частей и материалов для ремонта.

Кроме того, ГОСТ устанавливает типовые требования к сдаче в ремонт и приемке после ремонта, к ремонтнопригодности. ГОСТы ЕСТД устанавливают формы документации для типовой ремонтной технологии.

Насос ремонтируют 3–5 человек.

Перед разборкой сложных узлов насоса детали помечают электрографом, краской или другими способами.

Важное значение для повышения качества ремонта и надежности насоса имеет получение информации об условиях и сроках эксплуатации и проведенных ремонтах поступающего в капитальный ремонт оборудования.

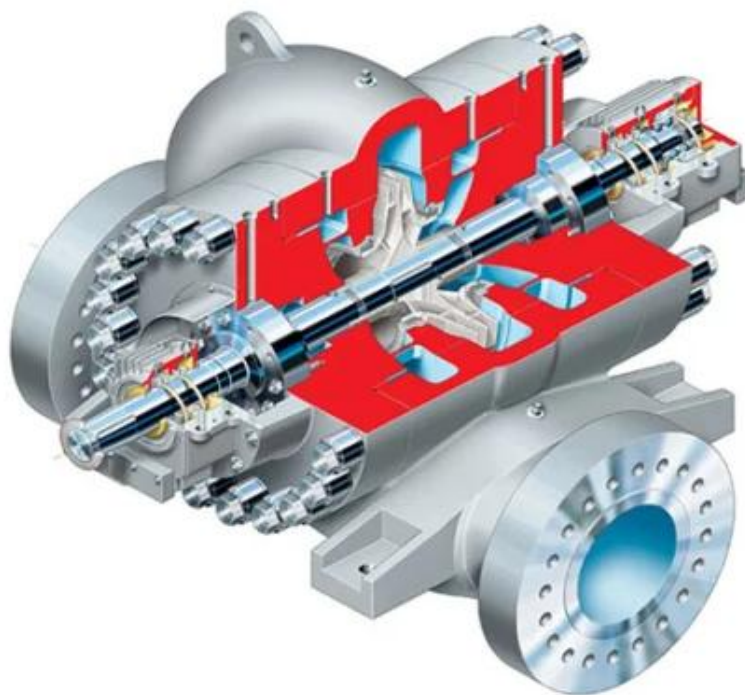


Рисунок 1 – Одноступенчатый центробежный сетевой насос с горизонтальным двойным всасыванием типа ТРОВО [1]

Главным требованием технологии разборки является отсутствие повреждения деталей при развинчивании резьбовых соединений, распрессовке подшипников, съеме рабочих колес с валов и т.д.

Ремонт начинается с разъединения насосной части и электродвигателя. Затем происходит разборка на узлы – ротор, подшипники и другие, которые затем разбираются на детали.

Непосредственно после разборки детали поступают на очистку и мойку. Сильно корродированные детали подвергаются химической очистке. Для мойки применяют керосин или состав: тринатрийфосфата 16 г на литр воды, углекислый натрий – 15 г, вспомогательное вещество ОП7 – 3 г.

Наиболее ответственные детали – подшипники качения, подпятники промывают в подогретом турбинном масле.

Важным этапом капитального ремонта является дефектация деталей и разбраковка их на годные, подлежащие ремонту и окончательно негодные. При этом их обычно помечают краской, например, соответственно: зеленой, желтой, и красной.

При разбраковке деталей, кроме непосредственного износа рабочих поверхностей могут встретиться механические повреждения деталей в виде трещин, изломов, деформаций различного вида, а также химико-физические повреждения, такие как коррозия и кавитационные разрушения.

Для проведения качественной разбраковки деталей в руководствах по ремонту насоса должна иметься карта дефектации, в которой указываются методы контроля, допустимые величины дефектов и методы их устранения.

Кроме карт дефектации на все основные детали, в руководстве по ремонту должна быть таблица исходных (чертежных) и допустимых зазоров для основных соединений деталей насосов. После дефектации годные детали смазываются и

поступают на хранение, а подлежащие восстановлению - на соответствующие ремонтные участки.

При ремонте изношенных деталей могут производиться три категории работ:

- восстановление чертежных размеров на шейках валов, уплотняющих поясах рабочих колес и прочее;
- обработка изношенных поверхностей на ремонтные размеры (защитные втулки валов, уплотняющие пояски рабочих колес); это позволяет продлить срок службы деталей, но требует изготовления запасных частей нескольких ремонтных размеров или изготовления их с припуском на пригонку при сборе;
- доработка деталей путем изготовления новых шпоночных пазов на валах, крепежных отверстий в корпусах и т.п.

Восстановление чертежных размеров шеек валов и наружных поверхностей втулок в зависимости от величины износа производится путем железнения, напыления или наплавки с последующей обработкой по чертежу. Заделка коррозионных раковин в корпусных деталях глубиной менее 1/3 толщины стенки производится наплавкой или посредством эпоксидных смол.

В случае невозможности или нецелесообразности восстановления чертежного размера детали обрабатываются на ремонтные размеры. Собственно механическая обработка деталей при ремонте выполняется с помощью обычных слесарных операций.

Железнение, напыление и наплавку изношенных шеек валов и втулок необходимо производить по соответствующим технологическим инструкциям. При напылении используют токарный станок. Наплавку шеек осуществляют путем продольных ходов электрода, после чего обтачивают и шлифуют шейку на заданный размер.

Весьма ответственной работой является заварка трещин и промоин в корпусных деталях насоса и рабочего колеса. Для этих операций также должны быть разработаны технологические инструкции. Механическая обработка корпуса насоса, например, расточка посадочных мест для уплотняющих колец или обработка поверхностей стыков, обычно выполняется на токарных станках. При этом большое внимание должно быть обращено на выверку установки детали на станке.

При разборке насосной части направляющие аппараты заменяют частично по мере износа.

По окончании ремонта составляется акт приемки насоса из ремонта. В нем указываются замененные и отремонтированные детали, полученные зазоры, разбег ротора.

Монтаж насоса осуществляется по заводской технологии или в соответствии с указаниями в инструкции по эксплуатации насосного оборудования, или «Руководствам по капитальному ремонту».

Опробывание производится после монтажа в соответствии с ГОСТ 6134-2007 «Насосы динамические. Методы испытаний».

Техника безопасности при производстве ремонтных работ заключается в следующем.

Для устранения влияния на здоровье людей вредных условий производства работ, необходимо применять многочисленные защитные средства: спецодежда, спецобувь, инвентарная защитная одежда (каска, резиновые сапоги и перчатки, рукавицы, брезентовые и асбестовые комбинезоны).

Для защиты людей от повреждения током при проведении ремонтных работ применяют предупреждающие плакаты, инструменты с изолирующими ручками, изолирующие подставки, резиновые коврики.

Каждый работающий обязан четко и строго выполнять установленные правила пожарной безопасности, не допускать действий, которые могут вызвать пожар или загорание. Все ремонтники должны пройти занятия по пожарно-техническому минимуму по специально утвержденной руководителем предприятия программе.

Места производства газосварочных и других огневых работ должны быть обеспечены средствами пожаротушения (огнетушитель, ящик с песком). При наличии вблизи проведения этих работ стораемых конструкций последние должны быть надежно защищены от возгорания металлическими экранами, а также должны быть приняты меры против разлета искр. Ремонтные площадки должны содержаться в чистоте. Средства пожаротушения должны храниться на видных местах и содержаться в полной готовности. Персонал должен знать местонахождение средств пожаротушения и уметь приводить их в действие.

### **Заключение**

Ремонт насосного оборудования должен носить профилактический, предупредительный характер и может выполняться на месте эксплуатации или в цехе ремонтного предприятия. Самым прогрессивным методом капитального ремонта является централизованный ремонт, с применением демонтажа насосов и заменой их заранее отремонтированными [2].

### **Литература**

1. Горизонтальные двойные Тrow Split всасывания насосы [Электронный ресурс] / Made-in-China. Промышленное оборудование и компоненты. Насосы и вакуумное оборудование. – Режим доступа: [https://ru.made-in-china.com/co\\_shtypump/product\\_Trow-Horizontal-Double-Suction-Split-Case-Pump\\_hseiorghn.html](https://ru.made-in-china.com/co_shtypump/product_Trow-Horizontal-Double-Suction-Split-Case-Pump_hseiorghn.html) /. – Дата доступа: 22.09.2023.

2. Ремонт теплотехнического оборудования и тепловых сетей: учебник для образоват. учреждений среднего проф. образования / В.М. Боровков, А.А. Калютник, В.В. Сергеев. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 208 с.



УДК 621.9.015

**ТИПЫ И ВИДЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ТЭС  
И МЕТОДЫ БОРЬБЫ С НИМИ  
TYPES AND TYPES OF POLLUTION OF TPP EQUIPMENT  
AND METHODS OF COMBATING THEM**

С.Д. Крутиков, Т.Ю. Пожарицкий  
Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
S. Krutsikau, T. Pozharitsky  
Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

***Аннотация:** в статье рассмотрены типы и виды загрязнения оборудования ТЭС и возможные методы борьбы с ними.*

***Abstract:** the article discusses the types and types of pollution of TPP equipment and possible methods of combating them.*

***Ключевые слова:** загрязнения, оборудование ТЭС, химическая очистка, механическая очистка, пневматическая очистка, ультразвуковая очистка.*

***Keywords:** pollution, TPP equipment, chemical cleaning, mechanical cleaning, pneumatic cleaning, ultrasonic cleaning.*

### **Введение**

В современном мире энергетическая отрасль играет важнейшую роль в обеспечении потребностей общества в электроэнергии. Тепловые электростанции (ТЭС) являются одним из основных источников производства электроэнергии, и их эффективная и надежная работа имеет огромное значение для энергетической безопасности страны. Однако, с течением времени оборудование ТЭС подвергается износу и загрязнению, что снижает его производительность и увеличивает риск аварийных ситуаций. Современные методы очистки оборудования ТЭС являются актуальной темой исследования, поскольку они направлены на повышение эффективности работы и продолжительности службы оборудования, а также на снижение воздействия на окружающую среду. Использование новых технологий и инновационных подходов позволяет эффективно удалять загрязнения, такие как накипь, продукты коррозии, масляные отложения и другие, что приводит к улучшению теплоотдачи и снижению энергопотребления. В статье будут рассмотрены различные технологии, такие как механическая очистка, химическая очистка, ультразвуковая очистка и другие методы очистки оборудования, а также их применение в различных типах оборудования ТЭС. Так же будут рассмотрены примеры успешной реализации данных методов и их влияние на работу и надежность оборудования.

### **Основная часть**

Степень загрязнения оборудования ТЭС может варьироваться от легкой до тяжелой, в зависимости от условий эксплуатации и качества обслуживания. Регулярное техническое обслуживание, очистка и мониторинг состояния



оборудования помогают снизить степень загрязнения оборудования и улучшить его работоспособность. Наиболее часто встречающимися видами загрязнений являются:

- Механические загрязнения представлены на рисунке 1 [1]. Оборудование может быть подвержено механическому загрязнению в виде пыли, грязи, песка и других твердых частиц. Это может привести к засорению фильтров, засорению трубопроводов и снижению эффективности работы оборудования.



Рисунок 1 – Засорение трубопровода механическими частицами [1]

- Химические загрязнения. ТЭС используют различные химические вещества, такие как масла, топливо и растворители. Эти вещества могут вызывать коррозию оборудования и приводить к его износу. Коррозия поверхностей нагрева котла представлена на рисунке 2 [1]. Кроме того, выбросы и отходы от процессов сгорания могут загрязнять оборудование и окружающую среду.



Рисунок 2 – Коррозия и разрушение поверхностей нагрева парового котла [1]

Существует несколько современных методов очистки оборудования тепловых электростанций. Далее более подробно рассмотрим каждый из них.

Химическая очистка оборудования тепловых электростанций (ТЭС) является важным процессом для поддержания эффективной и безопасной работы станции. Она позволяет удалить коррозионные отложения и другие загрязнения, которые могут негативно влиять на работу оборудования и эффективность станции. К химической очистке относятся:

- Щелочная очистка является одним из наиболее распространенных методов удаления загрязнений. В этом методе используются растворы щелочных веществ, таких как гидроксиды натрия или калия. Щелочные растворы эффективно растворяют и удаляют ржавчину, отложения кальция, накипь и другие органические вещества. Процесс основан на химических реакциях, в результате чего загрязнения превращаются в растворимые соединения, которые затем могут быть смыты водой.
- Кислотная очистка применяется для удаления ржавчины, масляных отложений и некоторых металлических соединений. В этом методе используются кислотные растворы, такие как соляная кислота или солянокислая кислота. Кислотные растворы эффективно растворяют металлические отложения, но они также могут иметь агрессивное воздействие на некоторые материалы и поверхности, поэтому их применение должно осуществляться при полном соблюдении техники безопасности.
- Использование ингибиторов коррозии, один из наиболее эффективных вариантов борьбы с коррозией металла. Внешний вид оборудования до применения ингибиторов и после их применения представлена на рисунке 3 [2]. Но на данный метод нуждается в точном расчёте для каждого типа металл, так как в зависимости от состава ингибитор по-разному воздействует на металлы.



Рисунок 3 – Наглядное действие ингибиторов коррозии [2]

Механическая очистка оборудования тепловых электростанций может варьироваться в зависимости от типа оборудования и степени загрязнения:

- Механическое отмывание. Этот метод включает использование струй высокого давления для удаления накипи, отложений и других загрязнений с поверхностей оборудования. Оно может быть эффективным для очистки труб, теплообменников и других критически важных компонентов.
- Пескоструйная обработка. Этот метод включает использование струй песка или других абразивных материалов для удаления ржавчины, краски или других покрытий с поверхностей оборудования. Пескоструйная обработка может быть полезной для очистки металлических поверхностей, таких как котлы и трубы.
- Щеточная и скребковая очистка. Эти методы включают использование щеток или скребков для удаления отложений с поверхностей оборудования. Они могут быть эффективными для очистки труб, решеток и других компонентов оборудования, где накипь или другие отложения могут быть труднодоступными.
- Гидродинамическая очистка. Этот метод включает использование водяных струй или других жидкостей под высоким давлением для удаления загрязнений с поверхностей оборудования. Он может быть полезным для очистки труб и других компонентов оборудования, где струйное действие может быть эффективным.
- Пневматическая очистка. Этот метод включает использование сжатого воздуха или других газов для удаления пыли, песка или других сухих загрязнений с поверхностей оборудования. Он может быть полезным для очистки фильтров, воздухопроводов и других частей оборудования, где сухие загрязнения представляют проблему.

К современным методам очистки можно отнести ультразвуковой и гидрокавитационный метод очистки поверхностей.

- Ультразвуковой метод основан на использовании высокочастотных звуковых волн, которые генерируются специальным ультразвуковым генератором, представленным на рисунке 4 [3]. В силу различных физико-механических свойств металла трубок и отложений ультразвуковые колебания приводят к появлению усталостных трещин в отложениях и последующему их отделению от металла, действие представлено на рисунке 5 [3].





Рисунок 4 – Генератор высокочастотных волн [3]

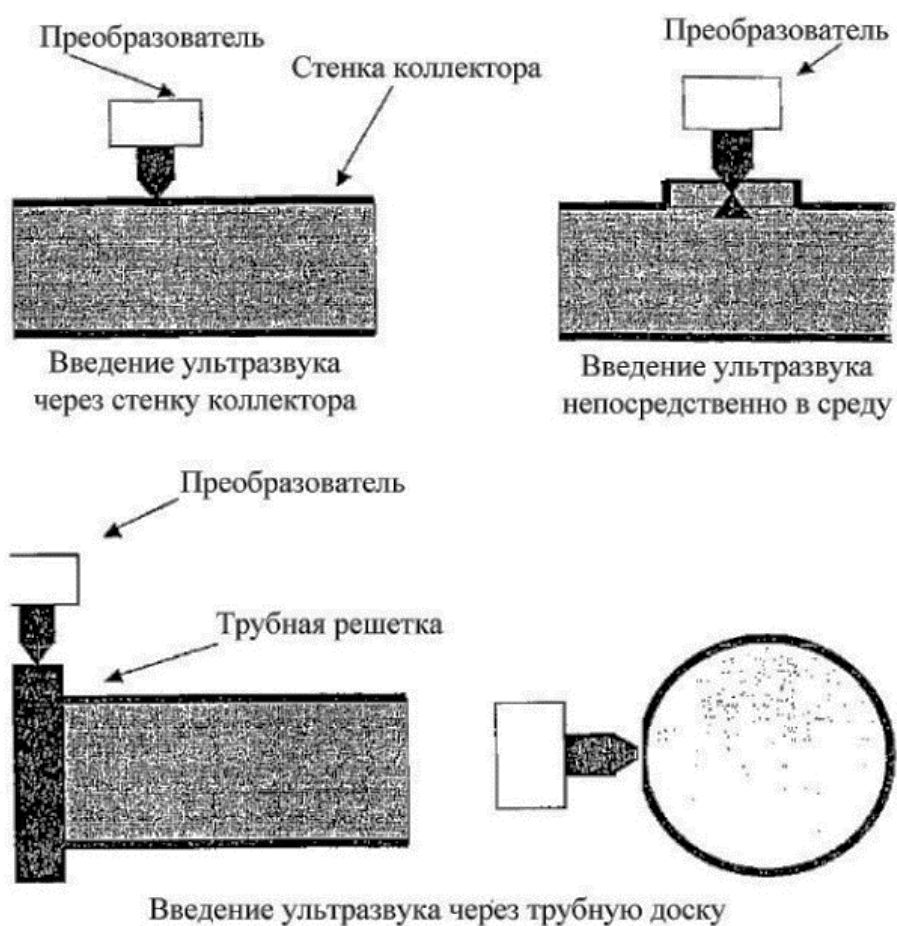


Рисунок 5 – Варианты использования ультразвука [3]

- Гидрокавитационная очистка основана на использовании кавитационных явлений, которые возникают вследствие колебаний воды с высокой частотой. В этом методе вода, содержащая агрессивные химические вещества или микро газы, вводится в оборудование, где

генерируются ультразвуковые волны. В результате возникают микроблоки, которые "взрываются" и создают сильные ударные волны, способные удалить отложения и загрязнения с поверхностей. Действие гидрокавитации представлено на рисунке 6 [1].

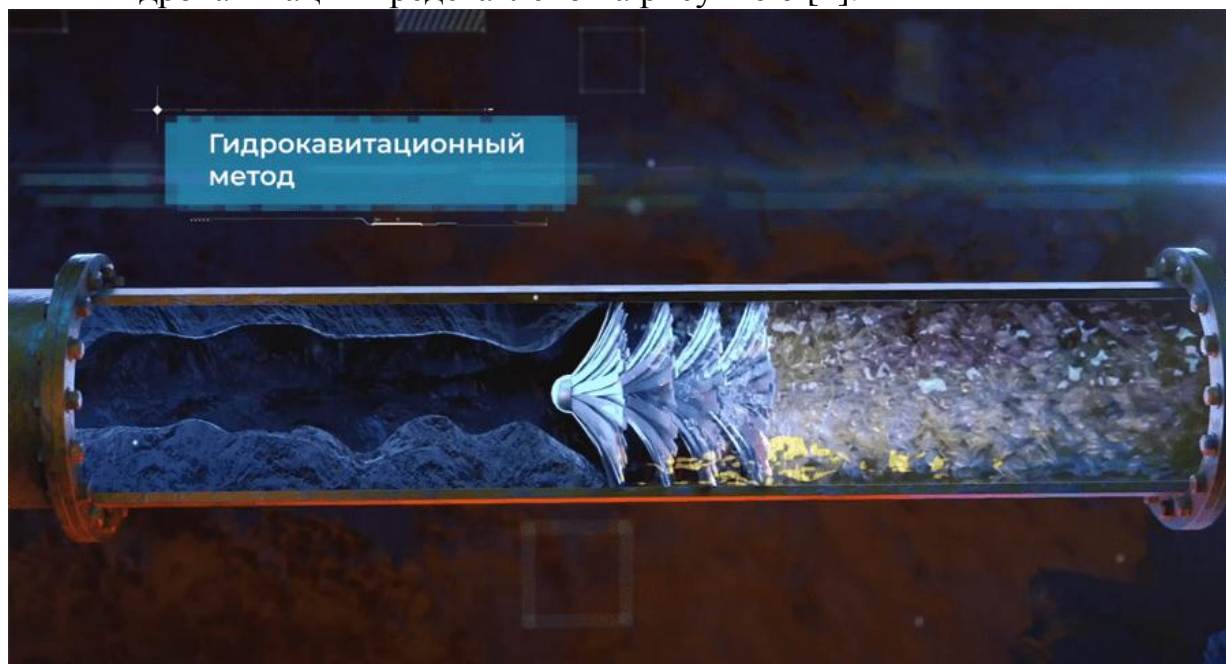


Рисунок 6 – Гидрокавитационная очистка [1]

### Заключение

Все методы очистки оборудования ТЭС играют важную роль в поддержании эффективности и безопасности работы станций. Каждый из методов имеет свою область применения, и выбор конкретного метода зависит от типа загрязнений, характеристик оборудования и требований к окружающей среде. Эффективное применение методов очистки помогает продлить срок службы оборудования, улучшить его энергетическую эффективность и снизить риск возникновения аварийных ситуаций. Невозможно только одни из методов очистки, на станции всегда прибегают к комплексному подходу к очистке и используют комбинированные методы очистки, достигая максимальной эффективности.

### Литература

1. Очистка трубопроводов [Электронный ресурс] / Очистка трубопроводов. – Режим доступа: <https://www.pf-stis.com/ochistka> /. – Дата доступа: 11.10.2023.
2. Методы очистки накипи [Электронный ресурс] / Методы очистки накипи. – Режим доступа: <https://www.zevs-irp.ru/ru/methods> /. – Дата доступа: 11.10.2023.
3. Очистка котельного оборудования [Электронный ресурс] / Очистка котельного оборудования. – Режим доступа: [https://biokhim.com/chistka\\_kotlov](https://biokhim.com/chistka_kotlov) /. – Дата доступа: 11.10.2023.

УДК 621.311

ЦИКЛ ZECOMIX КАК АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ПРИНЦИП РАБОТЫ  
УГОЛЬНОЙ ТЭС  
THE ZECOMIX CYCLE AS AN ALTERNATIVE OPERATING PRINCIPLE  
OF A COAL-FIRED THERMAL POWER PLANT

А.И. Сироткин

Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Sirotkin

Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** в данной статье проводится краткий анализ принципа работы угольной тепловой электрической станции, работающей по циклу «Zecomix». Данный цикл позволяет за счёт различных химических реакций и процессов избежать вредных выбросов в окружающую среду и практически полностью уловить углерод – один из основных источников загрязнения. Данная станция является экспериментальной: она создана таким образом, чтобы можно было варьировать основные рабочие параметры с целью определения их влияния на КПД установки и оптимизацию технологического процесса.

**Abstract:** this article provides a brief analysis of the principle of operation of a coal-fired thermal power plant operating on the "Zecomix" cycle. This cycle makes it possible, through various chemical reactions and processes, to avoid harmful emissions into the environment and almost completely capture carbon – one of the main sources of pollution. This station is experimental: it is designed in such a way that it is possible to vary the main operating parameters in order to determine the influence their efficiency of the installation and optimization of the technological process.

**Ключевые слова:** тепловая электростанция, углерод, выбросы, синтез-газ, химические реакции, высокотемпературная паровая турбина.

**Key words:** thermal power plant, carbon, emissions, synthesis gas, chemical reactions, high temperature steam turbine.

## Введение

Несмотря на большое количество международных соглашений и законов, касающихся климата, экологической обстановки и загрязнения окружающей среды, по состоянию на 2022 год доля угольных электростанций составляет около 24%. На сегодняшний день в мире работают 2,5 тысячи угольных ТЭС общей мощностью 2100 ГВт [1]. Казалось бы, что наличие огромных запасов природного газа, строительство новых АЭС и активное распространение «зелёной» энергетики навсегда должны были решить вопрос с использованием угля для получения энергии, однако на деле всё оказалось иначе. За последние несколько лет, несмотря на пандемию, генерация энергии за счёт сгорания угля увеличилась на 9% и, судя по всему, закрывать станции на данном типе топлива никто не собирается. Более того, по данным Global Energy Monitor в ближайшие годы планируется строительство ещё 485 электростанций общей мощностью



456 ГВт [1]. Эксперты связывают это с подорожанием природного газа и, как следствие, снижением цены на уголь. В этой связи учёные и инженеры пытаются найти технологии, которые позволят сжигать уголь и не загрязнять при этом окружающую среду. Ведь в целом ТЭС на твёрдом топливе являются одними из самых «грязных» электростанций даже несмотря на то, что сейчас на таких объектах устанавливаются различного рода фильтры, улавливатели и т. д. Одно из решений этой проблемы предложили учёные Итальянского технического университета («Politecnico di Milano») при содействии Итальянского национального агентства по новым технологиям, энергетике и устойчивому экономическому развитию (ENEA) [3]. Они придумали цикл «Zesomix», позволяющий переработать и использовать в полезных целях практически весь углерод, из которого по большей части и состоит уголь, и при этом получать помимо электроэнергии жидкий углекислый газ для дальнейшего использования в промышленных целях.

### **Основная часть**

«Zesomix» – это аббревиатура проекта «Zero Emission Coal Mixed», возглавляемого, как уже было сказано выше, Итальянским техническим университетом и агентством ENEA при содействии промышленного партнёра Ansaldo [3]. Эта технология обещает очень высокую эффективность преобразования энергии при практически полном отсутствии выбросов в атмосферу. Для демонстрации её осуществимости, а также для практических исследований и определения основных рабочих параметров и необходимого оборудования для реальной станции, была построена экспериментальная установка в исследовательском центре в пригороде Рима – Кассаче. Схема данной установки показана на рисунке 1 [2].

В тепловой электрической станции, работающей по циклу «Zesomix», можно выделить 3 основные части: кислородную, химическую и соответственно энергетическую или основную части. В кислородной части получается чистый кислород, который затем в химической части, в результате различных реакций и взаимодействий с реагентами и углём, позволяет получить синтез-газ, который уже непосредственно используется в качестве топлива для получения энергии [2]. Давайте более подробно рассмотрим каждую часть.

Воздух, предварительно проходя очистительные устройства, попадает в компрессор (К), где сжимается и попадает затем в станцию сепарации кислорода. В ней ненужные и опасные для работы станции вещества (главным образом азот) удаляются, и на выходе получается чистый кислород, который дополнительно сжимается ещё одним компрессором. Далее основной его объём поступает в химическую часть для получения синтез-газа [2].

Основными составляющими химической части являются 4 агрегата-реактора, в которых за счёт различных химических реакций уголь и кислород с помощью реагентов преобразуются в жидкий углекислый газ, который отправля-

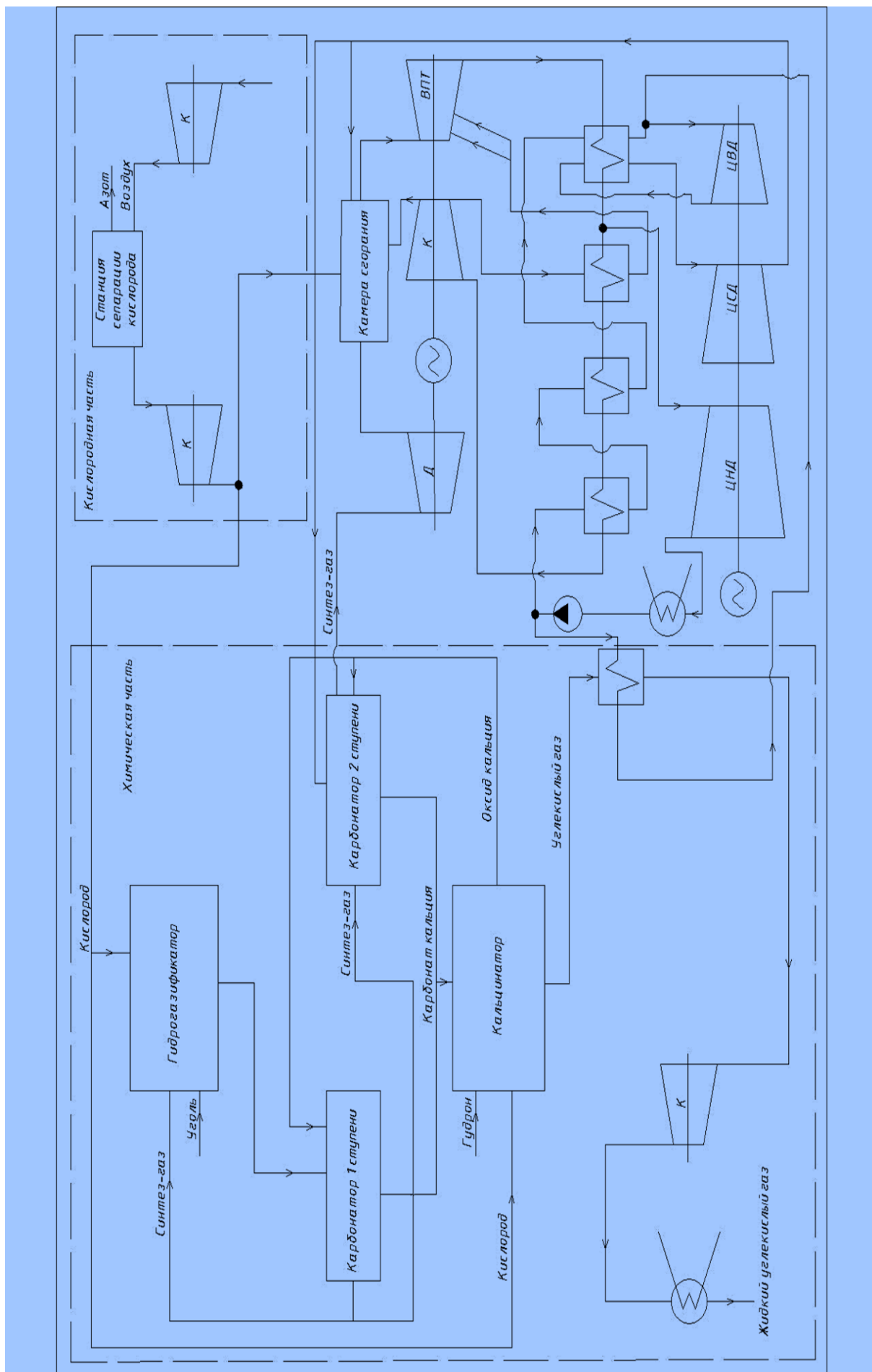


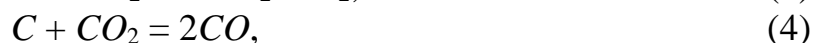
Рисунок 1 – Схема станции, работающей по циклу Zesomix [2]

отправляется на промышленные нужды, и синтез-газ, который используется непосредственно для получения энергии. Синтез-газ – это газообразное вещество, получающееся в химической части и состоящее в основном из водорода [2].

Его сжигание (т.е. соединение с кислородом) позволяет получить пар высоких параметров и использовать его для совершения работы в турбине, о чём будет рассказано ниже. Кислород, уголь и рециркулирующий поток, обогащённый водородом, попадают в гидрогазификатор – первый агрегат-реактор, который работает при давлении 30–70 бар и температуре 700–1000°C [2]. Здесь уголь газифицируется с получением, главным образом, метана в соответствии с экзотермической реакцией гидрогазификации (1):



В гидрогазификаторе протекают также и другие реакции (2) – (7), как экзотермические, так и эндотермические:



Поток, выходящий из гидрогазификатора, поступает в карбонатор 1 ступени, где он реагирует с твёрдым оксидом кальция. Данная химическая реакция позволяет уловить основной объём углекислого газа, в результате чего образуется карбонат кальция или известняк в соответствии с экзотермической реакцией (8):



Удаление углекислого газа из газовой фазы потока приводит к ускорению реакции превращения воды в газ (3) и, следовательно, реакции паро-метанового преобразования (6). В результате всех этих процессов образуется синтез-газ, обогащённый водородом. Следует подчеркнуть, что следующая обобщённая реакция (9), полученная из отдельных реакций (3), (6), (8), является хорошо сбалансированной с тепловой точки зрения:



Другими словами, реакция карбонизации не только способствует получению водорода, необходимого для синтез-газа, путём удаления  $CO_2$  из газовой фазы, но также обеспечивает выделение тепла, необходимого для реакции парового преобразования, что позволяет использовать теплоизолированный реактор и избежать потерь тепла. Часть синтез-газа после карбонатора 1 ступени рециркулирует обратно в гидрогазификатор, однако основной его объём уходит в карбонатор 2 ступени, где дополнительно из него удаляется ещё оставшийся углерод в газовой фазе и при добавлении пара из ЦСД турбины образуется готовое топливо на основе водорода и воды (пара).

Последним реактором в химической части является кальцинатор, где известняк по реакции, обратной реакции (8), превращается обратно в оксид кальция. В итоге образуется поток углекислого газа, проходящий через теплообменник, отдавая тепло в паровой цикл. В конечном итоге он сжимается в компрессоре, сжижается и подаётся по трубе на промышленные нужды (например, на нефтеместорождение для повышения отдачи пластов). Поскольку для работы кальцинатора необходима тепловая энергия, необходим её некоторый источник. В базовом варианте используется прокаливание под высоким давлением, а тепло для прокаливания обеспечивается кислородным обжигом остатков нефтеперерабатывающего завода – гудрона. Возможны и другие варианты работы кальцинатора, однако они являются менее эффективными и в данной работе не рассматриваются.

Высокотемпературный синтез-газ, полученный в химической части, охлаждается в детандере (Д), предварительно очищаясь от захваченных частиц. Температура охлаждения рассчитывается таким образом, чтобы получить предполагаемое значение  $550^{\circ}\text{C}$  [2] на входе в камеру сгорания. Там синтез-газ сжигается с кислородом и расширяется в высокотемпературной паровой турбине (ВПТ). Чтобы ограничить температуру на выходе из камеры сгорания до приемлемых значений, пар из турбины на выходе из теплового цикла регенерации используется в качестве замедлителя температуры. Однако для охлаждения лопаток ВПТ его недостаточно, поэтому производится рециркуляция части пара при давлении, близком к атмосферному, доступного после расширения в ВПТ и рекуперации тепла. Для решения этой задачи был установлен компрессор для сжатия пара. Избыточный пар, не нужный для цикла с ВПТ охлаждается до нужной температуры и расширяется в цилиндре низкого давления (ЦНД) стандартной паровой турбины. После этого данный пар конденсируется и проходя через регенеративные подогреватели с помощью насоса подаётся в цилиндр высокого давления (ЦВД) и, после ещё одного подогрева, в цилиндр среднего давления (ЦСД) паровой турбины. Неконденсирующиеся частицы  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{Ar}$ ,  $\text{O}_2$ , содержащиеся в потоке, удаляются из конденсатора вместе с небольшим количеством пара. Вместо того, чтобы выбрасывать всё это в атмосферу, эта смесь направляется в кальцинатор после надлежащего сжатия (неконденсируемое извлечение и сжатие – обычная практика на геотермальных электростанциях). Таким образом, избыток кислорода полностью рециркулируется в системе и используется в качестве окислителя в кальцинаторе, а улавливание  $\text{CO}_2$  завершается, даже если в синтез-газе присутствуют некоторые газированные соединения. Это повышает эффективность установки, и практически никакой углерод из системы не выходит.

### **Заключение**

На сегодняшний день данная, достаточно сложная в строительстве, установка работает в тестовом режиме. Поскольку турбин, способных выдержать требуемые нагрузки ещё не существует, здесь применены экспериментальные агрегаты мощностью по 100 кВт каждый. То есть суммарная мощность экспериментальной станции 200 кВт [3]. Помимо нерешённого вопроса с турбиной, существует также проблема с образующейся в гидрогазификаторе золой (остатками от угля), которая не может участвовать в цикле. Её необходимо куда-то

утилизировать, что на сегодняшний день является не решённой задачей. Кроме того, химическая часть требует дорогостоящего оборудования, и сама по себе является сложной с точки зрения строительства и технологических процессов в ней. Однако эксперименты и исследования продолжаются и, возможно, проблемы в реализации этой идеи будут решены.

### Литература

1. Global coal plant tracker [Электронный ресурс] / Global coal plant tracker. – Режим доступа: <https://globalenergymonitor.org/projects/global-coal-plant-tracker/>. – Дата доступа: 01.10.2023.
2. Matteo, R. Zecomix: a zero-emissions coal power plant, based on hydro-gasification, CO<sub>2</sub> capture by calcium looping and high temperature steam cycle / R. Matteo, G. Lozza // Energy Procedia. – 2009. – № 1. – С. 1473–1480.
3. Zecomix – Enea [Электронный ресурс] / Zecomix – Enea. – Режим доступа: [https://www.enea.it/en/laboratories-and-facilities/energy\\_technologies/zecomix/](https://www.enea.it/en/laboratories-and-facilities/energy_technologies/zecomix/). – Дата доступа: 01.10.2023.



УДК 624.014

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ГРАДИРЕН ГРОДНЕНСКОЙ ТЭЦ-2  
OPERATION OF COOLING TOWERS OF GRODNO CHPP-2**

А.П. Далевская, А.А. Пиртань, М.Д. Юрченко  
Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск  
A. Dalevskaya, A. Pirtan, M. Yurchanko  
Supervisor – S. Kachan, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** рассмотрены основные задачи эксплуатации градирен Гродненской ТЭЦ-2 в летнее и зимнее время. Описаны этапы подготовки градирен к зимней эксплуатации. Перечислены работы по включению градирен в работу и выводу их из эксплуатации, а также основные требования техники безопасности.

**Abstract:** the main tasks of operating the cooling towers of the Grodno CHPP-2 in summer and winter are considered. The stages of preparing cooling towers for winter operation are described. The work on putting cooling towers into operation and decommissioning them is listed, as well as basic safety requirements.

**Ключевые слова:** башенная градирня, эксплуатация в летнее и зимнее время, требования техники безопасности.

**Keywords:** cooling tower, operation in summer and winter, safety requirements.

**Введение**

На Гродненской ТЭЦ-2 для охлаждения циркуляционной воды установлены две башенные градирни плёночного типа площадью орошения 900 м<sup>2</sup> и производительностью 5500 – 8000 м<sup>3</sup>/ч при температурном перепаде 8–10°С.

В 2004 и 2015 годах произведены реконструкции градирен (рисунок 1) [1].

**Основная часть**

Основной задачей при эксплуатации градирен является обеспечение надёжной их работы и поддержание охладительного эффекта путём своевременного устранения неполадок, выявленных в процессе надзора за состоянием элементов градирен и контроля за их работой.

В задачу обслуживающего персонала входит также обеспечение оптимального режима работы градирен, исходя из условий достижения экономического вакуума в конденсаторах турбин.

Во время работы градирен необходимо осуществлять надзор за состоянием их элементов, в том числе водораспределительной системы. Обнаруженные дефекты в результате осмотра записываются в журнале дефектов и своевременно устраняются.

В летнее время осмотр водораспределительной системы производится два раза в месяц по графику профилактических мероприятий. Детальный осмотр градирен с отключением её участков и промывкой водораспределительной системы производится не реже двух раз в год согласно графика, утверждённого главным инженером Гродненской ТЭЦ-2. При осмотре градирен должно

проверяться состояние всех их элементов, причём особое внимание следует уделять состоянию несущих конструкций: каркасов башни и оросителя, опорных железобетонных столбиков, железобетонных колонн, стоек и балок.



а)

б)

Рисунок 1 – Градирня № 2 Гродненской ТЭЦ-2: после демонтажа обшивки, март 2014 года (а) и после реконструкции, май 2015 года (б)

Детальное обследование состояние металлических конструкций каркаса вытяжной башни градирни необходимо проводить через 10 лет после ввода её в эксплуатацию, а в дальнейшем – каждые 5 лет.

Прилегающая к градирне территория не должна использоваться под склады строительных материалов и оборудования, подъезды должны быть всегда свободными.

Поступление воздуха в градирню обеспечивается тягой, создаваемой башней, поэтому обшивка оросителя и башни должна быть плотной. Неплотности в обшивке могут заметно ухудшать охлаждение воды в градирне вследствие уменьшения общего количества поступающего в неё воздуха и прохождения части его помимо оросителя. Сопряжение листов обшивки должны тщательно уплотняться. Пришедшие в негодность листы необходимо своевременно заменять новыми.

Для подготовки градирни к зимней эксплуатации необходимо:

- проверить плотность задвижек на напорном водораспределительном устройстве;
- устранить течи в водораспределительном устройстве;
- проверить исправность жалюзийного устройства, исправность поворотных щитов и механизмов;
- уплотнить обшивку оросителя.

При кратковременном отключении градирни опорожнение бассейна нецелесообразно. В этом случае необходимо для предотвращения замерзания

воды в резервуаре создать в нём циркуляцию тёплой воды в необходимом количестве. Отключённая градирня должна находиться под надзором пожарной охраны.

Персонал, эксплуатирующий градирни, должен руководствоваться действующими «Правилами техники безопасности при эксплуатации тепломеханического оборудования электростанций» [2].

Внутренний осмотр водораспределительной системы или оросителя градирни должен производиться не менее чем двумя рабочими.

По периметру градирни должно быть вывешено не менее трех знаков, запрещающих пользование огнём (сварочные работы, курение и т.п.) вблизи градирни, а также использование водосборного бассейна для купания.

При обслуживании градирен во время работы необходимо обеспечить:

- максимальный уровень в градирне – 100 мм до перелива, минимальный – 600 мм до перелива;
- допустимый перекося по уровню в чашах градирен – 300 мм;
- задвижки на сливе воды из градирен должны быть все полностью открыты;
- задвижки на подаче воды к оросителю должны быть полностью открыты.

При появлении перекося по уровням в чашах градирен необходимо прикрывать задвижку на подаче воды к оросителю той чаши, в которой уровень выше. Регулировать перекося уровней задвижками на сливе из градирен запрещается;

- электрические схемы задвижек на подаче воды к оросителю и на сливе из градирен должны быть разобраны. Сбирать схемы нужно только на время производства переключений;
- опорожнение градирен должно быть закрытым. Разрешается пользоваться опорожением при продувке циркуляционной системы для снижения жёсткости воды при неисправности системы продувки на очистные сооружения;
- продувка циркуляционной системы должна быть постоянной. Расход на продувку регулируется в зависимости от жёсткости циркуляционной воды по требованию начальника смены химического цеха. Максимально допустимая ее жёсткость – 5 мг-экв/кг. При увеличении жёсткости выше 5 мг-экв/кг необходимо увеличить продувку циркуляционной системы. При увеличении продувки градирен необходимо увеличить их подпитку;
- на градирнях должны быть постоянно включены в работу периферийные сопла.

При работе градирни необходимо:

- один раз в смену проверять сигнализацию предельных уровней;
- периодически, не менее двух раз в смену, а также после переключений в схемах циркуляционной воды (включение и останов циркуляционных насосов, отключение половинок конденсаторов и пр.) проверять уровни и перекося по чашам градирен;
- следить за исправным состоянием поворотных щитов, оросителя, обшивы башни и несущих элементов градирни;

- не допускать перелива градирни через отстойки;
- следить и своевременно очищать решётки на сливе из градирен;
- немедленно убирать посторонние предметы из чаш;
- следить за чистотой отстойки вокруг градирен и сигнализацией уровня;
- следить за равномерным распределением поступающей воды на ороситель, при появлении отдельных струй воды осматривать состояние оросителя, распределительных коллекторов и разбрызгивающих сопел;
- следить за открытием щитов градирен;
- усилить наблюдение за уровнем в градирне при производстве переключений по циркуляционной воде и по технической воде, связанных с изменением расходов воды на подпитку градирни.

При работе градирен в зимнее время необходимо:

- поддерживать температуру воды на сливе из градирни  $+15...+18^{\circ}\text{C}$ , минимально допустимая температура  $+10...+12^{\circ}\text{C}$ ;
- при наступлении минусовых температур наружного воздуха своевременно закрывать щиты, начиная с нижних и угловых щитов;
- не допускать обмерзания оросителя, входных окон и металлоконструкций;
- своевременно сбивать лёд, появляющийся на металлоконструкциях и внешних кубах оросителя;
- температуру воды на сливе из градирен регулировать средними щитами, обеспечивая подачу холодного воздуха в количестве, не вызывающем обледенения входных окон и оросителя;
- увеличивать подачу воды на периферийные сопла для предотвращения замерзания;
- обращать особое внимание на уровень в градирнях, так как возможен отказ сигнализации из-за обмерзания датчиков или их повреждения.

В зимнее время, при установившихся морозах для предотвращения снижения температуры циркуляционной воды ниже нормативной, необходимо производить консервацию одну из градирен, для чего:

- отключить подачу воды на оросительную систему обеих половин градирни;
- прижатием задвижек установить минимальный проток циркуляционной воды через сопла периферийной системы во избежание размораживания;
- открыть задвижки на линии консервации;
- открыть вентили для дренирования циркуляционной воды из коллекторов оросительной системы во избежание размораживания.

Для включения градирни в работу необходимо:

- проверить, что все работы окончены, рабочее место убрано, все наряды закрыты, цепи, замки и плакаты сняты;
- дать заявку дежурному слесарю ЦТАИ на сборку электрических схем приводов задвижек;
- закрыть задвижки опорожнения градирни;
- повысить уровень в работающей градирне до максимального;
- открыть задвижки на сливе из градирни;



- открыть задвижки на подаче воды к оросителю;
- открыть задвижки подачи воды к периферийным соплам;
- отрегулировать нормальный уровень в градирне.

Для отключения градирни в ремонт необходимо:

- дать заявку дежурному слесарю ЦТАИ на сборку электрических схем задвижек;
- закрыть задвижки на подаче воды к оросителю и к периферийным соплам;
- убедиться, что задвижки на подаче воды держат и затем закрыть задвижки на сливе из градирни и открыть опорожнение;
- разобрать электрические схемы задвижек;
- указанные задвижки запереть на замки и повесить плакаты по технике безопасности.

### **Заключение**

Основные требования техники безопасности (ТБ) при эксплуатации градирен заключаются в выполнении следующих требований.

Все проходы и проезды, примыкающие к градирне, должны быть свободны и безопасны для движения людей и транспорта и освещены в тёмное время суток. Лестницы, площадки, проходы и перила к ним должны быть всегда в исправном состоянии и надёжно закреплены.

Все ремонтные работы должны производиться по нарядам-допускам или распоряжениям. Работать без касок строго запрещается.

При осмотре градирни необходимо быть внимательным и осторожным, учитывать, что отмостка вокруг градирни может быть скользкой из-за биологических отложений летом и обмерзания зимой. Обивку льда на градирне необходимо производить под непосредственным руководством начальника смены с соблюдением правил ТБ. Необходимо вначале очистить ото льда отмостку, а затем сбивать сосульки на металлоконструкциях и оросителе. Категорически запрещается находиться под сосульками льда, даже небольшими, которые нужно вначале сбить с безопасного места. Передвижение людей по набивке оросителя должно производиться по настилам.

### **Литература**

1. Градирня Гродненской ТЭЦ-2 принята в эксплуатацию [Электронный ресурс] / Энергетик Беларуси. – № 11 (317), 29 мая 2015. – Режим доступа: <https://energo.by/upload/iblock/871/8716c88584b71592bf29077cd665a2ab.pdf/>. – Дата доступа: 30.09.2023.

2. Правила техники безопасности при эксплуатации тепломеханического оборудования электростанций и тепловых сетей [Электронный ресурс] / Министерство энергетики Республики Беларусь. – Минск, 2017. – Режим доступа: [https://minenergo.gov.by/wp-content/uploads/Rabochij-proekt-TKP-po-TV-jelektrostancij-i-TS\\_.pdf/](https://minenergo.gov.by/wp-content/uploads/Rabochij-proekt-TKP-po-TV-jelektrostancij-i-TS_.pdf/). – Дата доступа: 30.09.2023.