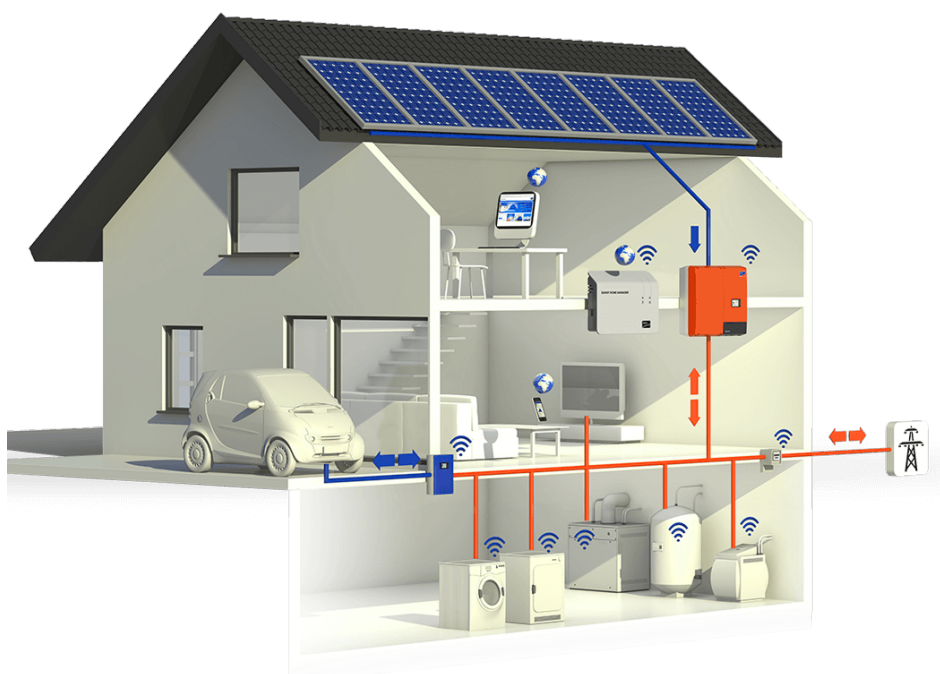


ЭНЕРГЕТИКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ В СОВРЕМЕННОМ ОБЩЕСТВЕ

МАТЕРИАЛЫ

VI Всероссийской научно-практической
конференции обучающихся и преподавателей

Научное издание
Часть II



Санкт-Петербург
2023

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна»
Высшая школа технологии и энергетики

МАТЕРИАЛЫ

**VI Всероссийской научно-практической
конференции обучающихся и преподавателей**

**«ЭНЕРГЕТИКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ
В СОВРЕМЕННОМ ОБЩЕСТВЕ»**

Научное издание
2023 ● Часть II

*Под общей редакцией
директора Института энергетики и автоматизации,
кандидата технических наук, доцента Т. Ю. Коротковой*

Санкт-Петербург
2023

УДК 620.9
ББК 31
Э 651

Редакционная коллегия:

- кандидат технических наук, доцент, директор Института энергетики и автоматизации
Т. Ю. Короткова (Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики);
- доктор технических наук, профессор, профессор кафедры теплосиловых установок и тепловых двигателей
В. В. Барановский (Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики);
- доктор технических наук, профессор, директор Мегафакультета биотехнологий и низкотемпературных систем
И. В. Баранов (Национальный исследовательский университет ИТМО)

Ответственные редакторы:

- старший преподаватель кафедры теплосиловых установок и тепловых двигателей
М. С. Липатов (Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики);
- старший преподаватель кафедры иностранных языков
Е. Н. Лашина (Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики)

Э 651 Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции обучающихся и преподавателей «Энергетика и автоматизация в современном обществе». В 2 ч. / Минобрнауки РФ; ФГБОУ ВО «Санкт-Петерб. гос. ун-т промышленных технологий и дизайна»; сост. М. С. Липатов, Е. Н. Лашина; под общ. ред. Т. Ю. Коротковой. — СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2023. — Ч. II. — 231 с.
ISBN 978-5-91646-358-3

В настоящем сборнике представлены материалы VI Всероссийской научно-практической конференции обучающихся и преподавателей «Энергетика и автоматизация в современном обществе», состоявшейся 11 мая 2023 года в г. Санкт-Петербурге.

Сборник предназначен для широкого круга читателей, интересующихся научными исследованиями и разработками, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов учебных заведений, а также всех, проявляющих интерес к рассматриваемой проблематике с целью использования в научной работе и учебной деятельности.

Материалы представлены в авторской редакции. Ответственность за аутентичность и точность цитат, имен, названий и иных сведений, а также за соблюдение законов об интеллектуальной собственности несут авторы публикуемых материалов. Организаторы конференции не несут ответственность перед авторами и/или третьими лицами за возможный ущерб, вызванный публикацией статьи.

Материалы конференции размещены в научной электронной библиотеке *eLibrary.ru* и зарегистрированы в наукометрической базе РИНЦ (Российский индекс научного цитирования).

УДК 620.9
ББК 31

ISBN 978-5-91646-358-3

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2023
© Коллектив авторов, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Дарьина П. И., Набиуллина М. Ф. ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ И ПЕРСПЕКТИВА СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ С ТРАДИЦИОННОЙ ЭНЕРГЕТИКОЙ.	7
Иванов О. О., науч. рук. Благодарный Н. С. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АВТОНОМНОГО ИНВЕРТОРА НАПРЯЖЕНИЯ С ПРОСТРАНСТВЕННО-ВЕКТОРНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ.	12
Мансуров Д. О., науч. рук. Ершов К. К. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН	16
Мудзамири А. Г., науч. рук. Ковалев Е. Н. ДОПУСТИМЫЕ ГРАНИЦЫ ПОГРЕШНОСТИ СИНХРОНИЗАЦИИ ПРИ КАСКАДНОМ УПРАВЛЕНИИ НАСОСАМИ.	25
Даильнев А. С., Наташкина Е. А. ВНЕДРЕНИЕ РОБОТИЗИРОВАННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КЛИЕНТСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ.	33
Казаков Э. Р., науч. рук. Ковалёв Д. А., Горобченко С. Л. ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ДИАГНОСТИКИ КОЛЕБАТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА НА ПРИМЕРАХ КРУПНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ.	38
Чигин А. С., Машаров Н. Г., Старостина Я. К. ПОСТРОЕНИЕ ПРОГРАММЫ АВТОМАТИКИ ПО ВЫДАННОМУ ТЕХНИЧЕСКОМУ ЗАДАНИЮ.	47
Арабаджи Д. О., науч. рук. Демина М. Ю. ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ.	52
Соколова Т. В., науч. рук. Леонова Н. Л. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ: ВЫЗОВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ.	56
Шевченко К. О., Трухин Е. О., науч. рук. Крюков К. А. ЭФФЕКТ ПЕЛЬТЬЕ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ.	61

Садулаев А. А., Устарханова З. А., науч. рук. Пашаев В. В. ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИКИ И МЕХАНИЗМОВ ПЕЛЛЕТНЫХ КОТЛОВ.	67
Рубцова М. А., Ковалёв Д. А. ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВЗРЫВОВ И ХЛОПКОВ В БАКЕ-РАСТВОРИТЕЛЕ ПЛАВА СОДОРЕГЕНЕРАЦИОННОГО КОТЛОАГРЕГАТА.	74
Тарасенко В. А., Шахова А. С., науч. рук. Тихомирова Т. И. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПУТЁМ ПЕРЕРАБОТКИ МУСОРНЫХ ОТХОДОВ.	81
Клейдман М. Д., Клейдман О. В. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОЛЗУЧЕСТИ НА НАПРЯЖЁННО- ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ НЕОБОГРЕВАЕМОГО ГИБА СТАНЦИОННОГО ТРУБОПРОВОДА С ПОМОЩЬЮ ANSYS.	89
Кузьмин А. А., Карпова Е. В., Байдецкая М. С., науч. рук. Трофимова Т. В. АНАЛИЗ ПРИСУТСТВИЯ РОССИИ НА МЕЖДУНАРОДНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЫНКАХ.	95
Зинкуду П., Марковчин К. В., науч. рук. Ковалев Е. Н. АНАЛИЗЫ ЗАКОНОВ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ СТАНКА ПОПЕРЕЧНОЙ РЕЗКИ.	102
Кравченко С. О., науч. рук. Безбородов Д. Л. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЕРОЯТНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ДИОКСИНОВ И ФУРАНОВ ПРИ СЖИГАНИИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ.	112
Насибуллина К. И., Куринная А. М., Гурьянова А. Э., науч. рук. Зверева Э. Р. СНИЖЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА ПРИ ПЕРЕВОДЕ КОТЛОВ ТЭЦ НА СЖИГАНИЕ ТБО.	119
Широнина А. М., Воронин И. П., Махмуд К. А., Ташлыков О. Л. УЛУЧШЕНИЕ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ДИАТОМИТОВЫХ ГЛИНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ДАВЛЕНИЯ.	127

Елфутин М. Д., науч. рук. Габидуллин Р. Р. ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБОВ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И СЕТЯХ.	135
Юсупова Д. А., науч. рук. Шарипов И. И. ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ.	139
Колесников В. А., Венчаков П. В. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПОДСИСТЕМЫ ДОЗИРОВКИ КОРМА В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ КОРМУШКАХ ДЛЯ ДОМАШНИХ ЖИВОТНЫХ.	142
Сайфутдинов Ф. Ф., науч. рук. Ляпин А. И. АККУМУЛИРОВАНИЕ ГОРЯЧЕЙ ВОДЫ В МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМАХ.	147
Касков Д. О., Воложенинов Т. П., Юзбашиева К. Ш., науч. рук. Ташлыков О. Л. АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ СПОСОБ УТИЛИЗАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННОЙ МОРСКОЙ ВОДЫ НА АЭС «ФУКУСИМА-1»	152
Касков Д. О., Воложенинов Т. П., Юзбашиева К. Ш., науч. рук. Ташлыков О. Л. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ В СРЕДСТВАХ ПЕРСОНАЛЬНОЙ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ.	159
Гайнутдинов Ф. Р., науч. рук. Гайнутдинова Д. Ф. ГИБРИДНЫЕ СИСТЕМЫ КОГЕНЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА.	167
Ревякина П. А., Ташлыков О. Л. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ПАКЕТА SOLIDWORKS FLOW SIMULATION В ПРОЦЕССАХ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС.	172
Чурилов К. Е., науч. рук. Долгова А. Н. К ВОПРОСУ О МОДЕРНИЗАЦИИ КОТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.	178
Васильев А. В., науч. рук. Шириев Р. Р. О ПОВЫШЕНИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОНОМНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК.	183

Корнилов С. В., Симонов И. В., науч. рук. Зверева Э. Р. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ.	189
Леонов Е. С., науч. рук. Трубаев П. А. АНАЛИЗ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ГАЗООБРАЗНЫХ ТОПЛИВ В СРАВНЕНИИ С БИОГАЗОМ ПЕРЕМЕННОГО СОСТАВА. . .	199
Нагирняк А. А. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОСЕТЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ОПРЕДЕЛЕНИИ ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ДВУХСЛОЙНЫМ РОТОРОМ.	206
Рейхерт В. С., науч. рук. Туренко С. К. РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ РАСЧЕТОВ ВАРИАНТОВ РЕКОНСТРУКЦИЙ ТРУБОПРОВОДА ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ ПРОМЛИВНЕВОГО ТРУБОПРОВОДА.	211
Паравян Т. М., Потапова С. О. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ.	216
Torgashin D. V., Academic Advisor Kapsargina S. A. POSITIVE AND NEGATIVE IMPACT OF SOLAR PANELS ON THE ENVIRONMENT.	221
Medvedeva A. S., Academic Advisor Andrusenko Y. A INVESTIGATION OF RELIABILITY AND VIABILITY OF COMPUTING SYSTEMS.	227

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ И ПЕРСПЕКТИВА СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ С ТРАДИЦИОННОЙ ЭНЕРГЕТИКОЙ

студент **Дарьина Полина Ивановна**,
ассистент **Набиуллина Мадина Фаридовна**,
Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассмотрены виды традиционных и возобновляемых источников энергии и возможность их совместного использования. Представлены схемы гибридных установок для выработки тепловой и электрической энергии на основе исследуемых источников энергии, надежно обеспечивающие энергоснабжение различных объектов.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, традиционная энергетика, гибридизация теплоэлектростанций (ТЭС), солнечные коллекторы, ветроэнергетическая установка, мини-ТЭС.

RENEWABLE ENERGY SOURCES AND THE PROSPECT OF SHARING WITH TRADITIONAL ENERGY

Student **Darina Polina Ivanovna**,
Assistant **Nabiullina Madina Faridovna**,
Kazan State Power Engineering University
Kazan, Russian Federation

Abstract. The paper considers the types of traditional and renewable energy sources and the possibility of their joint use. The schemes of hybrid installations for the generation of thermal and electrical energy based on the studied energy sources, reliably providing power supply to various facilities are presented.

Keywords: renewable energy, traditional energy, hybridization of thermal power plants, solar collectors, wind power plant, mini-thermal power plants.

Электрическая и тепловая энергия, добываемая привычными нам способами: сжиганием органического топлива на ТЭС, использование ядерных топлив на АЭС и энергии потока воды на ГЭС – называется традиционной. Несмотря на свое разнообразие, традиционная энергетика ограничена природными ресурсами региона и имеет ряд проблем:

- устаревающее оборудование,
- отсутствие необходимой гибкости при энергообеспечении динамичного нефтегазового комплекса,
- невысокие экологические показатели,
- невысокое качество электроэнергии.

Все это в совокупности заставляет искать альтернативу и находить ее в возобновляемых источниках энергии.

ВИЭ (возобновляемые источники энергии) – природные ресурсы, из которых также получают энергию, однако их возобновление опережает расход.

ВИЭ является альтернативой ископаемому топливу (уголь, торф, нефть, природный газ, урановая руда). Они тоже возобновляемые, но на это требуется гораздо больше времени.

Кроме неисчерпаемости, выделяют следующие преимущества ВИЭ:

- доступность ресурсов;
- возможность задействовать земли, непригодные для хозяйственной деятельности;
- безопасность — меньше риска техногенных катастроф.

Недостатки ВИЭ:

- источники энергии распределены неравномерно, и энергию приходится транспортировать на большие расстояния, чтобы доставить потребителям;
- получение такой энергии нестабильно — оно зависит от природных условий;
- стоимость утилизации достаточно высокая.

По данным исполнительного комитета Электроэнергетического Совета Содружества Независимых Государств в 2022 году основная доля выработки электроэнергии в России приходится на ТЭС, однако ВИЭ-генерация нарастила выработку на 18,1 %.

Южный федеральный округ России является лидером по объему мощности генерирующих объектов ВИЭ [1].

Основными источниками возобновляемой энергии являются: биоэнергетика, геотермальная энергетика; гидроэнергетика; морская энергетика; солнечная энергетика; ветряная энергетика [2].

Солнечная энергия – основной источник возобновляемой энергии, около 173 ПВт солнечной энергии попадает на нашу планету ежегодно. Посредством фотоэлектрических модулей солнечное излучение преобразуется в электрическую или тепловую энергию [3].

Солнечные электростанции находятся во многих регионах России, но преобладают в Республике Крым, Калмыкия, Алтай, Башкортостан и другие.

Ветроэнергетика является одной из самых быстроразвивающихся технологий возобновляемой энергетики. Работа ветрогенераторов основана на превращении кинетической энергии ветра в механическую энергию ротора, далее механическая энергия преобразуется в электрическую.

Ветряные станции весьма распространены на территории России и находятся в Калининградской области, в Оренбургской области, в Башкортостане, Калмыкии, на Чукотке, в Белгородской области.

3. Гидроэнергия представляет собой использование падающей или быстро текущей воды для производства электроэнергии или для приведения в действие машин.

Гидроэлектростанции преобладают в Пермском, Красноярском краях, Иркутской и Саратовской областях и другие.

Биоэнергетика универсальна. Биотопливо является заменой таких традиционных источников энергии, как уголь, нефть и газ.

Отходы сельского хозяйства являются основой для получения различных видов биотоплива [4].

Геотермальная энергия является наименее используемым источником возобновляемой энергии в России. Работа геотермальной электростанции довольно проста и экологически безопасна [3].

ГеоТЭС преобладают Паужетской и Мунтовской областях.

6. Морская энергия характеризуется энергией приливов и отливов, которая могла бы удовлетворить 40% мировой потребности в электричестве. Движение океана способствует генерации электроэнергии. Для получения электроэнергии волновая электростанция использует гидродинамическую энергию [3].

В настоящее время происходит переход от традиционных источников энергии к возобновляемым, что ставит задачу обеспечения необходимых объемов генерации при одновременном уменьшении стоимости энергии и экологического ущерба от ее использования [5, 6].

Развитие совместного использования традиционных и возобновляемых источников энергии наиболее актуально для изолированных потребителей, энергообеспечение которых осуществляется в основном дизель-генераторами и мини-ТЭС. Бесперебойная работа дизельной установки и мини-ТЭС зависит от поставляемого топлива. В таких случаях имеет место гибридизация технологических схем выработки тепло- и электроэнергии.

В данной работе представлены ранее разработанные авторами варианты гибридных установок на основе традиционного топлива и ВИЭ (рисунок 1), (рисунок 2) [7].

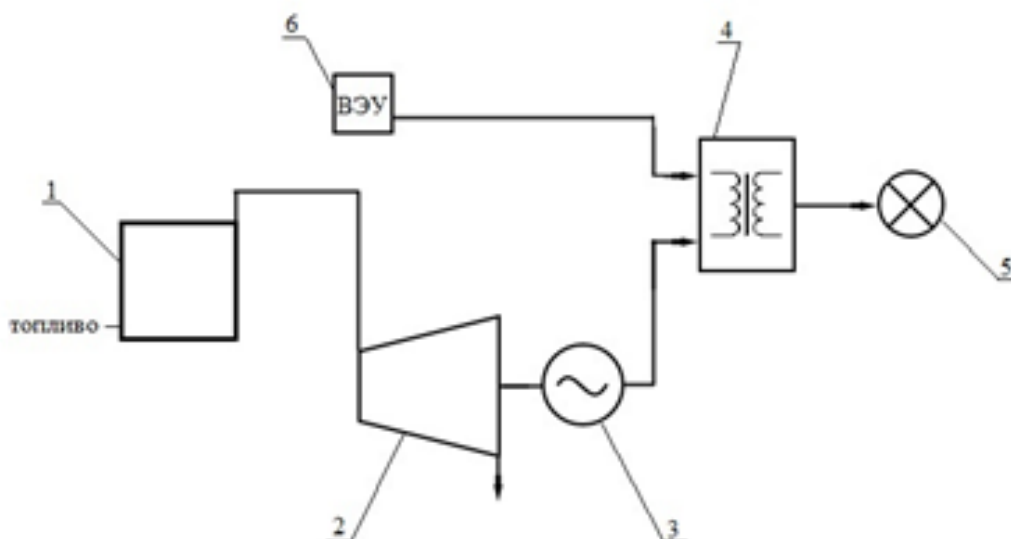


Рисунок 1. Схема гибридной мини-ТЭС с паровым котлом и ВЭУ:

1 – паровой котел, 2 – паровая турбина, 3 – электрогенератор,
4 – трансформатор, 5 – потребитель, 6 – ВЭУ (ветроэнергетическая установка)

Гибридная мини-ТЭС с подключением ветроэнергетической установки обеспечивает покрытие возможных несоответствий между прогнозируемыми и реальными значениями выходной мощности ВЭУ. Совместная работа мини-ТЭС и ВЭУ обеспечивает экономию традиционного топлива и увеличивает срок эксплуатации котельного оборудования. Также может предусматриваться раздельная работа этих энергоисточников.

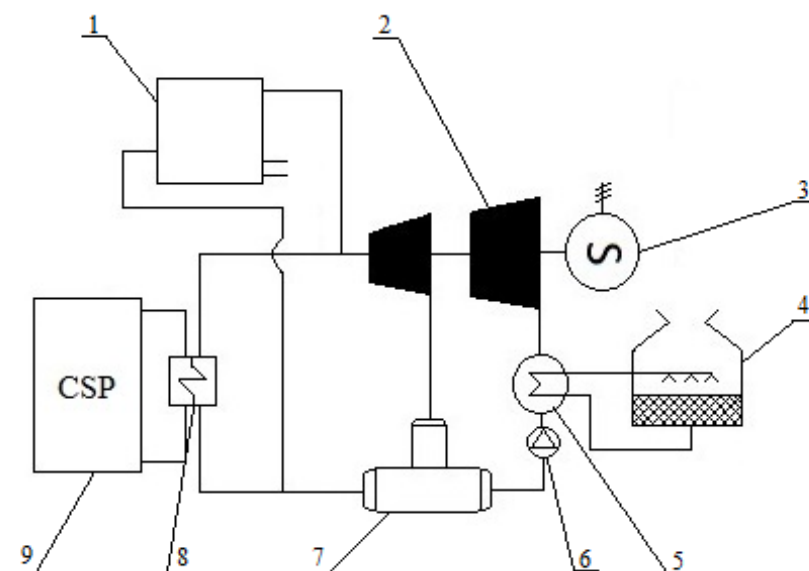


Рисунок 2. Гибридная конфигурация парового котла с параллельной установкой солнечных коллекторов (CSP): 1 – паровой котел; 2 – паровая турбина; 3 – электрогенератор; 4 – градирня; 5 – конденсатор; 6 – конденсатный насос; 7 – деаэратор; 8 – подогреватель установки CSP; 9 – установка концентрирования солнечной энергии

Параллельное подключение солнечного коллектора и котла на ископаемом топливе предназначено для увеличения выработки энергии. Использование гибридных установок способствует снижению расхода топлива и стабилизации выработки энергии [6].

Список литературы:

1. Антонов, С. А. Применение тепловых коллекторов в целях энергосбережения для промышленного предприятия : Выпускная квалификационная работа / С. А. Антонов. – 2021. – 67 с. – Текст : непосредственный.
2. Gorbina, E. V. Renewable energy sources E. V. Gorbina. – Текст : непосредственный // Новое слово в науке и практике: гипотезы и апробация результатов исследований. – 2016. – №24-1.
3. Что такое альтернативные источники энергии и какое у них будущее: [сайт]. – URL: <https://trends.rbc.ru/trends/green/609e76449a7947f4755ac9dc> (дата обращения: 13.04.2023). – Текст : электронный.

4. Балдынов, О. А. Сравнительный анализ эффективности энергетических комплексов : Выпускная квалификационная работа / О. А. Балдынов. – 2017. – 84 с. – Текст : непосредственный.
5. Жданов, Д. А. Тенденции повышения энергоэффективности: возможности возобновляемой и традиционной энергетики / Д. А. Жданов, К. Т. Молдабаев. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы экономики и права. – 2020. – Т. 14, № 2. – С. 249-265.
6. Lashina, E. N. Economic feasibility of using solar power plants in the realities of the United States / E. N. Lashina, S. A. O. Sabzalyev. – Текст : электронный // Оригинальные исследования. – 2020. – Vol. 10, No. 9. – P. 37-42. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44069305> (дата обращения: 24.04.2023). – EDN VMDDFO.
7. Набиуллина, М. Ф. Гибридные мини-ТЭС на биомассе и солнечной энергии для энергоснабжения изолированных потребителей / М. Ф. Набиуллина, Г. Р. Мингалеева. – Текст : непосредственный // «Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве» : Материалы VIII Национальной научно-практической конференции, Казань, 08-09 декабря 2022 года. – Казань : Казанский государственный энергетический университет, 2023. – С. 411-415.

© Дарьина П. И., Набиуллина М. Ф., 2023

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АВТОНОМНОГО ИНВЕРТОРА НАПРЯЖЕНИЯ С ПРОСТРАНСТВЕННО-ВЕКТОРНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

студент **Иванов Олег Олегович**,
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент
Благодарный Николай Семенович,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Современный автоматический электропривод содержит в своем составе преобразователи частоты. Самые эффективные системы векторного управления в преобразователе частоты используют метод пространственно-векторной модуляции (ПВМ). В данной работе будет построен автономный инвертор напряжения ПВМ, смоделированный в Matlab. Будут исследованы режимы работы инвертора.

Ключевые слова: автоматический электропривод, пространственно-векторная модуляция (ПВМ), автономный инвертор, моделирование в Matlab&Simulink.

STUDY OF OPERATING MODES OF AUTONOMOUS VOLTAGE INVERTER WITH SPACE-VECTOR MODULATION

Student **Ivanov Oleg Olegovich**,
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor
Blagodarny Nikolai Semenovych,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. A modern automatic electric drive contains frequency converters. The most efficient vector control systems in the frequency converter use the space vector modulation (SVM) method. In this paper, we will build an offline voltage inverter SVM, modeled in Matlab. The operating modes of the inverter will be investigated.

Keywords: automatic electric drive, space vector modulation (SVM), autonomous inverter, modeling in Matlab&Simulink.

Преобразователи частоты используют не только широтно-импульсную модуляцию [1], но и метод пространственно-векторной модуляции (ПВМ), преимущества использования которой описаны в [2]. Основной алгоритм управления транзисторами автономного инвертора напряжения при использовании ПВМ базируется на формировании определенного положения опорного вектора напряжения на каждом временном интервале в пространстве.

Необходимо сформировать в каждой фазе напряжение, соответствующее проекции заданного обобщенного вектора на ось трехфазной системы координат [3]. В автономном инверторе напряжения возможно формирование только шести состояний (положений) ненулевого обобщенного вектора напряжения.

Для построения модели IGBT блока используем шесть модулей IGBT/Diode и расположим их на схеме, как показано на рисунке 1.

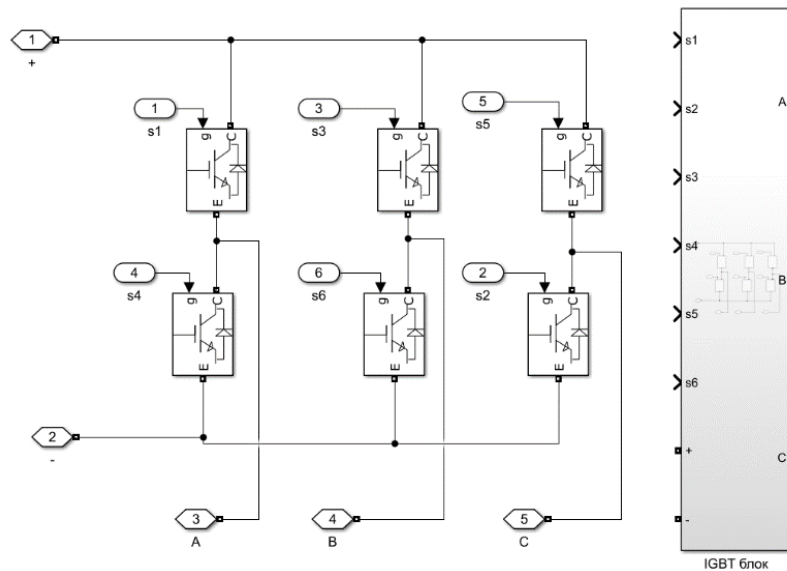


Рисунок 1. Схема IGBT блока (слева) и подсистема IGBT блок (справа)

На рисунке 2 изобразим топологию ПВМ:

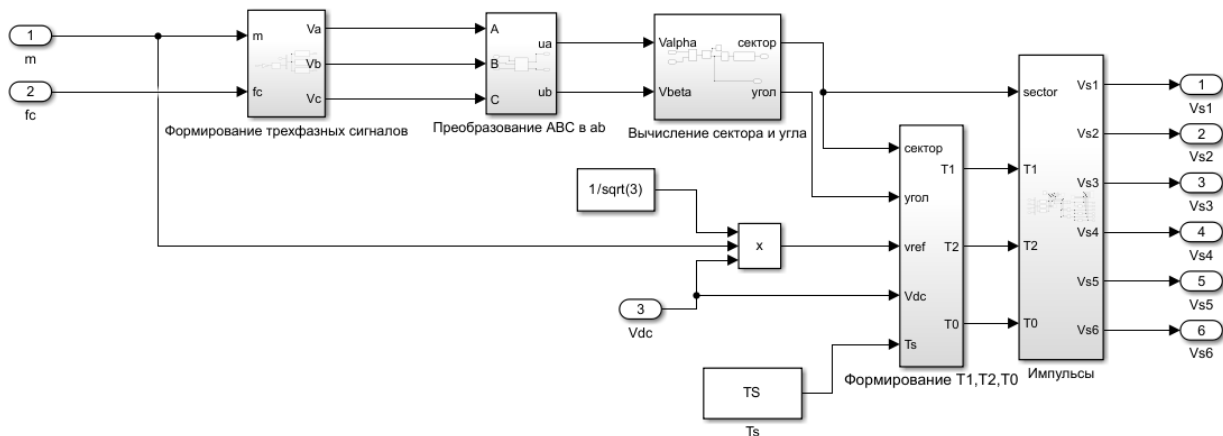


Рисунок 2. Топология ПВМ АИН в Matlab

На рисунке 3 приведена итоговая схема моделирования автономного инвертора напряжения с ПВМ.

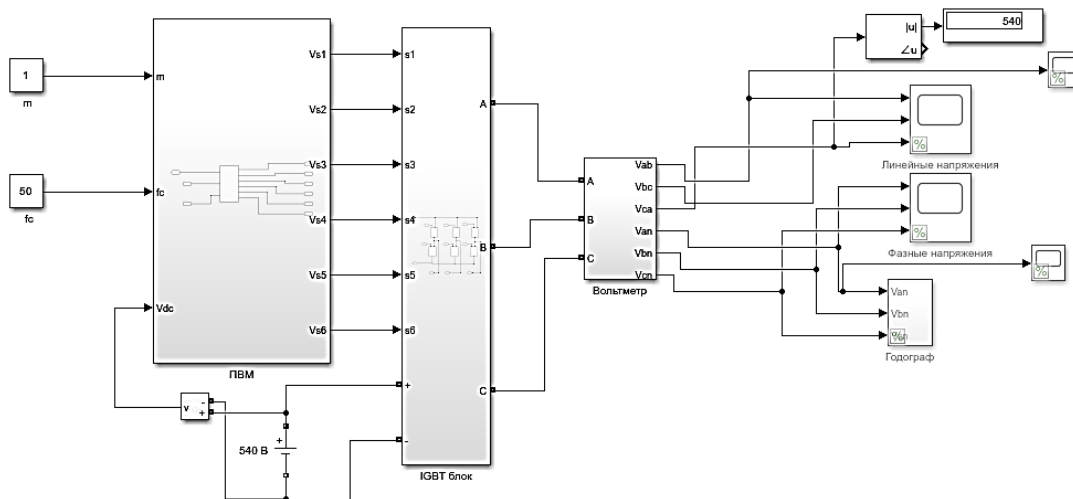


Рисунок 3. Модель ПВМ АИН в Matlab

Исследуем модель инвертора ПВМ: для этого будем менять коэффициент модуляции m . На рисунке 4 изобразим графики обобщенного при изменении m .

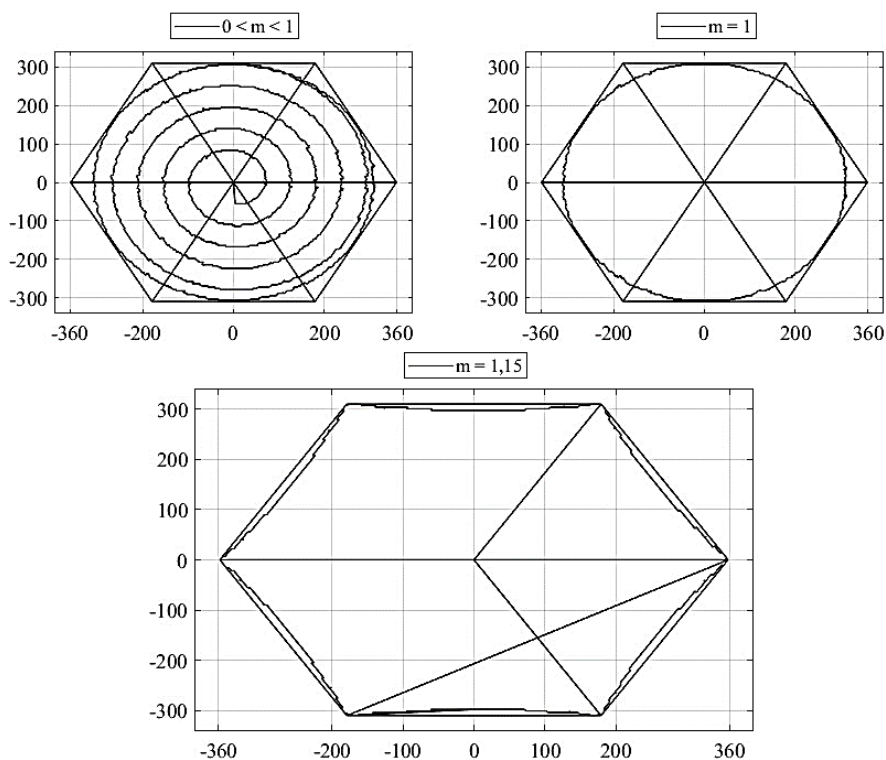


Рисунок 4. Графики обобщенного вектора напряжения при изменении m

Для удобства проведем дополнительный анализ фазного напряжения на рисунке 5 при $m = 1$ и частоте $f = 50$ Гц.

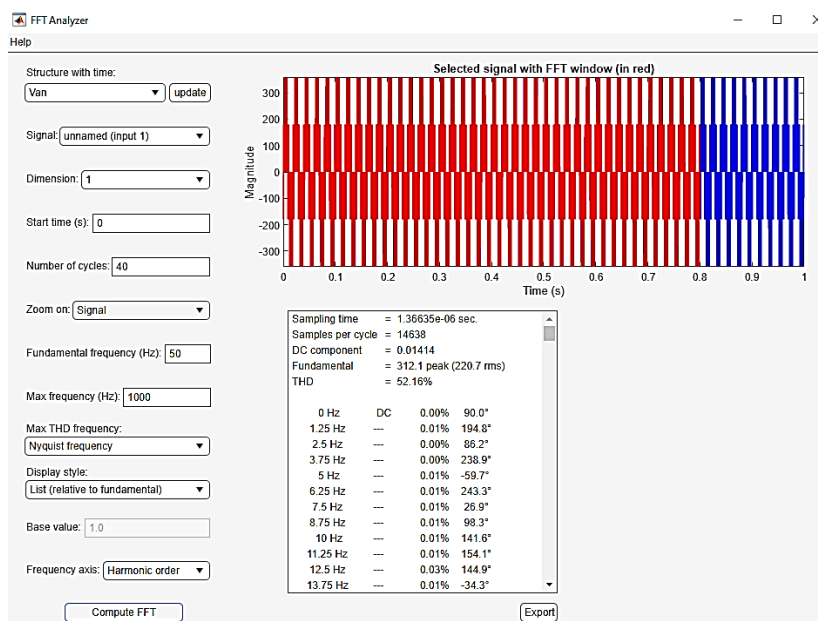


Рисунок 5. Гармонический анализ фазного напряжения

Сделаем выводы: при $0 \leq m < 1$ режим работы инвертора линейный. Годограф напряжения представляет собой окружность, а при линейном изменении m годограф имеет спиральный вид.

При $1 \leq m \leq \frac{2}{\sqrt{3}}$ в системе могут присутствовать гармонические искажения, форма обобщенного вектора имеет линейные участки. При $m = \frac{2}{\sqrt{3}}$ годограф вырождается в шестиугольник. Дальнейшее увеличение m невозможно.

Таким образом инвертор с ПВМ имеет линейный и нелинейный режим работы. Ясно, что в линейном случае амплитудное и среднеквадратичное значение напряжения будет таким же, как и значения у обычных синусоидальных сигналов.

Список литературы:

1. Зиновьев, Г. С. Основы силовой электроники: Учебник. Ч. 1 / Г. С. Зиновьев. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 1999. – 199 с. – Текст : непосредственный.
2. Шрейнер Р. Т. Математическое моделирование электроприводом переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты / Р. Т. Шрейнер. – Екатеринбург : УПУ РАН, 2000. – 654 с. – Текст : непосредственный. – ISBN 5-7691-111-9.
3. Makarova, A. A. Modeling a Production Well Flow Control System Using the Example of the Verkhneberezhovskaya Area / A. A. Makarova, I. V. Kaliberda, I. M. Pershin, D. A. Kovalev. – Текст : непосредственный // Proceedings of the 2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2022, St. Petersburg, 25–28 января 2022 года. – St. Petersburg, 2022. – P. 760-764. – EDN PGANVB.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

студент **Мансуров Даниил Олегович**,
науч. руководитель: ассистент **Ершов Кирилл Константинович**,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Увеличение энергоэффективности приводных систем является актуальной задачей. Для этого необходимо использование двигателей с лучшими КПД, габаритами и соответствующим крутящим моментом. Особо актуально улучшение данных показателей при применении двигателей для приводов в самолетах, автомобилях и кораблях. Наиболее современными двигателями, соответствующими данным требованиям, являются синхронный реактивный двигатель, синхронный двигатель с постоянными магнитами, двигатели с аксиальным магнитным потоком и синхронные реактивные двигатели с постоянными магнитами.

Ключевые слова: синхронный реактивный двигатель с постоянными магнитами, синхронный реактивный двигатель, двигатель с аксиальным магнитным потоком, синхронный двигатель с постоянными магнитами.

ANALYSIS OF MODERN ELECTRIC MACHINES

Student **Mansurov Daniil Olegovich**,
Academic Advisor: assistant **Ershov Kirill Konstantinovich**,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. Increasing the energy efficiency of drive systems is an urgent task. To do this, it is necessary to use engines with the best efficiency, dimensions and appropriate torque. It is especially important to improve these indicators when using engines for drives in airplanes, cars and ships. The most modern engines that meet these requirements are synchronous jet engines, synchronous motors with permanent magnets, motors with axial magnetic flux and synchronous jet engines with permanent magnets.

Keywords: Synchronous jet engine with permanent magnets, synchronous jet engine, axial magnetic flux motor, synchronous motor with permanent magnets.

В настоящее время оптимизация крутящего момента электродвигателей, энергоэффективности, масса-габаритных показателей и других эксплуатационных параметров является актуальной задачей. Какие именно характеристики должны быть оптимизированы, определяется из условий

практического применения двигателя. К одним из современных двигателей, соответствующих данным характеристикам, могут быть отнесены двигатель с аксиальным магнитным потоком, синхронный двигатель с постоянными магнитами, синхронный реактивный двигатель и синхронный реактивный двигатель с постоянными магнитами.

Синхронный реактивный двигатель – это одна из разновидностей синхронного двигателя, ротор которого не имеет обмоток возбуждения или постоянных магнитов (рисунок 1). Вращающий момент создаётся за счёт неравномерной магнитной проводимости по поперечной и продольной осям ротора [1].

Вращающее магнитное поле в воздушном зазоре электродвигателя создаётся во время прохождения переменного тока по обмоткам статора. Ротор – железный цилиндр, в котором создаются пазы. Крутящий момент создаётся, когда поле статора проходит через ось, где отсутствуют пазы, таким образом уменьшается сопротивление в магнитной цепи и начинается вращение двигателя.

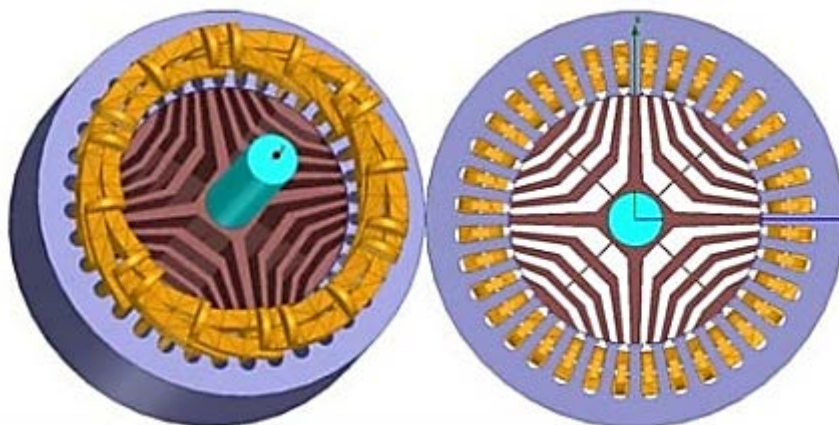


Рисунок 1. Синхронная реактивная машина, вид внутри

В сравнении с классической синхронной машиной с обмотками возбуждения данный тип двигателей имеет больший момент, больший коэффициент мощности и коэффициент полезного действия. Объясняется это тем, что возбуждение происходит за счёт реактивной составляющей тока, создающей значительный намагничивающий ток статора. Пуск таких двигателей осуществляется за счет алгоритмов, заложенных в преобразователе частоты, чтобы избежать использования асинхронного пуска, то есть пуска с использованием демпфирующей короткозамкнутой обмотки. Таким образом, коэффициент мощности и КПД синхронных реактивных машин заметно увеличивается, что вкупе с простотой ротора позволяет достичь показаний коэффициента полезного действия около 90-96% (рисунок 2), что на 5-8% выше, чем у асинхронного двигателя, работающего при номинальных условиях.

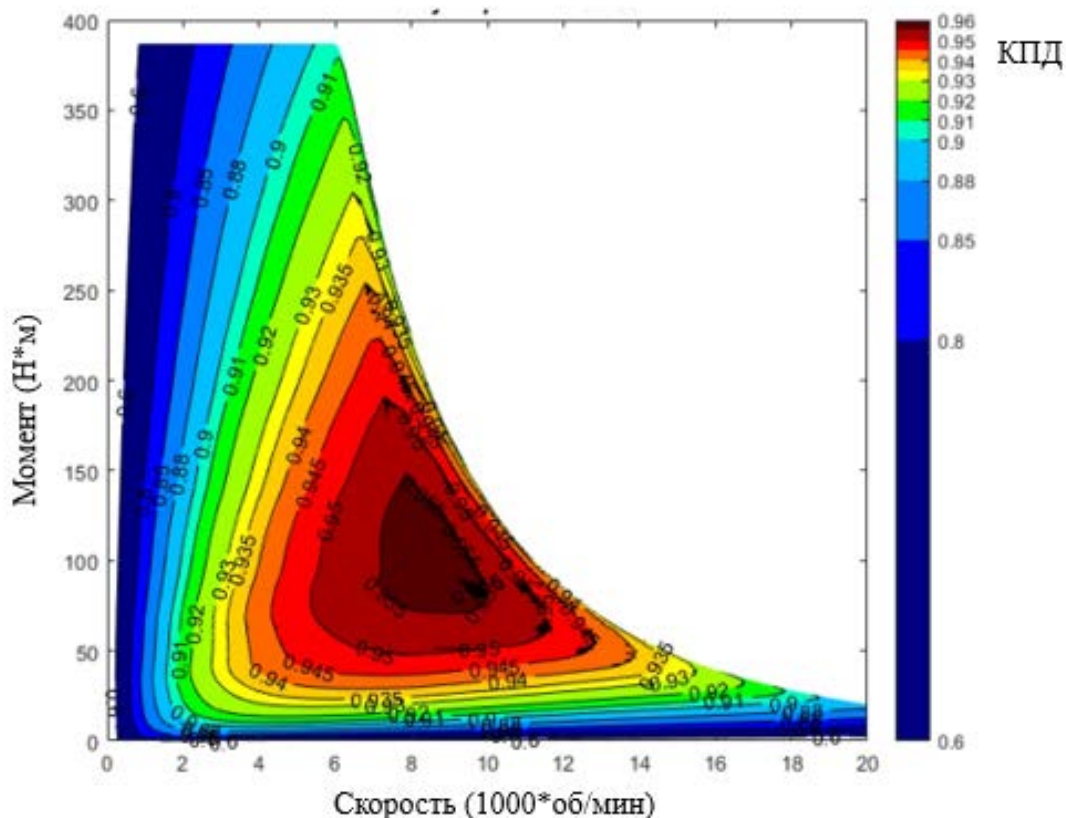


Рисунок 2. Зависимость КПД от нагрузки и скорости вращения синхронной реактивной машины

В итоге, синхронный реактивный двигатель – это перспективная электрическая машина, которая может быть применена как для интеграции в новые системы электропривода, так и для модернизации старых систем. Большой коэффициент полезного действия по сравнению с асинхронным двигателем позволяет отдать предпочтение синхронному реактивному двигателю при разработке новых систем. Привычное строение статора и простота ротора позволяют применять двигатель в тяжёлых условиях эксплуатации.

Ещё одним из современных двигателей является синхронный двигатель с постоянными магнитами – это синхронный двигатель, у которого пазы ротора заполнены постоянными магнитами (рисунок 3). Данный тип двигателей имеет КПД на 2-3% выше, чем самый энергоэффективный асинхронный двигатель (рисунок 4). Отличие данного двигателя от асинхронного и обычного синхронного двигателя заключается в роторе, состоящем из постоянных магнитов [2]. Такие двигатели бывают двух типов: 1) с постоянными магнитами на якорном узле, обеспечивающими магнитоэлектрическое возбуждение, применяется для электроприводов небольшой мощности; 2) с электромагнитами, осуществляющими электромагнитное возбуждение, применим для электроприводов, работающих на большую нагрузку. Также синхронные двигатели можно разделять в зависимости от расположения роторного механизма: 1) с якорем внутри статора; 2) с наружным конструктивным исполнением. Относительно конструкции якоря синхронные машины

подразделяются: 1) явнополюсные – тихоходные моторы со скоростью до 1000 об/мин; 2) неявнополюсные – высокоскоростные приводы с оборотами порядка 3000 об/мин.

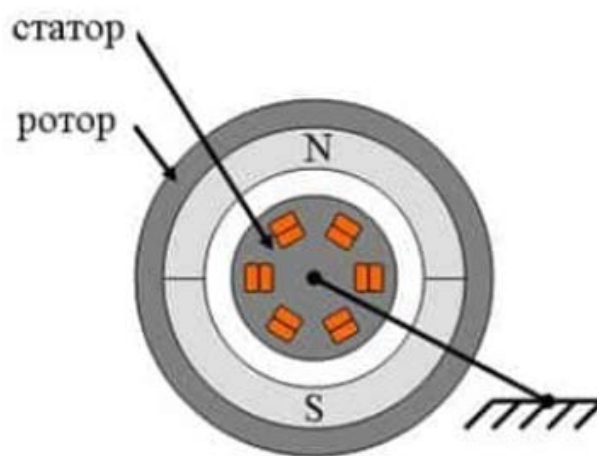


Рисунок 3. Синхронный двигатель с постоянными магнитами

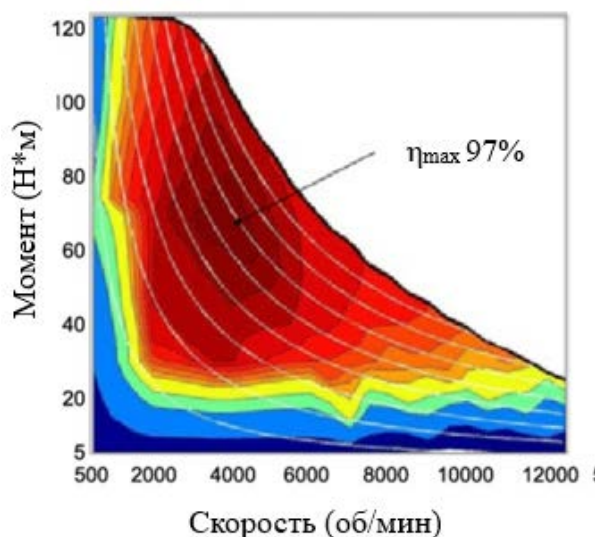


Рисунок 4. Зависимость КПД от нагрузки и скорости синхронного двигателя на постоянных магнитах

Отличие двух типов приводов состоит в разной конфигурации полюсов, что влияет на технические характеристики электромоторов. Явнополюсный якорный блок имеет магнитопровод, закрепленный на вращающемся валу. К магнитопроводу закрепляются полюса с электрической обмоткой возбуждения и полюсными наконечниками. Количество пар полюсов может быть различным и зависит от требуемой мощности устройства.

Обмотка возбуждения создает постоянное магнитное поле. Для ее соединения с неподвижной электроцепью используют два металлических контактных кольца, установленных на якорном валу. К каждому из колец подсоединен один из выводов обмотки возбуждения. У наружной поверхности

контактных колец располагаются неподвижные электрические щетки. Во время вращения вала элементы взаимодействуют между собой, в результате чего на щетки передается электропитание.

Особенность синхронных машин обеспечивать длительно постоянные обороты, а также их обратимость способствует большему распространению в качестве генератора переменного тока. На электростанциях применяют турбогенераторы, у которых в качестве первичного двигателя используют паровые турбины и гидрогенераторы с приводом от гидравлических турбин.

Не менее интересное решение – двигатель с аксиальным магнитным потоком – это индукторная машина с бесконтактной коммутацией [3], осуществляемой с помощью полупроводниковых приборов, и может быть использован как в двигательном режиме, так и в генераторном при повышенных требованиях к надёжности (рисунок 5).

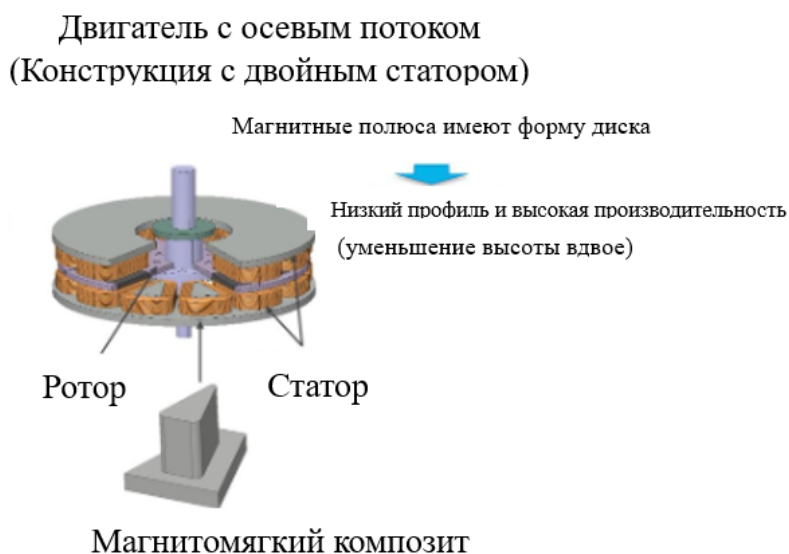


Рисунок 5. Конструкция аксиального двигателя

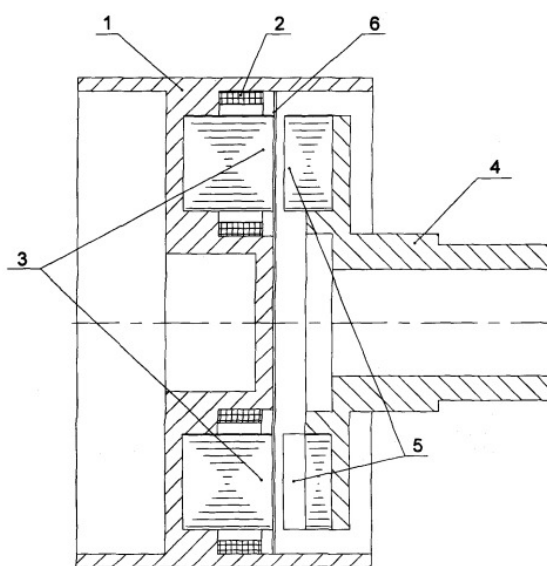


Рисунок 6. Элементы машины с аксиальным магнитным потоком

Двигатель с аксиальным магнитным потоком состоит из следующих элементов (рисунок 6): 1 – цилиндрический корпус двигателя; 2 – статор; 3 – обмотка статора; 4 – безобмоточный ротор с внешним валом; 5 – магнитные зубцы ротора; 6 – дисковая пластина из немагнитного материала.

Данный тип двигателей обладает повышенной надёжностью в неблагоприятных условиях эксплуатации, высокой нагрузочной способностью благодаря конструктивному исполнению машины, предусматривающему эффективное охлаждение статора и особенности ротора, также КПД данного двигателя составляет около 96-97% (рисунок 7), что делает этот двигатель энергоэффективным.

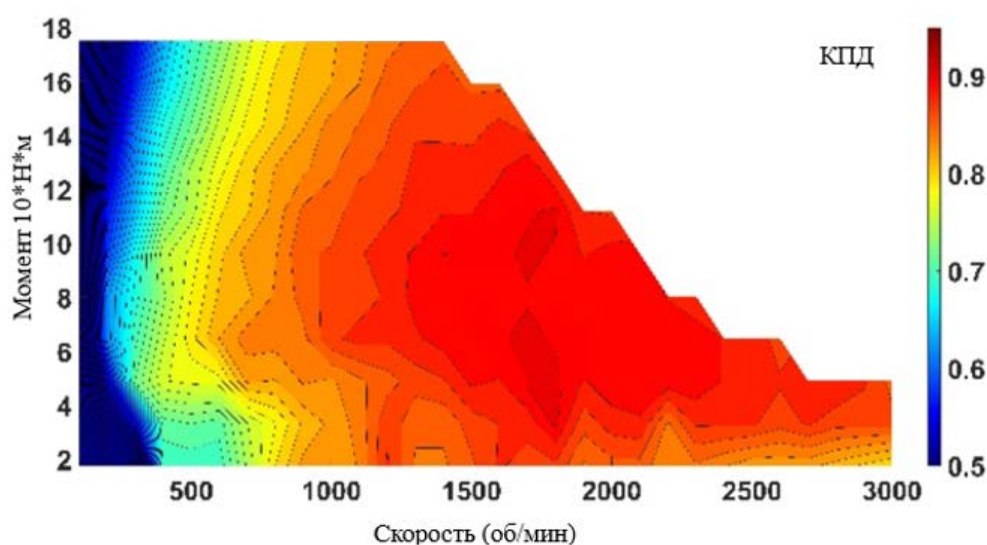


Рисунок 7. Зависимость КПД от нагрузки и скорости двигателя с аксиальным магнитным потоком

В двигательном режиме на многофазную обмотку статора поступает переменный ток, образующий магнитные полюса статора, который взаимодействует с магнитными зубцами диска ротора, создается вращающий момент на внешнем валу двигателя. В машине с аксиальным магнитным потоком обеспечение эффективного процесса управления преобразователем напряжения предполагает использование датчика положения ротора или способа управления, использующего сигнал противо-ЭДС.

В генераторном режиме при приведении в движение выходного вала ротора создаётся вращающееся магнитное поле, которое в секциях многофазной обмотки статора генерирует ЭДС.

Двигатель с аксиальным магнитным потоком может применяться в промышленных областях энергетики даже в жестких условиях эксплуатации с повышенными требованиями к электроприводам или электрогенераторам по надёжности.

Безусловный интерес представляет синхронный реактивный двигатель с внутренними постоянными магнитами (Internal Permanent Magnets Synchronous Reluctance Motor – IPMSynRM). Этот двигатель включает в себя свойства как

синхронного двигателя с постоянными магнитами, который обладает высоким крутящим моментом, но обладает потерями при высоких оборотах, так и свойствами синхронного реактивного двигателя, который отлично работает на высоких оборотах [4].

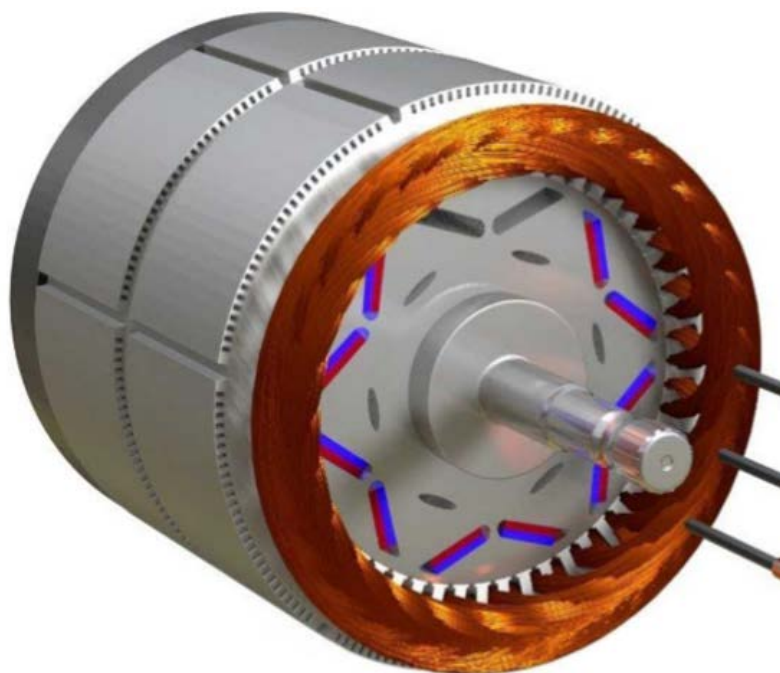


Рисунок 8. Синхронный реактивный двигатель с постоянными магнитами

Синхронный реактивный двигатель с внутренними постоянными магнитами состоит из неподвижной части – статора и вращающейся части – ротора. Статор так же, как и у синхронного и асинхронного двигателей, состоит из корпуса и сердечника (тонких изолированных листов), в пазах сердечника находится обмотка, подключаемая к сети. Ротор – железный цилиндр с пазами, в которые интегрированы постоянные магниты (рисунок 8).

Для управления данным двигателем обязательно необходимо использование частотного преобразователя. Так как двигатель выдает максимальный крутящий момент, когда угол вращающегося магнитного поля составляет около 50 градусов, поэтому при старте двигателя угол вращающегося магнитного поля должен составлять около 50 градусов, что могло бы гарантировать максимальный крутящий момент. Чтобы избежать потерь на высоких скоростях, контроллеру необходимо выровнять вращающееся магнитное поле противоположно направленному постоянному магнитному полю. Таким образом удастся достичь высокого крутящего момента как на высоких оборотах, так и на низких. КПД данного двигателя достигает 96 % (рисунок 9).

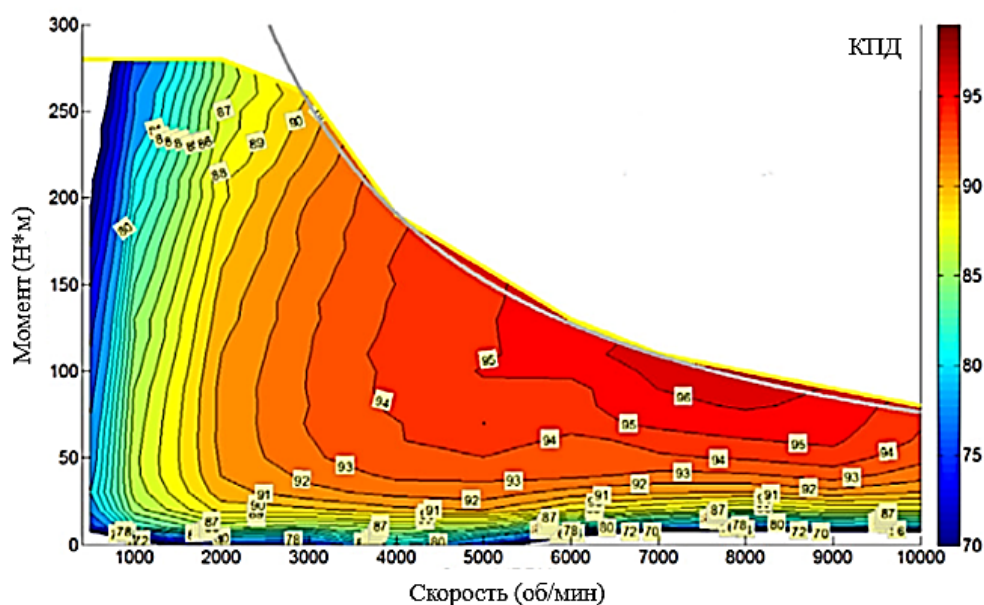


Рисунок 9. Зависимость КПД от нагрузки и скорости синхронной реактивной машины с постоянными магнитами

Синхронный реактивный двигатель с внутренними постоянными магнитами в паре с частотным преобразователем может в перспективе вытеснить применяемые ранее системы приводных установок.

Таким образом, синхронный реактивный двигатель имеет наиболее высокий КПД при работе на средних оборотах и нагрузке ниже среднего, также имеет высокий КПД при работе с высокой нагрузкой на оборотах ниже среднего и высоких оборотах с низкой нагрузкой около 91 %, что говорит о его высокой энергоэффективности при работе на средней нагрузке при средней скорости, то есть применение данного двигателя больше подходит для работы в области средней нагрузки и средних оборотов. Синхронный двигатель на постоянных магнитах, в свою очередь, показывает наиболее высокий КПД при работе на средних оборотах на максимальной нагрузке около 97 %, высокий КПД также обеспечивается при работе на малой нагрузке при высоких оборотах и на малых оборотах при высокой нагрузке около 95%, что показывает возможность применения данного двигателя при работе на максимальной нагрузке при средней скорости [5]. Синхронный реактивный двигатель с постоянными магнитами имеет наиболее высокий КПД при работе на высоких оборотах на нагрузке ниже среднего около 96 %, также имеет высокий КПД при работе с низкой нагрузкой на максимальных оборотах и при работе с максимальной нагрузкой на оборотах ниже среднего около 89 %, это свидетельствует о том, что такой двигатель может быть применен при необходимости работать на высоких оборотах при низкой нагрузке. Двигатель с аксиальным магнитным потоком имеет наиболее высокий КПД при работе на средней нагрузке при средней скорости около 96 %, также имеет высокий КПД при работе на высоких оборотах на низкой нагрузке и при работе с максимальной нагрузкой на оборотах ниже среднего около 90 %, это показывает, что двигатель лучше подойдет для работы на высоких оборотах при нагрузке ниже среднего.

Подводя итог, можно сказать, что использование современных двигателей, таких как двигатель с аксиальным магнитным потоком, синхронный двигатель с постоянными магнитами, синхронный реактивный двигатель и синхронный реактивный двигатель с постоянными магнитами позволит значительно улучшить энергоэффективность производственных процессов, при этом снизить габариты и массу двигателей.

Список литературы:

1. Современные синхронные реактивные двигатели: [сайт]. – 2023. – URL: <https://elektrik.info/main/school/1201-sovremennye-sinhronnye-reaktivnye-dvigateli.html> (дата обращения: 01.04.2023). – Текст : электронный.
2. Гаврилов, Р. С. Управление синхронными машинами с постоянными магнитами: учебное пособие / Р. С. Гаврилов. – Санкт-Петербург : Типография БГТУ, 2019. – 78 с. – Текст : непосредственный.
3. Косимов, Б. И. Разработка и исследование вентильного двигателя с когтеобразными полюсами привода пильгерстана для изготовления бесшовных труб : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук Б. И. Косимов. – Челябинск, 2020. – 147 с. – Текст : непосредственный.
4. Принцип работы реактивного двигателя Tesla Model 3: [сайт]. – 2023. – URL: <https://sportage-like.ru/princip-raboty-reaktivnogo-dvigatelya-tesla-model-3/?ysclid=lgw01fqwm4626589313> (дата обращения: 02.04.2023). – Текст : электронный.
5. Самое главное о синхронном двигателе с постоянными магнитами: [сайт]. – 2023. – URL: <https://promenter.ru/elektrodvigatel/vidy-dvigatlej/dvigatel-peremennogo-toka/sinhronnye-dvigateli/samoe-glavnoe-o-sinhronnom-dvigatele-s-postoyannymi-magnitami?ysclid=lgw03jvewj954684054> (дата обращения: 30.03.2023). – Текст : электронный.

© Мансуров Д. О., 2023

ДОПУСТИМЫЕ ГРАНИЦЫ ПОГРЕШНОСТИ СИНХРОНИЗАЦИИ ПРИ КАСКАДНОМ УПРАВЛЕНИИ НАСОСАМИ

студент **Мудзамири Анесу Глэдис**,
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент
Ковалёв Евгений Николаевич,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Применение частотно-регулируемых электроприводов, несомненно, позволяет с минимальными капитальными затратами экономить электроэнергию. Помимо их высоких энергетических показателей, экономическая эффективность регулируемых электроприводов определяется их регулировочными возможностями. В статье рассмотрена одна из проблем управления несколькими насосами насосной станции одним преобразователем частоты, а именно определение допустимых границ погрешности синхронизации для безопасного переключения насоса между преобразователем частоты и сетью.

Ключевые слова: синхронизация, безударное переключение, байпас, допустимая разность напряжений, совпадение фаз.

PERMISSIBLE LIMITS OF SYNCHRONIZATION ERROR IN CASCADE CONTROL OF PUMPS

Student **Mudzamiri Anesu Gladys**,
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor
Kovalev Evgeny Nikolaevich,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract: The use of frequency-controlled electric drives undoubtedly allows you to save electricity with minimal capital costs. In addition to their high-energy performance, the economic efficiency of regulated electric drives is determined by their adjustment capabilities. The article considers one of the problems of controlling several pumps of a pumping station by one frequency converter, namely, determining the permissible limits of synchronization error for safe switching of the pump between the frequency converter and the network.

Keywords: synchronization, shock-free connection, bypass, allowable voltage difference, matching phases.

Преобразователь частоты (ПЧ) в системе управления насосными станциями позволяет эффективно экономить электроэнергию и решать

множество технологических задач. Как правило, в работе участвуют несколько насосов, включённых в систему каскадного регулирования [1].

Представлена схема подключения насосов насосной станции (рисунок 1). Стабилизация давления при изменении расхода воды выполняется с помощью регулирования скорости насоса преобразователем частоты, как показано в [2, 3]. При увеличении расхода производительность этого насоса доходит до номинальной величины; для стабилизации давления при дальнейшем увеличении расхода насос переводится на питание от сети, а преобразователь частоты подключается к следующему насосу. При снижении расхода происходит аналогичный обратный процесс переключения насоса от сети на преобразователь частоты. Таким образом поддерживается необходимый баланс между текущим значением расхода и регулируемой подачей насосной станции при заданном давлении в сети водоснабжения [4].

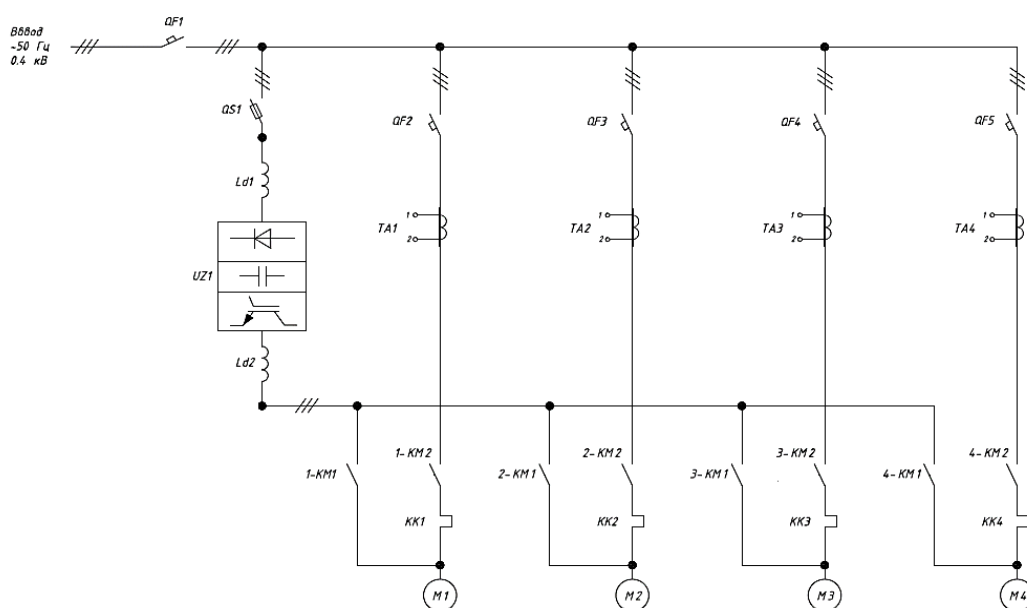


Рисунок 1. Принципиальная схема переключения насоса между преобразователем частоты и сетью

Крайне важно, чтобы переключение было плавным и без перерыва, чтобы избежать опасности гидравлических ударов и резкой потери давления в течение этого короткого периода переключения [5]. Поэтому необходимо определить допустимые границы погрешностей синхронизации преобразователя частоты с сетью в момент переключения. По своему содержанию задача синхронизации выходного напряжения преобразователя частоты с сетью аналогична задаче синхронизации генератора при подключении к сети, только допустимые границы погрешности синхронизации значительно уже. Ниже показан график линейных напряжений генератора и сети в процессе синхронизации (рисунок 2).

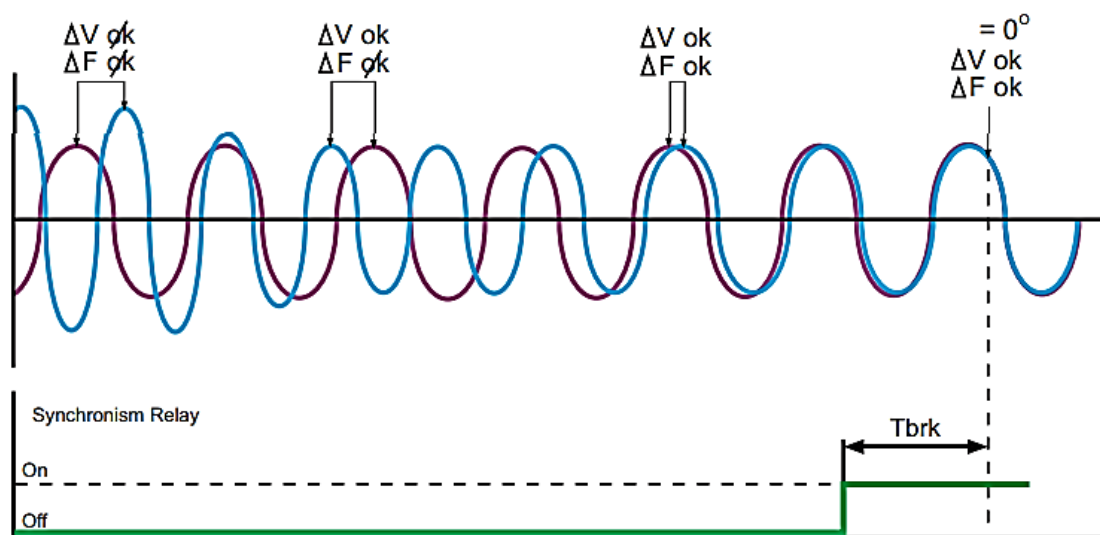


Рисунок 2. График синхронизации генератора с сетью

Из данного графика для синхронизации необходимо соблюсти три условия: синхронизация фазы, частоты и амплитуды сетей, при этом выдержать определенное время синхронизации для того, чтобы прерыватель успел подать сигнал на контроллер на переключение. Для контроля данных параметров используется реле синхронизации. В этой статье внимание уделено методу точной синхронизации.

Точность синхронизации и расчет допустимой разности напряжений:

Допустимая разность напряжений, позволяющая осуществить синхронизацию, определяется по формуле

$$\Delta U = \Delta I \cdot Z, \quad (1)$$

где Z – полное сопротивление ;

ΔI – допустимая разница тока, который определяется преобразователь частоты;

ΔU – допустимая разница напряжений.

Для анализа требований к синхронизации было выполнено моделирование в программном обеспечении Matlab для двигателя, преобразователя частоты. Двигатель идентифицируется в основном как обычная активно-индуктивная нагрузка, схема модели двигателя с преобразователем частоты и сетью показана на рисунке 3. На схеме слева изображена сеть, справа – преобразователь частоты.

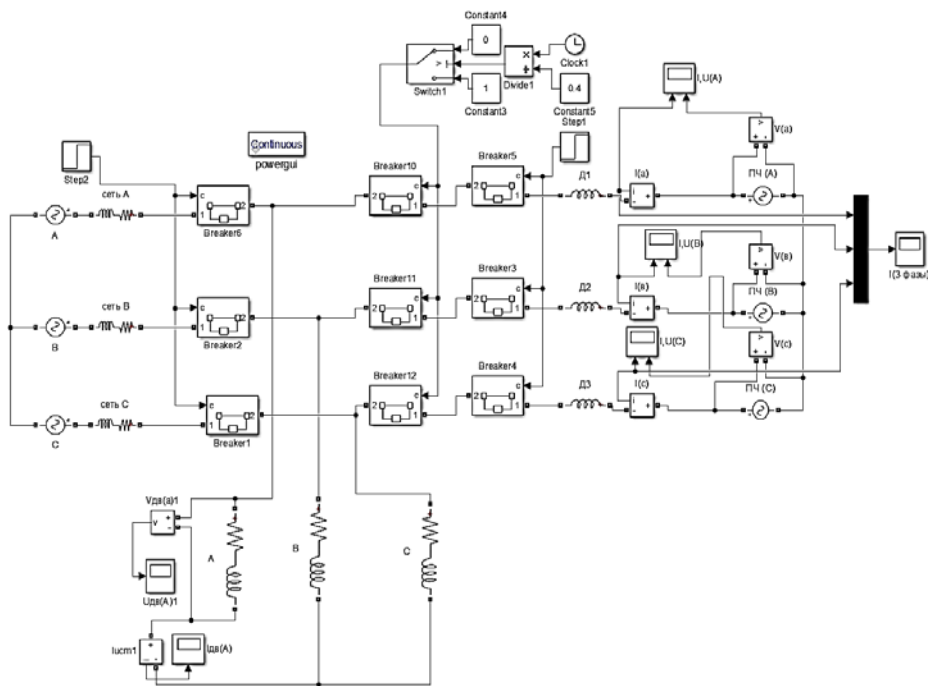


Рисунок 3. Модель системы при синхронизации

Наиболее опасным моментом является момент переключения, когда насос подключён как к частотному преобразователю, так и к основному источнику питания. Если по какой-либо причине параметры обоих источников питания не равны, то может возникнуть чрезмерно большой уравнивающий ток между преобразователем частоты с сетью, что разрушит преобразователь частоты.

В модели приняты следующие параметры двигателя насоса и преобразователя частоты.

Параметры двигателя насоса

Номинальная мощность P_n , 90 кВт;
 Номинальный ток I_n , 160 А;
 Номинальное напряжение U_n , 380В;
 Коэффициент мощности $\cos\varphi$, 0,91.

Параметры преобразователя частоты Sinamics G120 6SL-3224-0BE388UA0

Номинальная мощность P_n , 110 кВт;
 Номинальный ток I_n , 178 А;
 Номинальное напряжение U_n , 400В;
 Перегрузочная способность по току 150 %, в течении 3 сек;
 Предельно допустимый ток 267А в течении 3 сек.

Представлен результат моделирования тока преобразователя при переключении двигателя на сеть (рисунок 4). В процессе синхронизации с сетью ток преобразователя имеет всплеск.

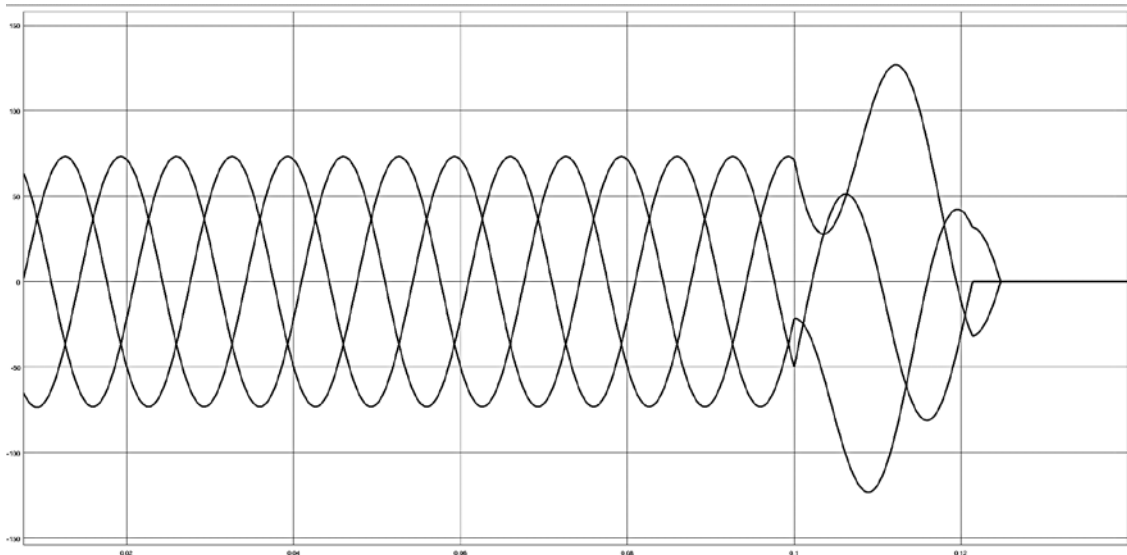


Рисунок 4. Ток преобразователя частоты при переключении двигателя на сеть

Ниже приведены расчёты параметров математической модели.

Расчет эквивалентного сопротивления, замещающего двигатель:

Эквивалентное активное сопротивление:

$$R = \frac{P_H}{I_H^2}. \quad (2)$$

Эквивалентное индуктивное сопротивление:

$$X = \frac{Q_H}{I_H^2}, \quad (3)$$

где $Q_H = \sqrt{S_H^2 - P_H^2}$, $S_H = \frac{P_H}{\cos\varphi}$,

Эквивалентная индуктивность: $L = \frac{X}{\omega}$, $\omega = 2\pi f$, $f = 50$ Гц.

Дроссель на выходе преобразователя выбран из условия падения на нём 5 % напряжения при работе на частоте 50 Гц с номинальным током двигателя.

Для определения параметров $R_{\text{сети}}$ и $X_{\text{сети}}$, входящих в модель, определяются сопротивления короткого замыкания трансформатора [6], питающего установку:

$$X_{\text{сети}} = \frac{U_{\text{кз}}}{100} \cdot \frac{U_H^2}{S_H}, \quad (4)$$

$$R_{\text{сети}} = P_{\text{кз}} \cdot \frac{U_H^2}{S_H^2}, \quad (5)$$

где $U_{к\%}$ – потери напряжения короткого замыкания,
 S_H – номинальная мощность трансформатора,
 $R_{кз}$ – потери короткого замыкания.

Суммарное сопротивление короткого замыкания линии «преобразователь частоты – сеть» Z :

$$Z = \sqrt{R_H^2 + X_H^2} \quad (6)$$

Ток короткого замыкания в момент коммутации:

$$\Delta I_{к} = \frac{\Delta U_{доп}}{Z}, \quad (7)$$

где ΔU – разность напряжений преобразователя и сети, возникающая из-за погрешности синхронизации.

Допустимая разность напряжений преобразователя и сети.

Учитывая приведенные выше параметры двигателя и преобразователя частоты и считая, что в момент синхронизации двигатель нагружен номинальной нагрузкой, оцениваем допустимую величину тока:

$$\Delta I_{к доп} = I_{нпч} - I_{ндв}. \quad (8)$$

Приведена диаграмма векторов напряжений преобразователя частоты $U_{пч1}$, $U_{пч2}$, $U_{пч3}$ и вектора напряжения сети U_c для различных вариантов погрешности синхронизации, но с одинаковым модулем вектора допустимого рассогласования напряжений (рисунок 5). Для вектора напряжения преобразователя $U_{пч4}$ модуль вектора рассогласования напряжений ΔU_4 меньше допустимого.

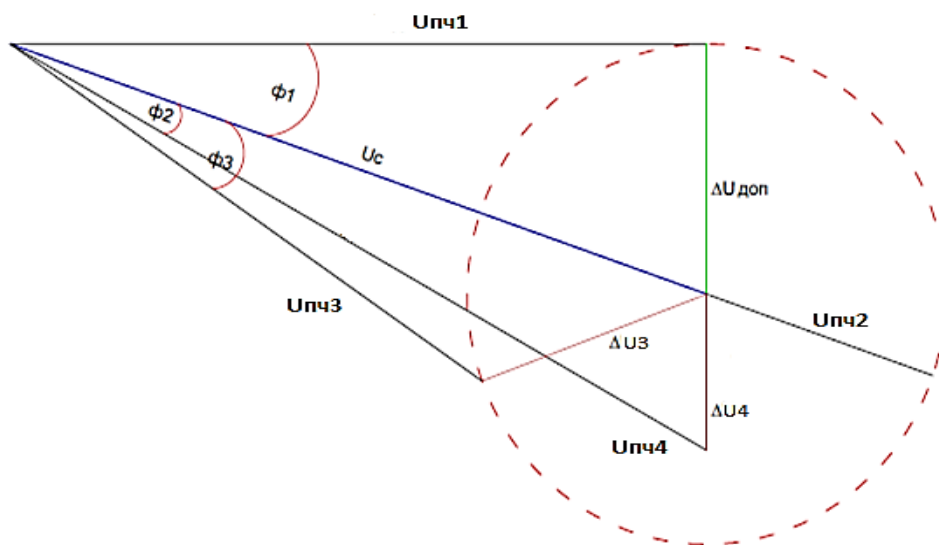


Рисунок 5. Диаграмма векторов напряжений при синхронизации

$U_{пч}$ – Напряжение преобразователя частоты ($U \sin(\omega t + \varphi)$);

U_c – Напряжение сети ($U \sin(\omega t + \varphi)$);

ΔU – Разности амплитуды напряжений $U_{пч}$ и U_c ;

$\Delta U_{доп}$ – вектор допустимого рассогласования напряжений.

$\Phi_{1,2,3}$ – Разность фаз между напряжением преобразователя частоты и напряжением питающей сети.

Для допустимого рассогласования напряжений преобразователя частоты и питающей сети в соответствии с диаграммой (рисунок 5) справедливо следующее соотношение:

$$\Delta U_{доп}^2 = U_{пч}^2 + U_c^2 - 2U_{пч} \cdot U_c \cdot \cos \phi_n. \quad (9)$$

Из соотношения (9) можно определить максимально допустимое фазовое рассогласование напряжений преобразователя частоты и сети:

$$\sin \Phi_1 = \frac{\Delta U_{доп}}{U_{пч}}. \quad (10)$$

Например, для $\Delta U_{доп} = 15$ В и $U_{пч} = 400$ В допустимое фазовое рассогласование равно:

$$\Phi_1 = \arcsin \frac{15}{400} = 2,15^\circ$$

На рисунке 6 приведены зависимости допустимого фазового рассогласования Φ напряжений преобразователя частоты $U_{пч}$ и питающей сети U_c от рассогласования амплитуд этих напряжений для трёх значений модуля вектора допустимого рассогласования напряжений $\Delta U_{доп}$. Известная величина сопротивления короткого замыкания Z контура «преобразователь частоты – питающая сеть» позволит оценить максимальные приращение тока преобразователя в процессе синхронизации.

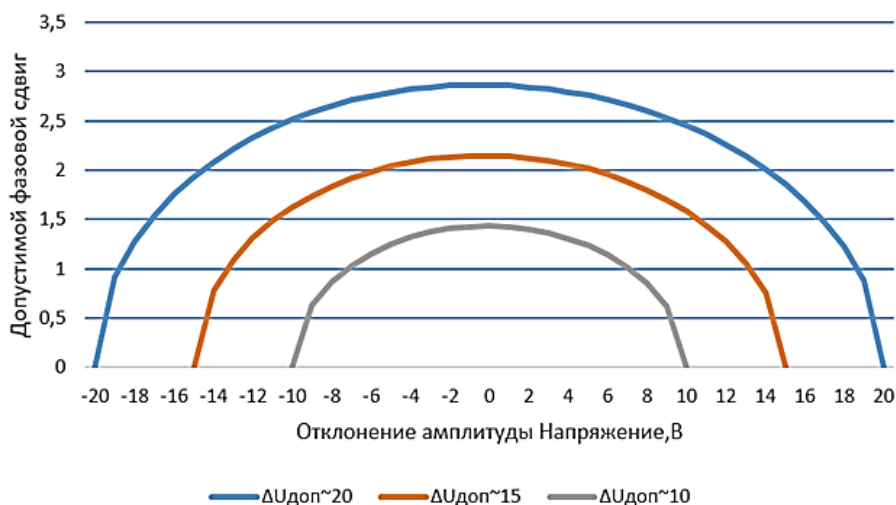


Рисунок 6. Допустимое фазовое рассогласование напряжений преобразователя частоты и питающей сети от рассогласования амплитуд этих напряжений

Требования точности синхронизации с сетью для преобразователя частоты более жёсткие, чем для синхронного генератора. Приведена методика оценки допустимых погрешностей синхронизации, на основании этой методики можно выбрать подходящие реле синхронизации, а также рассчитать параметры защитных дросселей в выходной цепи преобразователя частоты.

В условиях быстрого перехода к энергоэффективным и регулируемым электроприводам вопрос синхронизации возникает довольно часто и имеет серьезное значение даже в области электроснабжения для безопасного переключения мощности между одним источником и другим.

Список литературы:

1. Частотно-каскадное управление электродвигателями на насосных станциях: [сайт]. – 2019. – URL: <https://chistotnik.ru/chastotno-kaskadnoe-upravlenie-elektrodvigatelyami-na-nasosnyh-stanciyah.html/> (дата обращения: 10.04.2023). – Текст : электронный.
2. Эгильский, И. С. Автоматизированные системы управления технологическими процессами подачи и распределения воды / И. С. Эгильский. – Ленинград, 2010. – 216 с. – Текст : непосредственный.
3. Лезнов, Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходушных установках. – М. : Энергоатомиздат, 2006. – Текст : непосредственный.
4. Применение частотного регулирования в квартальных системах водоснабжения: [сайт]. – URL: <https://drives.ru/stati/primenenie-chastotnogoregulirovaniya-v-kvartalnyh-sistemah-teplosnabzheniya/> (дата обращения: 10.04.2023). – Текст : электронный.
5. Мудзамири, А. Г. Безударное переключение насосов между преобразователем частоты и сетью / А. Г. Мудзамири. – Текст : электронный // Энергетика, управление и автоматизация: инновационные решения проблем : Материалы II Всероссийской научно-практической конференции обучающихся и преподавателей. – Научное издание, Санкт-Петербург, 22 декабря 2022 года. Под общей редакцией Т. Ю. Коротковой, сост. М. С. Липатов, Е. Н. Лашина. – Санкт-Петербург : Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, 2023. – С. 53-57. – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_50442371_40109078.pdf (дата обращения: 10.04.2023). – EDN UGHCLW.
6. Ерошенко, С. А. Расчет токов коротких замыканий в энергосистемах : учеб. пособие / С. А. Ерошенко [и др.]. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 104 с. – Текст : непосредственный. – ISBN 978-5-7996-2604-4.

© Мудзамири А. Г., 2023

ВНЕДРЕНИЕ РОБОТИЗИРОВАННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КЛИЕНТСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

начальник отдела «Диспетчерский центр» **Даильнев Андрей Сергеевич**,
младший научный сотрудник отдела «Управление по обеспечению
деятельности и развитию» **Наташкина Елена Анатольевна**,
Центр информационных технологий,
г. Тула, Российская Федерация

Аннотация. В данной статье рассматривается вопрос, связанный с внедрением технологии роботизированной автоматизации процессов в организации. На примере организации Тульской области определяются потребности в устранении ряда операций при помощи современных средств цифровизации. Определены условия работы технологии, роботизированной автоматизации процессов в организации.

Ключевые слова: техническая поддержка, роботизированная автоматизация процессов, цифровизация, технологические решения, информационные технологии.

INTRODUCTION OF ROBOTIC AUTOMATION OF USER TECHNICAL SUPPORT PROCESSES AS A WAY TO IMPROVE THE QUALITY OF CUSTOMER SERVICE

Head of the Department of «Dispatch Center» **Dailnev Andrey Sergeevich**,
Junior Researcher of the Department of «Operations and Development»
Natashkina Elena Anatolyevna,
Information Technology Center,
Tula, Russian Federation

Abstract. This article discusses the issue related to the introduction of the technology of robotic automation of processes in the organization. Using the example of the organization of the Tula region, the needs for eliminating a number of operations with the help of modern means of digitalization are determined. The working conditions of the technology of robotic automation of processes in the organization are determined.

Keywords: technical support, robotic automation of processes, digitalization, technological solutions, information technologies.

Сегодня, когда все больше организаций склоняются к выбору технологических решений, основанных на роботизированной автоматизации процессов, существует необходимость рассматривать процесс цифровизации для

компаний с позиции устранения рутинных операций и усложнения задач для сотрудников. При этом стоит понимать, что данный процесс предполагает рост потребности в более квалифицированных работниках на всех уровнях.

Цифровизация для России стала уже тенденцией [1], которая помимо явных преимуществ помогает и осуществляет политику импортозамещения. Важной составляющей при переходе организации на путь цифровизации является применение возможностей искусственного интеллекта. Современные организации с различной интенсивностью осваивают новейшие передовые технологии, а роботизированные процессы являются их составляющей [2].

Одним из развивающихся каналов коммуникации с потребителем на сегодняшний день является технология роботизированной автоматизации процессов в компаниях. Потенциал таких решений огромен и уже на текущей стадии развития роботизации очевиден. В настоящее время технологии с применением искусственного интеллекта востребованы и необходимы в условиях растущей конкуренции.

Роботизированная автоматизация процессов – это быстро развивающаяся инновационная технология, которая была разработана в начале 2000-х, но широкую популярность и распространение получила лишь в 2014 году, когда зарубежные компании стали объявлять о значительном экономическом эффекте за счет внедрения автоматизации [3].

Технология роботизированной автоматизации процессов наиболее затронула следующие области:

- финансы;
- производство;
- сферу ИТ;
- госсектор;
- транспорт и логистику.

Целесообразность внедрения рассматриваемой технологии в различные сферы деятельности обусловлена возможностью их применения в различных областях для множества задач: от автоматизации отчетности и настройки учетных записей до процессов управления бизнес-процессами, обслуживании клиентов, управления данными и т. д. Кроме того, организации любой сферы могут роботизировать неэффективные процессы, при этом высвобождая работников для решения иных задач.

Основными преимуществами в использовании технологии роботизированной автоматизации процессов являются:

- возможность наращивания скорости при решении повторяющихся и рутинных задач;
- возможность ведения контроля;
- устранение ошибок, связанных с влиянием человеческого фактора;
- возможность одновременного решения нескольких задач;
- повышение скорости принятия решений;
- высвобождение времени на решение других задач;
- повышение качества работы.

Однако явные преимущества не делают данные технологии необходимыми для внедрения во все организации. Так, роботизация все еще ассоциируется с чем-то сложным, отнимающим рабочие места у всех сотрудников. Поэтому и существует цифровое неравенство между регионами, организациями одной сферы.

Процесс, связанный с внедрением данной технологии, состоит, как правило, из следующих этапов:

1. Определение объекта для внедрения или пилотный этап. При этом следует проанализировать, для каких задач и в какое структурное подразделение будет внедрена рассматриваемая технология.

На данном этапе также происходит определение целевой архитектуры, проектируется и тестируется робот.

2. Оценивается влияние технологии на работу объекта. При этом необходимо произвести расчет экономической эффективности данного процесса. Если собрано достаточно подтверждений эффективности внедрения технологии, роботизированной автоматизации процессов, то приобретается специальное программное обеспечение или технология встраивается в имеющееся.

3. Непосредственное внедрение и распространение технологии. Происходит настройка, корректировка робота под определенные цели, оценивается эффективность.

На рисунке представлены типы технологии, роботизированной автоматизации процессов.

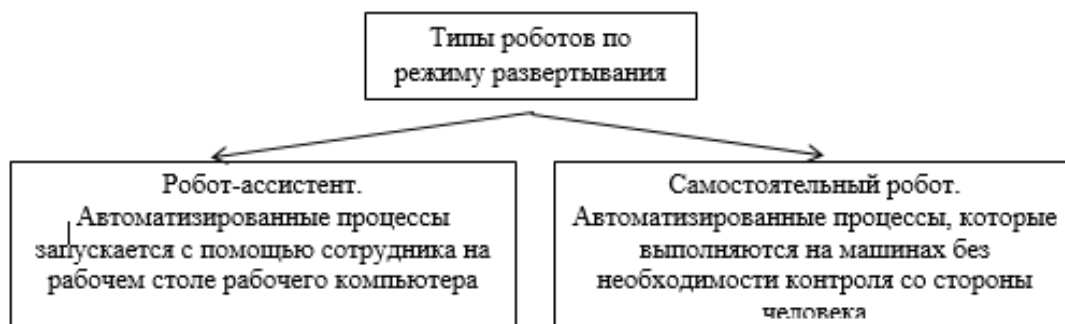


Рисунок. Типы технологии, роботизированной автоматизации процессов [4]

В государственных учреждениях происходит внедрение сервисов, которые являются важными как для государственных структур, так и для населения. В зависимости от распространения цифровизации в регионах РФ данные процессы происходят с неравномерной интенсивностью. В данном случае рассмотрим на примере ГАУ ТО «Центр информационных технологий» как цифровые сервисы могут влиять на деятельность внутри организации, а также на процесс информатизации в регионе в целом.

ГАУ ТО «Центр информационных технологий» внедряет сервисы одинаково важные как для жителей, так и для правительства Тульской области, делает Тульскую область передовым центром высоких технологий. Сотрудники

постоянно заняты решением множества задач, в том числе им поступают тысячи звонков с сотнями технических проблем, которые можно типизировать и передать на поддержку роботу. Без автоматизации техническая поддержка рискует понизить качество обслуживания пользователей.

В связи с этим основной целью на сегодняшний день является освобождение человеческих ресурсов и запуск процесса цифровой трансформации, в том числе с внедрением роботизированной автоматизации процессов.

Ключевой проблемой для исследования и дальнейшего внедрения данной технологии является интеграция роботизированной системы с Servicedesk и корпоративными сервисами. Это достаточно малозатратный инструмент по сравнению с другими программными обеспечениями в области цифровизации и искусственного интеллекта. Окупаемость данной технологии в результате внедрения ее в работу составляет менее 12 месяцев.

Следует определить необходимость внедрения технологии, роботизированной автоматизации процессов в работу технической поддержки пользователей. В целях решения этой задачи можно рассмотреть комплексное решение в формате ее внедрения в процесс приема, регистрации и решения заявок, поступающих в службу поддержки ГАУ ТО «Центр информационных технологий».

Инновационность роботизированной автоматизации процессов заключается в сочетании нескольких смежных технологий, таких как автономные системы, машинное обучение, искусственный интеллект и робототехника. Воспроизводя действия, которые ранее выполнялись сотрудниками, программа работает, используя существующие приложения, получая доступ к веб-сайтам и манипулируя электронными таблицами, документами, формированием отчетов, а также электронной почтой.

В решении этой задачи важно учитывать большое количество аспектов и параметров работы специалистов всех линий технической поддержки.

Функциональные задачи роботизированной автоматизации процессов варьируется от самых простых, таких как автоматический ответ на почтовое сообщение, поступающее в техническую поддержку, уменьшение количества рутинных операций до сложнейших, предусматривающих развертывание тысяч ботов, каждый из которых запрограммирован на автоматизацию определенной задачи. Возможности рассматриваемой технологии можно расширить, если воспользоваться когнитивными методы – средствами машинного обучения, распознавания речи и обработки естественного языка. В связи с цифровизацией многих сервисов систем Правительства Тульской области растет количество обращений, поступающих в службу поддержки, а соответственно, и необходимость в автоматизации бизнес-процесса приема заявок. Технологии роботизированной автоматизации процессов могут совершенствовать процессы, состоящие из 15-20 этапов и более. В этом случае данное решение можно отнести к категории цепочек формирования ценности, основанных на интеллектуальной автоматизации. Технология роботизированной автоматизации процессов способна работать в данном случае при соблюдении следующих условий:

- наличие специалистов для разработки и ведения необходимых сценариев бизнес-процессов;
- наличие роботизированной программы, которая реализует предлагаемые наборы команд.

Технология роботизированной автоматизации работает как цифровой помощник для сотрудников, выполняя обременительные, простые задачи, отнимающие часть рабочего дня офисного работника. В целом рассматриваемая технология позволяет с минимальными затратами на ресурсы переналадить бизнес-процессы на условия сокращения рутинной работы сотрудников [5].

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что технология роботизированной автоматизации процессов становится очень популярным и доступным инструментом для автоматизации процессов службы технической поддержки. На сегодняшний день автоматизация посредством указанных решений экономически обоснована, однако результаты, которые готов предоставить интеллектуальный алгоритм, не всегда удовлетворяют как заказчика, так и потребителя. Необходимо проводить много работ по улучшению качества данной системы, а также ряд исследований этой области.

Список литературы:

1. Даильнев, А. С. Сценарный подход и система управления в создании диалоговых систем / А. С. Даильнев, Е. А. Наташкина. – Текст : непосредственный // Достижения науки и технологий-ДНиТ-11-2023 : Сборник научных статей по материалам II Всероссийской научной конференции, Красноярск, 27–28 февраля 2023 года. – Красноярск : Общественное учреждение «Красноярский краевой Дом науки и техники Российского союза научных и инженерных общественных объединений», 2023. – С. 34-39.
2. Обухова, А. С. Роботизированная автоматизация процессов в финансовом секторе / А. С. Обухова, Я. В. Черных. – Текст: непосредственный // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. – 2020. – Т. 10. – № 5. – С. 166-178.
3. RPA: [сайт]. – 2022. – URL: <https://irpaai.com/what-is-roboticprocess-automation/> (дата обращения: 21.04.2023). – Текст : электронный.
4. Кузьмин, А. А. RPA – Современная технология автоматизации бизнес-процессов / А. А. Кузьмин. – Текст : непосредственный // Наука и образование сегодня. – 2020. – № 5 (52). – С. 8-9.
5. Жернаков, А. Б. Роботизированная автоматизация вспомогательных процессов предприятий радиоэлектронной промышленности РФ в условиях пандемии / А. Б. Жернаков, Д. А. Коган, Е. Д. Семенов. – Текст: непосредственный // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика. – 2020. – Т. 1. – С. 256-263.

© Даильнев А. С., Наташкина Е. А., 2023

**ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ДИАГНОСТИКИ
КОЛЕБАТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА НА ПРИМЕРАХ КРУПНЫХ
ХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

студент **Казаков Эльдар Рауфович**,
науч. руководители: канд. техн. наук, доцент
Ковалёв Дмитрий Александрович,
канд. техн. наук, доцент
Горобченко Станислав Львович,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В статье на основе исследования, проведенного специалистами химического завода Eastman, показаны подходы к совершенствованию работы контуров и устранению общей колебательности, возникающей при работе сложных технологических линий и установок.

Ключевые слова: колебания, контуры, временные тренды, регулирующий клапан, анализ, график, линейность.

**TECHNICAL IMPLEMENTATION OF PROCESS VARIABILITY
DIAGNOSTICS USING EXAMPLES FROM LARGE CHEMICAL PLANTS**

Student **Kazakov Eldar Raufovich**,
Academic Advisors: PhD in Technology, Associate Professor
Kovalev Dmitry Alexandrovich,
PhD in Technology, Associate Professor
Gorobchenko Stanislav Lvovich,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. Based on a study conducted by Eastman chemical plant specialists, the article shows approaches to improving the operation of circuits and eliminating the overall oscillation that occurs during the operation of complex process lines and plants.

Keywords: oscillations, loops, time trends, control valve, analysis, graph, linearity.

Известной проблемой запуска крупных технологических установок, а также и в целом их устойчивой и стабильной работы является отработка многих контуров управления с целью обеспечения согласованного выполнения команд. Так, многие химические комбинаты и нефтеперерабатывающие заводы могут

выходить на режим до 4-х и более месяцев. Во многом это связано с недостаточным учетом особенностей совместной работы контуров управления и отсутствием опыта технической реализации имеющихся инструментов диагностики и настройки контуров управления [1].

На рисунке 1 показана технологическая схема завода Eastman, который содержит три дистилляционные колонны, два декантера и несколько контуров рециркуляции.

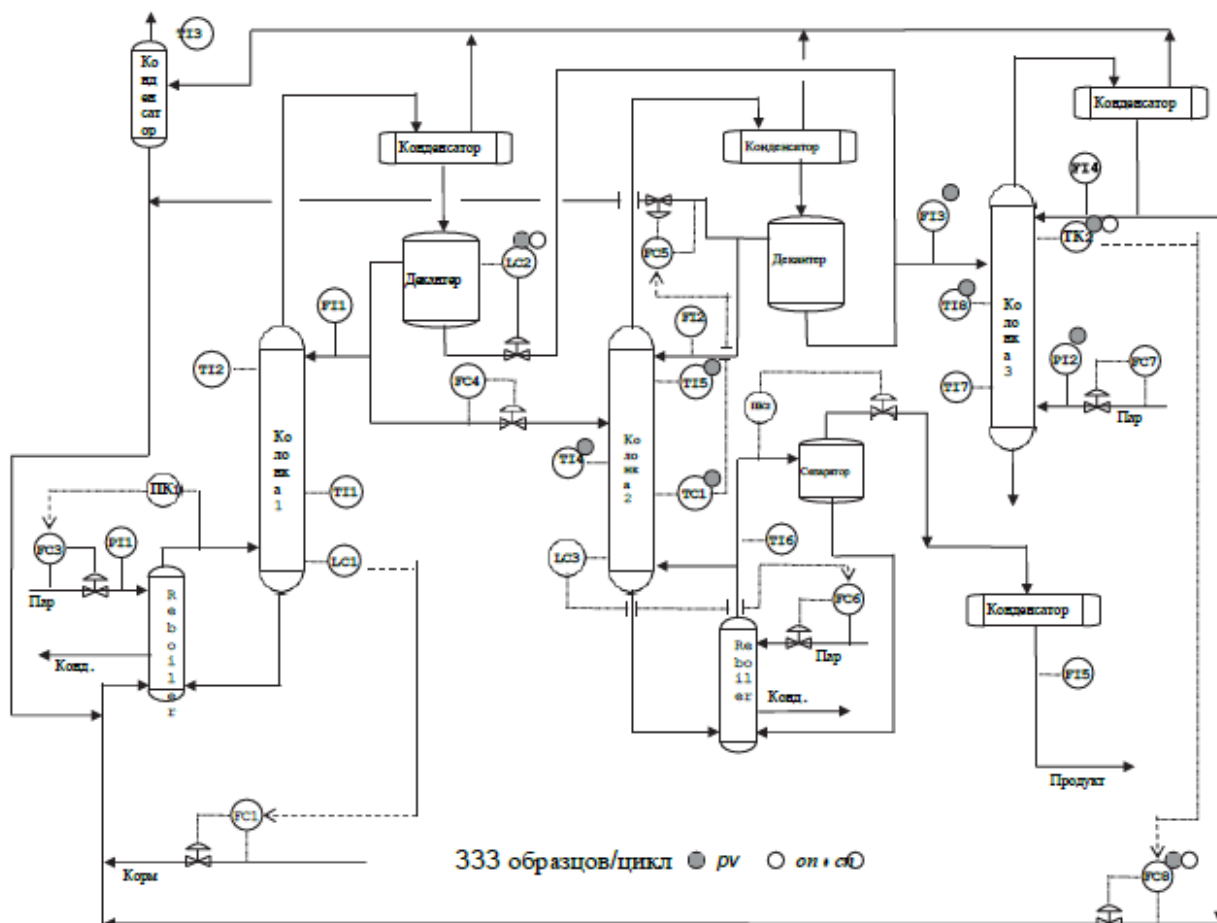


Рисунок 1. Схема процесса компании Eastman Chemical Company

На схеме имеется 15 контуров управления и 15 измерительных контуров с индикацией показателей приборов. Имеется восемь регуляторов расхода. Шесть из них имеют каскадную конфигурацию. Требованием предприятия было обеспечение диагностики возмущений и колебаний технологического процесса с периодом около 2 ч. Торнхилл и др. [2] проводили диагностику всей установки, используя обнаружение нелинейности с помощью анализа по отклонениям от эталонных рядов, и подтвердили, что первопричиной была чрезмерная мертвая зона в регулирующем клапане LC2.

Описание данных.

Данные о возмущениях в процессе собирались с периодом выборки 20 с в течение 2 дней. Таким образом, для каждого тэга (позиции) имеется 8640 выборок. Набор данных содержит 48 переменных: 14 переменных процесса (*pvs*), 14 выходов контроллера (*ops*), 15 индикаторных переменных и 5

заданных точек каскадного контура (*sps*). Временные тренды и спектры частот, разделенных по мощности, показаны на рисунках 2, 3, 4.

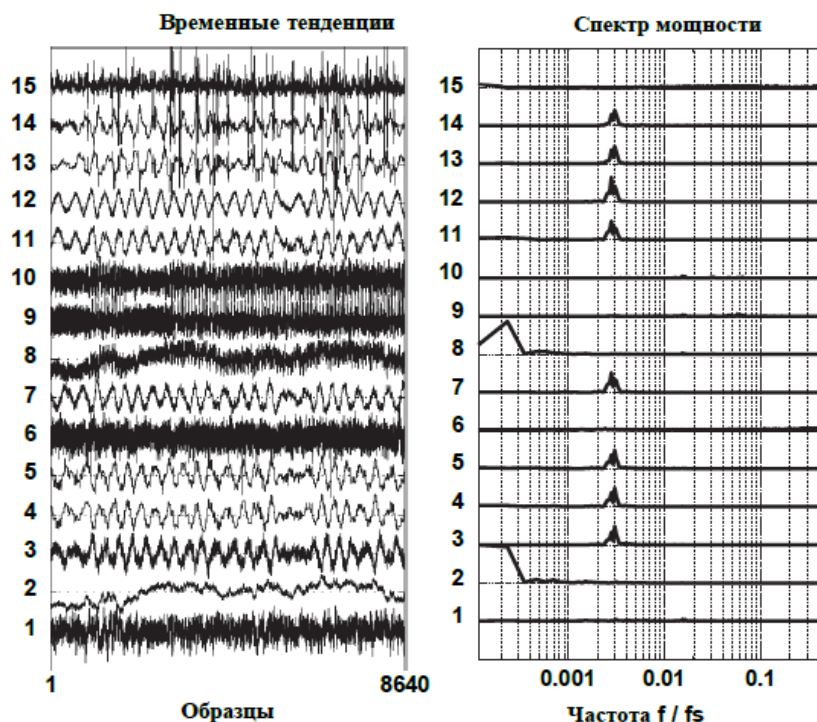


Рисунок 2. Временные тренды и спектры мощности 15 переменных

На рисунке 2 показаны временные тренды и спектры мощности 15 переменных (*pvs*). Спектры частот по мощности имеют пик, показывающий наличие колебаний (осцилляций) при 0,003 на оси нормализованных частот, что соответствует колебаниям с периодом 333 измерений/цикл, т. е. 111 мин или почти 2 ч. Это колебание распространялось по всей технологической установке и повлияло на многие переменные в процессе.

Уменьшение колебательности.

Торнхилл и др. [3] провели обнаружение общезаводского колебания с последующим анализом нелинейности на временных точках измерений 18 контуров управления и показателей, на которые повлияла общая колебательность технологического режима всей линии.

Изучение конкретного сигнала ошибки для каждого контура управления облегчает анализ проблемы, поскольку в этом случае алгоритм обнаружения колебаний не обнаружит колебаний для тех контуров, у которых *sp* и *pv* колеблются в фазе. Например, на рисунке 2 или 3 показано, что восемь контуров управления колеблются с частотой 0,003 цикла/выборку (или около 333 выборки/цикл, почти период 2 ч). Однако спектральные пики на 0,003 на оси нормированных частот для сигнала ошибки управления на рисунке 4 показывают, что только четыре контура (LC1, TC1, LC2 и TC2) имеют колебания с частотой 0,003 цикла/выборку в сигнале ошибки контроллера. Поэтому в качестве первой попытки диагностировать первопричину этого колебания следует исследовать эти четыре контура управления [4].

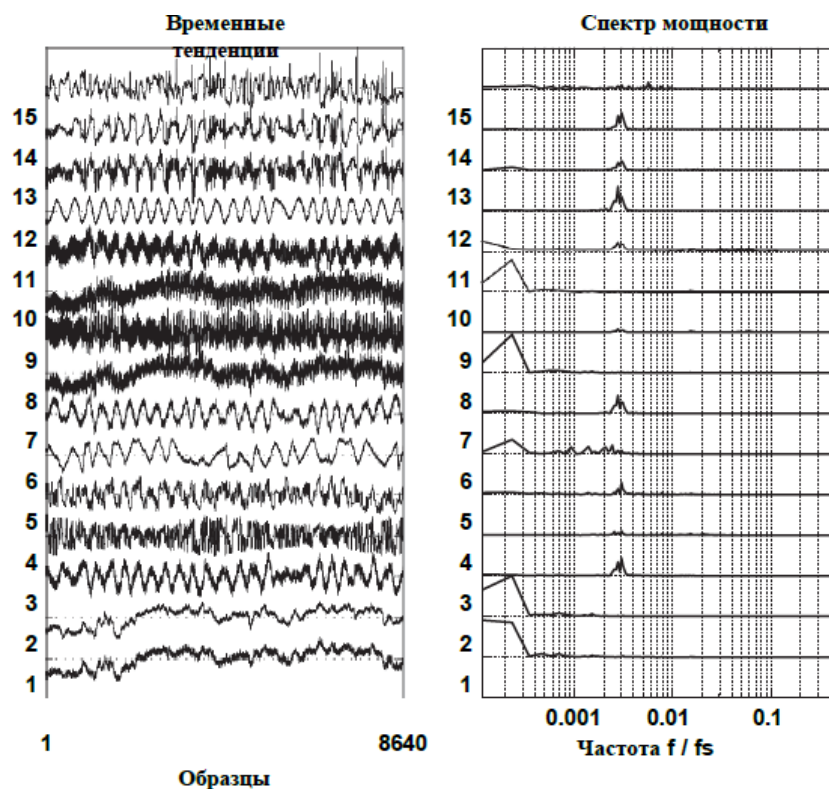


Рисунок 3а. Временные тренды и спектры мощности 15 выходов контроллера

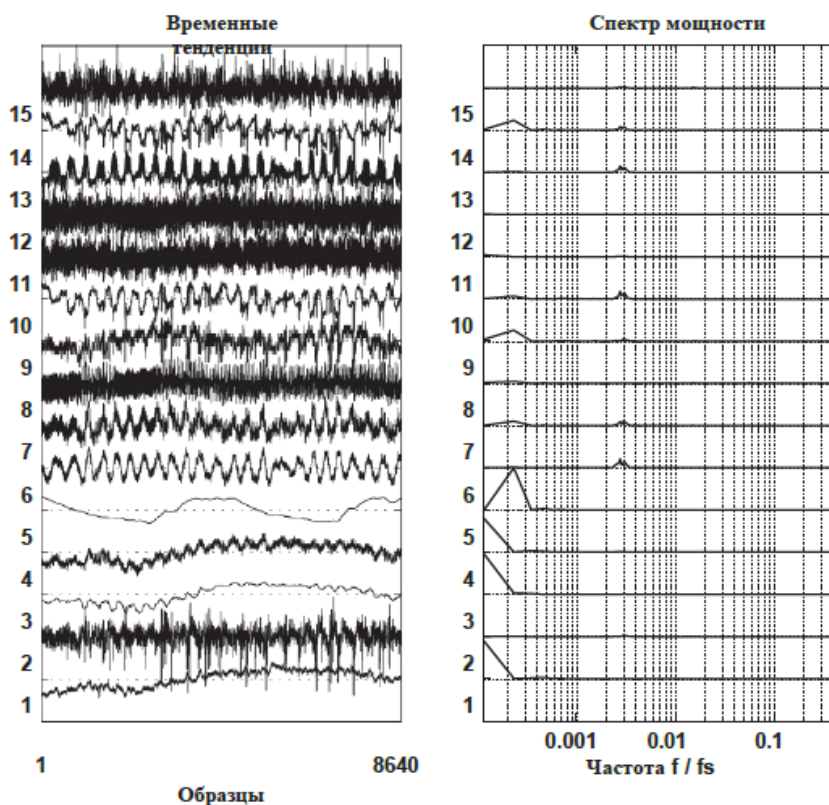


Рисунок 3б. Временные тренды и спектры мощности 15 индикаторных переменных

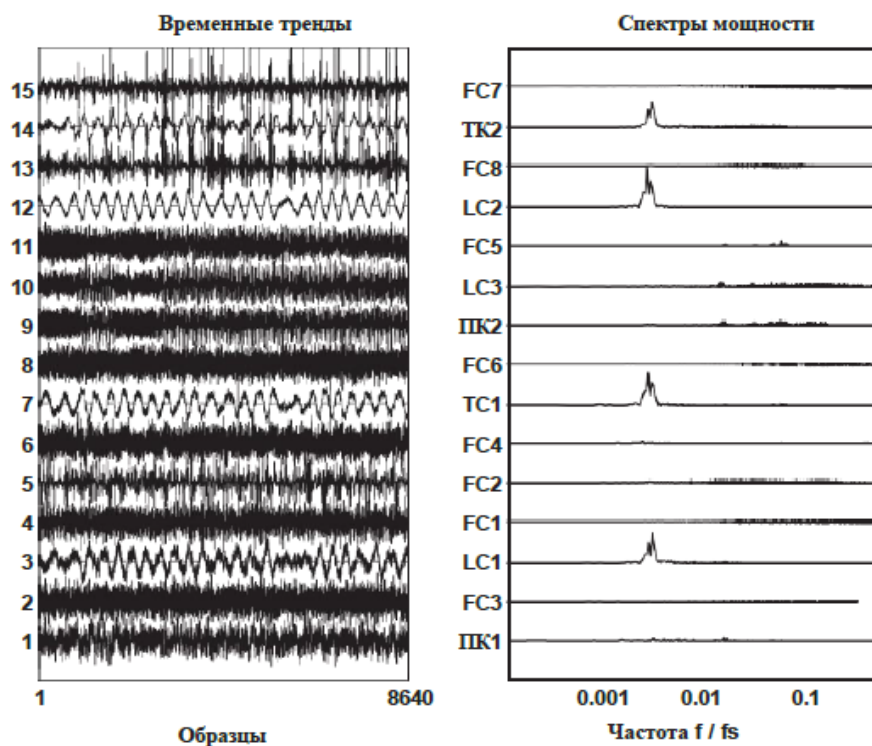


Рисунок 4. Временные тренды и спектры мощности 15 сигналов ошибки контроллера

Обнаружение колебаний в масштабах всей технологической линии с помощью карты спектральной корреляции мощности (PSC MAP).

На рисунке 5 показана карта спектральной корреляции мощности (PSC MAP) 15 переменных ошибок. Блок в левом нижнем углу подтверждает, что спектры LC1, TC1, LC2 и TC2 (номера тэгов 3, 7, 12 и 14) сильно коррелируют и имеют схожие колебания. Спектры FC2, LC3 и FC5 (номера тэгов 9, 10 и 11) также хорошо коррелируют друг с другом, но далее не рассматриваются, поскольку эти три контура не имеют частоты колебаний, для которых предназначен этот тест по поиску неисправностей, как видно из рисунка 4 [5].

Анализ нелинейности с использованием индексов на основе бикогерентности.

Анализ нелинейности был выполнен на четырех сигналах ошибки контроллера, которые показывают колебательность при 333 выборках/цикл. Данные были отфильтрованы с помощью полосового фильтра Винера с границами (0,001-0,1) циклов/выборку, чтобы исключить влияние других колебаний. Затем отфильтрованные данные были уменьшены в 10 раз, чтобы сделать их пригодными для использования с параметрами алгоритма расчета бикогерентности. При уменьшении выборки данных в 10 раз период колебаний уменьшается приблизительно до 34 выборок/цикл. Таким образом, сегмент данных из 128 выборок содержит достаточное количество циклов колебаний для проведения статистического анализа более высокого порядка [6].

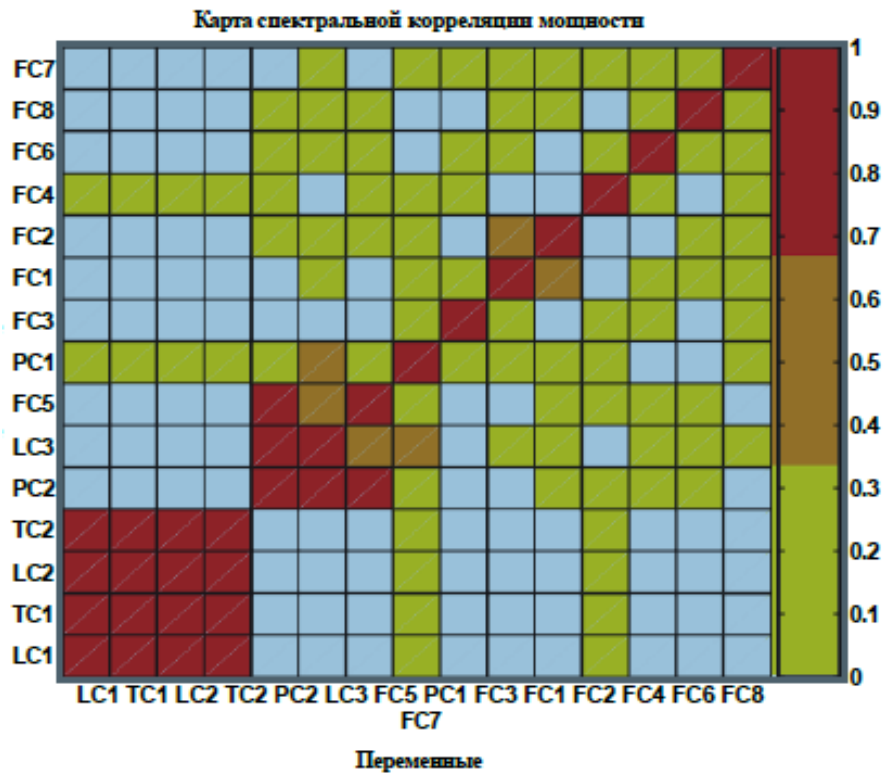


Рисунок 5. Карта спектральной корреляции мощности (PSC MAP) для 15 сигналов ошибок контроллера

Результаты этого анализа колебаний показаны в таблице. Поскольку значения *NGI* и *NLI* больше 0, все четыре контура имеют нелинейность. Общий индекс нелинейности (*TNLI*) показывает степень нелинейности в каждом контуре. Тэг *LC2* имеет самую высокую нелинейность. Поэтому, исходя из предположения о наличии наибольшей нелинейности вблизи выявленной первопричины, можно сделать вывод, что эта петля является первопричиной колебательности всей технологической линии. Обнаружено такое же совпадение, как и в анализе, проведенном в работе Торнхилла и др. [7].

Таблица – Результаты анализа нелинейности для данных химического завода Eastman

<i>Название тега</i>	<i>NGI</i>	<i>NLI</i>	<i>TNLI</i>
LC1	0,048	0,3	0,297
ПК1	0,178	0,43	0,428
LC2	0,202	0,57	0,902
ПК2	0,068	0,32	0,636

Диагностика проблемы в контуре *LC2*.

На рисунке 6 показаны диагностические графики для петли *LC2*, которая имела самое высокое значение *TNLI*.

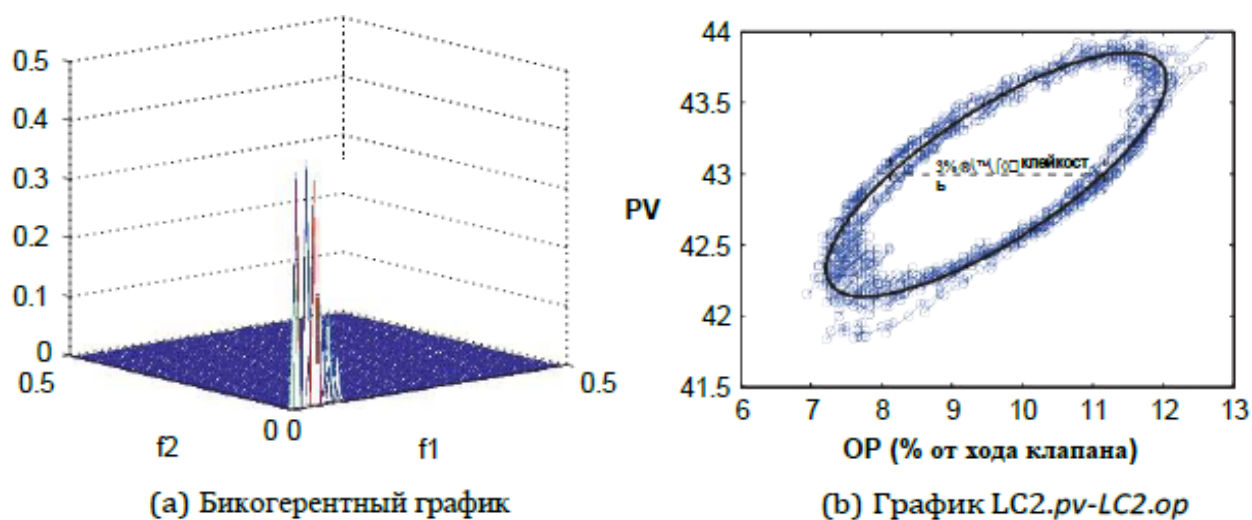


Рисунок 6. Графики а, б диагностики колебаний для контура LC2

Рисунок 6(а) показывает, что на графике бикогерентности имеются значительно большие пики, указывающие на нелинейную петлю. Значения NGI и NLI для этой петли, приведенные в таблице, составляют 0,20 и 0,57, соответственно, что ясно указывает на нелинейность петли. После обнаружения нелинейности контура необходимо проверить, вызвана ли она заеданием регулирующего клапана или другой нелинейностью процесса [8].

На рисунке 6(б) показан график *pv-or* для этой петли. График показывает эллиптическую траекторию, указывающую на наличие заедания в регулирующем клапане или фазовый сдвиг между *pv* и *or* в линейном контуре. Индексы NGI и NLI показали, что это не линейная петля. Поэтому эллиптический рисунок на графике *pv-or* обусловлен заеданием клапана. Кажущееся заедание клапана составляет приблизительно 3% [9].

При этом необходимо обратить внимание, что график *pv-or* можно исследовать только после успешного обнаружения нелинейности в контуре. Поэтому график *pv-or* не следует использовать только для обнаружения нелинейности. Он должен использоваться в сочетании с тестом на нелинейность.

Подобные результаты диагностики первопричины также обсуждались в работе [2]. Было сообщено, что регулирующий клапан контура LC2 страдал от проблемы высокого статического трения или заедания [2]. Было подтверждено, что регулирующий клапан вызвал колебания переменной LC2.pv. Колебания прошли через контроллер обратной связи и заставили выход контроллера LC.op также колебаться. После этого колебания распространились на контур регулирования температуры TC1 во второй дистилляционной колонне и вызвали колебания температуры. Именно по этой причине индикатор температуры TI4.pv и управляющая переменная TC1.pv также имели колебания.

Таким образом, системный подход и имеющиеся процедуры поиска первопричин колебательности, отмечаемые в технологических установках крупных химических предприятий, могут с достаточной степенью точности

выявить и локализовать колебания. Они во многом связаны с работой регулирующих клапанов [10].

Для определения причин колебательности необходимо выявить и сгруппировать переменные, на которые влияет вызывающий беспокойство частотный спектр [11]. Если предполагается, что причиной колебаний является нелинейность, то для выявления вероятных кандидатов в первопричины можно применить методы определения нелинейности на основе статистики более высокого порядка или методы определения нелинейности на основе сравнения с эталонными данными. После этого для подтверждения первопричины необходимо получить дополнительную информацию о процессе в сочетании с дальнейшим анализом или тестами.

Список литературы:

1. Shoukat, M. A., Shah, L., Thornhill, N. F. (2008) *Diagnosis of Process Nonlinearities and Valve Stiction Data Driven Approaches* Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
2. Thornhill, N. F., Cox, J. W., Paulonis, M. A. (2003) Diagnosis of plant-wide oscillation through data-driven analysis and process understanding. *Control Engineering Practice*. 11 (12), 1481-1490.
3. Горобченко, С. Л. Критические контуры регулирования в технологии бумагоделательного производства и регулирующая арматура / С. Л. Горобченко, Д. А. Ковалев. – Текст : непосредственный // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. – 2021. – № 4. – С. 125-132. – DOI 10.46418/2079-8199_2021_4_20. – EDN XYXUAC.
4. Choudhury, M. A. (2008) *Diagnosis of Process Nonlinearities and Valve Stiction*. QSpringer-Verlag Berlin Heidelberg.
5. Кондрашкова, Г. А. Метрологический анализ систем измерения и управления / Г. А. Кондрашкова, И. В. Бондаренкова, А. В. Черникова. СПб. : ВШТЭ СПбГУПТД, 2017. – 134 с. – Текст : непосредственный.
6. Schreiber, T. (2000) Measuring information transfer. *Physical Review Letters*. 85, 461-464.
7. Тотухов, Ю. А. Гидравлический анализ технологических схем ЦБП с целью повышения качества регулирования и отсечки / Ю. А. Тотухов, В. Н. Суриков, С. Л. Горобченко. – URL: <http://www.valverus.info/popular/3001-idravlicheskiy-analiz-tehnologicheskikh-shem-cbp.html> (дата обращения: 19.11.2023). – Текст : электронный.
8. Ковалев, Д. А. К вопросу применения диагностических моделей для систем автоматического управления объектами целлюлозно-бумажной промышленности / Д. А. Ковалев, Г. А. Кондрашкова, Л. А. Русинов. – Текст : непосредственный // «Энергетика, экология и бизнес» : Материалы ежегодной III Международной научно-практической конференции обучающихся и преподавателей. В 3-х частях, Санкт-Петербург, 31 мая 2019 года / Под общ. ред.

Т. Ю. Коротковой. Том Часть 1. – Санкт-Петербург : Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД, 2019. – С. 86-89.

9. Новикова, М. А. О роли автоматической арматуры в формировании нелинейности системы управления и колебательности технологического процесса / М. А. Новикова, С. Л. Горобченко, Д. А. Ковалёв. – Текст : непосредственный // Журнал ТПА. – 2022. – № 6. – С. 61-63.

10. Суриков, В. Н. Повышение эффективности применения регулирующей арматуры в современных системах управления технологическими процессами / В. Н. Суриков, С. Л. Горобченко, Д. А. Ковалев // Вестник СПГУТД. Серия 1. – 2020. – № 4. – С. 105-111. – DOI 10.46418/2079-8199_2020_4_18. – EDN FWSQWZ.

11. Bauer, M., Thornhill, N. F., Meaburn, A. (2004) Specifying the directionality of fault propagation paths using transfer entropy. *In: DYCOPS 7 Conference. Boston, USA.*

© Казаков Э. Р., 2023

ПОСТРОЕНИЕ ПРОГРАММЫ АВТОМАТИКИ ПО ВЫДАННОМУ ТЕХНИЧЕСКОМУ ЗАДАНИЮ

магистрант **Чигин Александр Сергеевич**,
магистрант **Машаров Николай Георгиевич**,
канд. техн. наук, доцент **Старостина Ярослава Константиновна**,
Ульяновский государственный технический университет,
г. Ульяновск, Российская Федерация

Аннотация. При планировании любой новой автоматизированной системы необходимо правильно учесть все моменты работы установки. Для понимания и более корректной работы программы инженерами составляется техническое описание установки, а программистам выдается техническое задание, по которому они составляют алгоритм работы системы. Чем лучше и точнее будет описание, тем проще сделать качественную программу.

Ключевые слова: автоматизация, FBD, CoDeSys, программа автоматике, работа насосов, написание программы.

AN AUTOMATION PROGRAM CONSTRUCTION ACCORDING TO THE ISSUED TECHNICAL TASK

Master Student **Chigin Alexander Sergeevich**,
Master Student **Masharov Nikolay Georgievich**,
PhD in Technology, Associate Professor
Starostina Yaroslava Konstantinovna,
Ulyanovsk State Technical University,
Ulyanovsk, Russian Federation

Abstract. When planning any new automated system, it is necessary to properly take into account all aspects of the installation. For understanding and more correct operation of the program, engineers compile a technical description of the installation, and for programmers a technical task is issued, according to which they make up the algorithm of the system, the better and more accurate the description, the easier it is to make a high-quality program.

Keywords: automation, FBD, CoDeSys, automation program, pump operation, program writing.

При создании новой системы и ее последующей автоматизации необходимо детально продумать множество параметров. Разработка такой установки требует много времени и специалистов из разных сфер, каждый из которых выполняет свою роль в построении системы. Следовательно, очень важно, чтобы при переходе работы и информации от одного человека к другому все хорошо понимали задачи новой, строящейся автоматизированной системы.

В данной статье рассмотрена работа специалиста по программированию с выданным техническим заданием (ТЗ), которое составляется инженерами. Будет показан обзор работы от лица человека, пишущего программу будущей автоматизированной системы по заданному описанию.

Техническая задача:

Поддержание давления в баллоне-резервуаре, который снабжает воздухом пневмоинструменты на сборочной конвейерной линии. Потребление воздуха непостоянно и варьируется от нулевой до максимальной нагрузки. В пиковой нагрузке давление в системе падает. Необходимо поддерживать давление в системе от 5 и до 10 атмосфер для корректной работы инструмента.

Система представлена двумя насосами. Первый насос является основным и более мощным, второй – вспомогательный и включается при аварийном снижении давления в системе. Необходимо вывести индикацию лампами о состоянии давления в системе: критическое и нормальное рабочее состояние.

Способ управления для оператора: кнопка «старт» и «стоп» для запуска и остановки системы.

Получив техническое задание и описание установки, необходимо представить всю работу системы и продумать возможные нюансы и проблемы. После выписать тезисно все важные моменты из задания: что автоматизируется, чем возможно управлять, какими средствами оно осуществляется и в каких пределах допускается.

В объектах:

2 насоса: 1 – основной (более мощный), 2 – резервный;

2 сигнальных лампы: 1 – нормальное давление, 2 – аварийное давление.

Изменяемые параметры: давление в баллоне-резервуаре будет изменяться. Информация об этом поступает в программу в числовом значении через датчик давления, находящийся в самом баллоне.

Пределы: 5 атмосфер – нижний порог давления в баллоне-резервуаре,

10 атмосфер – верхний порог давления в баллоне-резервуаре.

Кнопки управления оператора: «старт» и «стоп».

Обозначив для себя основные моменты в написании программы, человек гораздо проще ориентируется, так как текста для анализа становится меньше и нужные данные всегда находятся перед глазами.

В начале написания программы лучше всего сделать несколько набросков алгоритма на бумаге. Так удобнее дорабатывать неточности алгоритма и синтаксис языка программирования не будет визуально усложнять написание.

Сделав предварительный алгоритм на бумаге, можно приступить к написанию программы на компьютере. Если схема на бумаге была хорошо продумана, то при «оцифровке» и соблюдении программного синтаксиса не будет проблем с работой программы.

Перейдем к разбору работы программы автоматизации по данному техническому заданию на языке FBD.

0001	PROGRAM PLC_PRG
0002	VAR
0003	Triger: RS;
0004	Start: BOOL;
0005	Stop: BOOL;
0006	A: BOOL;
0007	P: REAL;
0008	N1Stop: BOOL;
0009	N1Work: BOOL;
0010	N2Work: BOOL;
0011	N2Stop: BOOL;
0012	Lamp1: BOOL;
0013	Lamp2: BOOL;
0014	END_VAR

Рисунок 1. Объявление переменных в программе

Для лучшего понимания программы расписывается обозначения переменных (рисунок 1):

Start: Кнопка «старт» на панели оператора;

Stop: Кнопка «стоп» на панели оператора;

A: Программное обозначение работы системы;

N1Stop: Остановка 1 насоса;

N1Work: Работа 1 насоса;

N2Work: Работа 2 насоса;

N2Stop: Остановка 2 насоса;

Lamp1: Сигнальная лампа о нормальном давлении;

Lamp2: Сигнальная лампа об аварийном давлении.

Все вышеперечисленные переменные имеют тип «BOOL», что обозначает логические 0 или 1, отсутствие или подача сигнала. Для выполнения функций, возложенных на эти переменные, этого будет достаточно.

P: Давление в баллоне-резервуаре

Только у этой переменной тип «REAL», поскольку ее значение может быть в нецелых числах.

В сложных и больших программах необходимо ставить пометки, комментарии и пояснения, чтобы упростить работу и избежать ошибок. Также в будущем эта дополнительная информация поможет специалистам разобраться с работой системы.

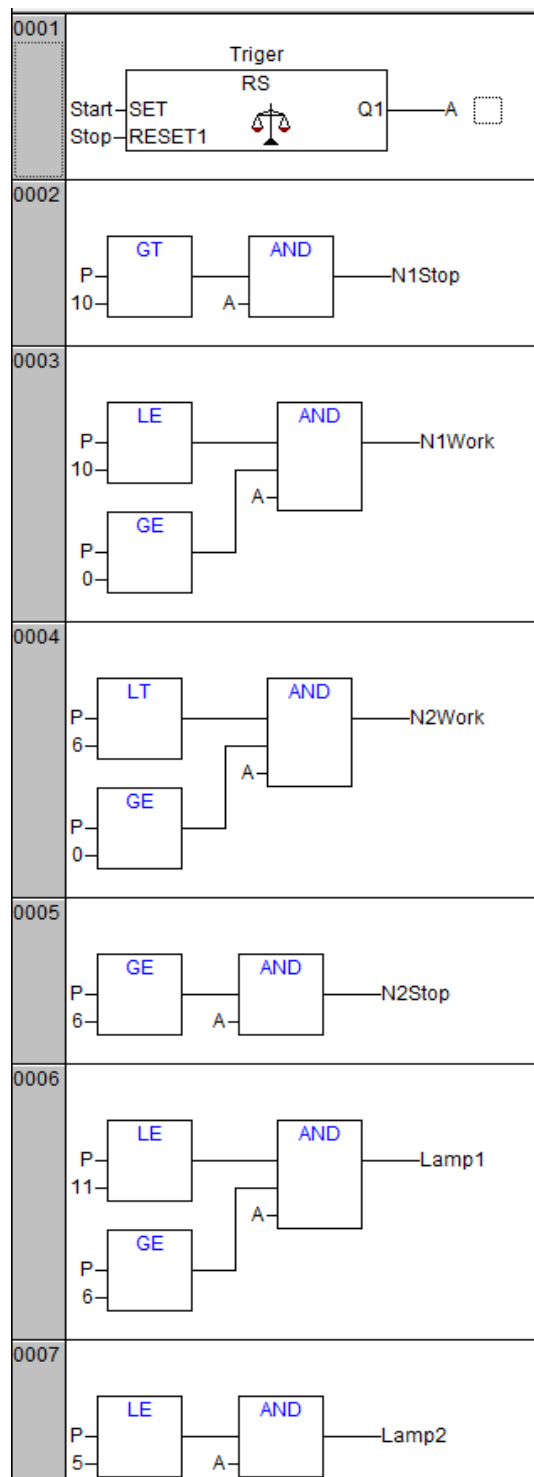


Рисунок 2. Алгоритм данного технического задания в программной среде CoDeSys на языке программирования FBD

Разбор работы блоков в программе (рисунок 2):

1. С помощью RS триггера реализуется запуск установки. Оператор, нажав и отпустив кнопку «старт», активирует выход А, запускающий систему. Он будет активен, пока не нажмут кнопку «стоп».

2. Сравнение текущего давления в системе с максимально допустимым (10 атмосфер в нашем случае), если превышает, то происходит остановка основного насоса.

3. Сравнение текущего давления в системе с рабочим (от 0 (при самом начале работы) до 10 атмосфер), если давление в данном пределе, то подача сигнала на основной насос (работа 1 насоса).

4. Сравнение текущего давления в системе с аварийным (в техническом задании аварийное давление ниже 5 атмосфер. Чтобы не допустить таких значений, начало активации аварийного насоса взято начиная с 6 атмосфер), если давление в данном пределе от 0 до 6 атмосфер, то подается сигнал для активации работы второго насоса.

5. Сравнение текущего давления в системе с аварийным, если превышает или равна 6 атмосферам, то происходит остановка резервного насоса.

6. Сравнение текущего давления в системе с нормальным рабочим (6 – 10 атмосфер), если значение в данном пределе, то горит первая индикаторная лампа, говорящая о нормальной работе системы.

7. Сравнение текущего давления в системе с аварийным, если значение ниже или равно 5 атмосфер, то горит вторая индикаторная лампа, говорящая об аварийном режиме работы.

В процессе работы данная программа будет поддерживать давление в баллоне-резервуаре на уровне 10 атмосфер и после отключаться. Из-за своевременного включения резервного насоса, давление в системе не будет ниже критического значения в 5 атмосфер [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Благодаря четко обозначенному техническому заданию, пониманию работы новой системы и выявлению всех важных моментов можно написать корректно работающую программу с меньшими усилиями и большей эффективностью.

Список литературы:

1. Бородин, И. Ф. Автоматизация технологических процессов и системы автоматического управления (ССУЗ) / И. Ф. Бородин. – М. : Колос, 2006.п – 352 с. – Текст : непосредственный.
2. Брюханов, В. Н. Автоматизация производства. / В. Н. Брюханов. – М. : Высшая школа, 2016. – 367 с. – Текст : непосредственный.
3. Ключев, А. С. Автоматизация настройки систем управления / А. С. Ключев, В. Я. Ротач, В. Ф. Кузицин. – М. : Альянс, 2015. – 272 с. – Текст : непосредственный.
4. Мауэргауз, Ю. Е. Автоматизация оперативного планирования в машиностроительном производстве / Ю. Е. Мауэргауз. – Москва : Экономика, 2007. – 285 с. – Текст : непосредственный.
5. Аветисян, Д. А. Автоматизация проектирования электрических систем. / Д. А. Аветисян. – М. : Высшая школа, 2005. – 511 с. – Текст : непосредственный.
6. Шишмарёв, В. Ю. Автоматизация технологических процессов : Учебник / В. Ю. Шишмарёв. – М. : Академия, 2018. – 208 с. – Текст : непосредственный.

ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ

студент **Арабаджи Данила Олегович**,
науч. руководитель: канд. ф.-м. наук, доцент

Демина Маргарита Юрьевна,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Использование солнечной энергии для повышения температуры воздуха за счет пассивного солнечного отопления через окно и решение практической задачи с определением потока солнечного излучения для нагрева воздуха в помещении, а также расчет количества времени для средних широт в дневное время суток, необходимого для повышения температуры.

Ключевые слова: температура, солнечная энергия, солнечное излучение, солнечное отопление, энергия, пассивное отопление.

USE OF SOLAR ENERGY FOR HEATING

Student **Arabadzhi Danila Olegovich**,
Academic Advisor: PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor
Demina Margarita Yurievna,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. Using solar energy to heat air through passive solar heating through a window and solving a practical problem with determining the flux of solar radiation to heat air into a room, as well as calculating the amount of time for mid-latitudes during the daytime required to increase the temperature.

Keywords: temperature, solar energy, solar radiation, solar heating, energy, passive heating.

Применение возобновляемых источников энергии (ВИЭ) для систем теплоснабжения является актуальным и весьма перспективным в настоящее время при условии грамотного подхода к данному вопросу, т. к. традиционные источники энергии (нефть, газ и т. п.) не безграничны. В связи с этим многие страны переходят на использование экологически чистых возобновляемых источников энергии, одним из которых является теплота солнечного излучения.

Есть 2 вида солнечного отопления: пассивное и активное.

Активные солнечные отопительные системы отличаются тем, что используют механические устройства, такие как насосы, коллекторы и резервуары для хранения тепла [1, 2].

Пассивное солнечное отопление относится к технике использования доступной энергии для поддержания дома в тепле зимой. При таком подходе стены, окна и полы дома должны быть продуманно спроектированы. Для сбора и хранения тепла от солнца в дневное время и постепенного распределения его в каждой комнате [3, 4].

При дальнейшем решении задачи будет использовано пассивное солнечное отопление, нагрев воздуха в помещении за счет солнечного излучения.

В пассивном солнечном отоплении не используются активные механизмы для сбора или распределения солнечного тепла по жилым помещениям. Это включает в себя:

- 1) строительство комнат с большими окнами, обращенными к солнцу, чтобы впустить солнечную энергию в комнаты;
- 2) использование бетонных полов и термомассы для сбора и хранения тепла;
- 3) нанесение толстой воздухо непроницаемой изоляции на наружные стены для герметизации при нагревании;
- 4) открытие и закрытие окон и вентиляционных отверстий для регулирования температуры;
- 5) использование изолированных жалюзи, занавесок или жалюзи для удержания тепла в холодную погоду.

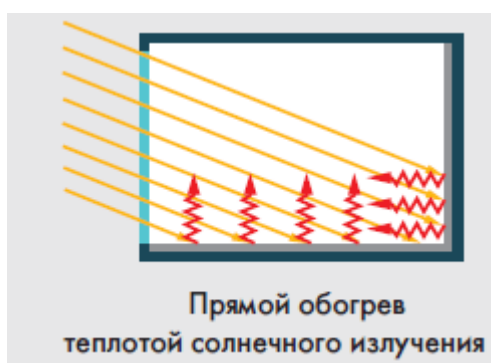


Рисунок 1. Обогрев дома солнечным излучением

В работе представлен пример использования солнечной энергии для повышения тепла в доме. Выполним расчеты теплового потока для дома, где крыша и стены хорошо изолированы и все потери тепла происходят через окно. Задачей будет определить необходимый поток солнечного излучения, чтобы нагреть воздух через окно в помещении на $\Delta T = \Delta t = 14^{\circ}C$ выше наружного, принимаем:

температура окружающей среды $t_{окр} = 10^{\circ}C$,

коэффициент поглощения $\tau_0 = 0,9$,

пропускная способность $\tau_1 = 0,9$,

сопротивление теплопотерям $R = 0,07 \text{ Вт}^{-1} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{К}$.

Мощность тепловых потерь при расчете на 1 м² окна определяется по формуле:

$$q_- = \frac{T_n - T_{окр}}{R} = \frac{\Delta T}{R}, \quad (1)$$

где T_n – температура внутри помещения,

$T_{окр}$ – температура окружающей среды (снаружи).

Обозначим G – плотность потока энергии солнечного излучения. Принимаем, что внутрь помещения попадает плотность потока энергии, равная

$$q_+ = \tau_0 \tau_1 G. \quad (2)$$

Минимальная плотность потока солнечной энергии, необходимой для нагрева помещения до температуры, на $\Delta t = 14^0 C$ выше температуры окружающей среды (снаружи), определяется из условия теплового баланса:

$$q_+ = q_-. \quad (3)$$

С учетом формул 1–2 уравнение баланса тепловой мощности можно записать как

$$\tau_0 \tau_1 G = \frac{(T_n - T_{окр})}{R}, \quad (4)$$

откуда расчетная формула для необходимого теплового потока принимает вид

$$G = \frac{(T_n - T_{окр})}{\tau_0 \tau_1 R}. \quad (5)$$

Произведем вычисления:

$$G = \frac{14}{0,9 \cdot 0,9} \approx 247 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}.$$

Принимаем, что необходимо 247 Вт·м⁻² потока солнечной энергии за 1 секунду времени для отопления помещения внутри дома.

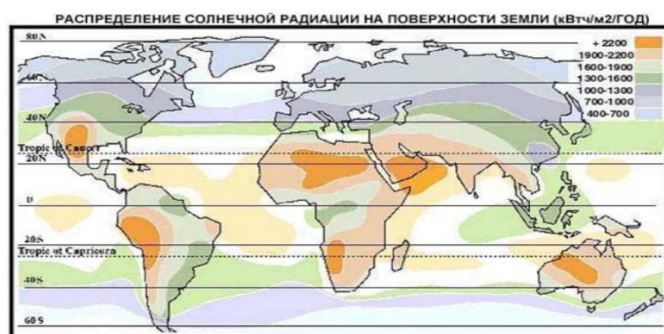


Рисунок 2. Распределение солнечной радиации на поверхности Земли

Из-за поглощения атмосферой Земли максимальный поток солнечного излучения на уровне моря в час составляет $1020 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$. В средних широтах в дневное время значение потока солнечного излучения достигает в час $800 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ летом, снижаясь до $250\text{-}300 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ зимой [5, 6].

Исходя из вышесказанного, примем значения для летнего периода $800 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ в час или $0,22 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ в секунду, тогда для нагрева воздуха потребуется 1122 секунды, или 19 минут. Также стоит отметить, если изменять площадь окна, то время на повышение температуры будет изменяться.

Список литературы:

1. Статья по оценке энергии солнечного излучения: [сайт]. – URL: <https://www.solarhome.ru/basics/solar/pv/techirrad.htm> (дата обращения: 28.04.2023). – Текст : электронный.
2. Научный журнал «Современные наукоемкие технологии» [сайт]. – URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=32425> (дата обращения: 28.04.2023). – Текст : электронный.
3. Официальный сайт компании «Романов Моторс»: [сайт]. – URL: <https://romanov-motors.ru/stati/293-ispolzovanie-solnechnoj-energii> (дата обращения: 28.04.2023). – Текст : электронный.
4. Ряднова, В. С. Использование солнечной энергии в жилищном строительстве / В. С. Ряднова, А. И. Алифанова. – Текст : непосредственный // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 8-1. – С. 50-52.
5. Статья «Солнечная энергия – огромный, неисчерпаемый и чистый ресурс». [сайт]. – URL: <https://habr.com/ru/companies/ua-hosting/articles/393007> (дата обращения: 29.04.2023). – Текст : электронный.
6. Липатов, М. С. Повышение эффективности источников теплоснабжения / М. С. Липатов. – Текст : непосредственный // Энергетика и автоматизация в современном обществе : Материалы II Всероссийской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 06 ноября 2018 года / Под ред. Т. Ю. Коротковой. Вып. 2. – Санкт-Петербург : ВШТЭ СПбГУПТД, 2018. – С. 81-83. – EDN JTIBGK.

© Арабаджи Д. О., 2023

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ: ВЫЗОВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

студент **Соколова Татьяна Валерьевна**,
науч. руководитель: старший преподаватель,
Леонова Надежда Львовна,
Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Анализируется применение блокчейн-технологий в энергетической отрасли. Обсуждаются главные проблемы, связанные с использованием блокчейна в энергетике, а также возможности его применения для улучшения работы энергосистем и обеспечения безопасности энергетических объектов. Приводятся примеры применения технологии блокчейн в энергетике, включая создание цифровых рынков энергии, управление энергосистемами и распределение энергоресурсов. Блокчейн-технологии могут стать ключевым инструментом для модернизации энергетической отрасли и создания устойчивых и экологически чистых энергетических систем.

Ключевые слова: блокчейн, энергетика, энергосистемы, управление, распределение, безопасность, экология, эффективность.

USE OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGIES IN ENERGY: CHALLENGES AND PROSPECTS

Student **Sokolova Tatyana Valerievna**,
Academic Advisor: senior lecturer
Leonova Nadezhda Lvovna,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. The application of blockchain technologies in the energy industry is analyzed. The main problems associated with the use of blockchain in the energy sector are discussed, as well as the possibilities of its application to improve the operation of energy systems and ensure the safety of energy facilities. Examples of the application of blockchain technology in the energy sector are given, including the creation of digital energy markets, energy system management and distribution of energy resources. Blockchain technologies can become a key tool for modernizing the energy

industry and creating sustainable and environmentally friendly energy systems.

Keywords: blockchain, energy, energy systems, management, distribution, security, ecology, efficiency.

В современном мире использование блокчейн-технологий в энергетике становится все более актуальным. Новая децентрализованная технология блокчейн используется для обмена, репликации и синхронизации данных в разных географических точках. В любой ненадежной среде это обеспечивает безопасную транзакцию. Отсутствует центральный администратор или орган, который мог бы контролировать все аспекты технологии блокчейн, связанные с данными. Для любой новой транзакции согласование алгоритма консенсуса необходимо от всех субъектов, так как от него зависит сеть блокчейна. Из-за своих многочисленных преимуществ, таких как безопасность, доверие, открытый исходный код, отслеживаемость и прозрачность, блокчейн становится все более популярным для использования в различных секторах.

Блокчейн-технология обеспечивает прозрачность, поскольку все транзакции, происходящие в сети, могут быть видны любому участнику. Каждый блок содержит хэш предыдущего блока, что обеспечивает безопасность транзакций, используя данную технологию. Если данные в блоке будут изменены, то его хэш также изменится, что будет обнаружено сетью.

Вдохновение для применения технологии блокчейн в энергетике может быть найдено в некоторых наиболее успешных примерах использования блокчейна в других отраслях.

В финансовой и банковской отраслях использование технологии блокчейн может улучшить системы безопасности, снизить затраты и повысить эффективность. В этой отрасли блокчейн используется для создания криптовалют, распределенных бирж, без посредников и многого другого.

Блокчейн может быть использован в логистике и снабжении для улучшения прозрачности, отслеживания грузов и управления цепочками поставок. Отслеживание пути товаров от производства до потребителя с помощью блокчейна, например, может помочь снизить издержки и улучшить безопасность.

В здравоохранении блокчейн может применяться для хранения и обмена медицинскими данными, управления лекарственными средствами и многого другого. Для создания единой базы данных о медицинских записях, которая может быть доступна для пациентов и медицинских специалистов по всему миру.

С помощью блокчейна можно создавать и управлять цифровыми активами, такими как музыка, фильмы, книги и многое другое. С помощью технологии блокчейн можно создавать уникальные цифровые активы, которые можно продавать и обменивать без посредников.

Применение технологии блокчейн в различных отраслях может

значительно улучшить эффективность, безопасность и прозрачность. Однако при применении технологии блокчейн в энергетике следует учитывать специфику данной отрасли.

Создание цифровых рынков энергии возможно благодаря использованию блокчейна в энергетической отрасли, где производители и потребители энергии могут обмениваться данными и контролировать распределение энергоресурсов.

Технология блокчейн может быть использована для улучшения эффективности, повышения прозрачности и сокращения затрат, как показывают примеры применения в других отраслях. Криптовалюта Биткоин – один из самых успешных примеров использования блокчейна для обеспечения безопасных и анонимных транзакций.

Блокчейн может использоваться в энергетической отрасли для создания цифровых рынков энергии, где производители и потребители смогут обмениваться данными и контролировать распределение энергоресурсов. Для управления и распределения энергоресурсов также можно использовать блокчейн. Например, для создания умных сетей, способных мониторить потребление энергии и автоматически регулировать распределение энергоресурсов в режиме реального времени.

Использование блокчейн-технологий в энергетике обладает большим потенциалом и может привести к созданию более эффективной и прозрачной системы управления энергоресурсами. Однако использование новых технологий может вызвать определенные проблемы, такие как необходимость создания стандартов и регулирования, а также сопротивление со стороны традиционных участников отрасли. Для обеспечения безопасности и защиты данных необходимо применять современные методы шифрования и протоколы безопасности. Чтобы своевременно выявлять и исправлять уязвимости, важно регулярно обновлять систему и проводить аудиты безопасности.

Децентрализованная торговля энергией привлекла наибольшую активность блокчейна. Среди исследуемых приложений — системы энергетических рынков, которые позволяют потребителям иметь доступ к оптовым рынкам электроэнергии, и системы торговли энергией между участниками рынка. Блокчейны могут снизить цену транзакций при оптовой торговле энергией, а также предоставить прозрачные данные, доступные многим сторонам, включая органы, которые могут проверять соблюдение нормативных требований. Устраняя посредников и снижая транзакционные издержки при потенциальном увеличении объема торговли, блокчейны могут предоставить местным потребителям возможность участвовать в рынке электроэнергии.

Устанавливая единые стандарты и правила работы, участники энергетической отрасли и эксперты в области блокчейн-технологий должны согласовать свой подход. Для достижения этого можно создавать отраслевые стандарты и кодексы поведения, а также проводить международные конференции и семинары для обмена опытом и знаниями.

Открываются широкие перспективы для повышения эффективности работы энергосистем. Можно создавать прозрачные и безопасные цифровые реестры для учета производства, передачи и потребления энергии, а улучшение планирования и оптимизации работы энергосистем сокращает издержки на управление и мониторинг процессов.

Можно создать устойчивые и экологически чистые энергетические системы. Собирая и анализируя большой объем данных о производстве и потреблении энергии, можно создавать энергетические системы, использующие возобновляемые источники энергии, такие как солнечная и ветровая, и сокращать использование ископаемых видов топлива.

Блокчейн-технологии можно также использовать для развития инфраструктуры электромобильности. Новые решения для зарядки и оплаты электромобилей могут быть созданы благодаря возможности отслеживать производство, передачу и потребление энергии.

Есть еще проекты, которые разрабатываются и тестируются в разных странах мира. Это лишь несколько примеров практических проектов, реализованных с использованием энергетических систем на основе блокчейна. Вот некоторые примеры:

1. Exergy: цель этого проекта, созданного австралийским стартапом Power Ledger, – создать децентрализованный рынок энергии, который позволит клиентам обмениваться дополнительной энергией между собой. Платформа использует технологию блокчейн для отслеживания движения энергии и обеспечения точности транзакций.

2. Enerchain: эта немецкая концепция с использованием технологии блокчейна направлена на создание децентрализованной платформы для торговли энергией, которая обеспечивает прямую торговлю энергией между потребителями и производителями.

3. Sun Exchange: эта инициатива, разработанная одноименным стартапом, направлена на предоставление основанной на блокчейне платформы для финансирования и управления проектами в области солнечной энергетики. Платформа позволяет инвесторам покупать солнечные элементы и получать долю энергии, которую они производят.

Можно отметить в заключение, что блокчейн-технологии имеют огромный потенциал для повышения эффективности работы и создания устойчивых и экологически чистых энергетических систем. Однако, чтобы успешно реализовать подобные проекты, нужно учитывать вызовы, связанные с обеспечением безопасности и установлением единых стандартов и правил работы [1, 2, 3, 4, 5].

Следует также отметить перспективы использования блокчейн-технологий в энергетике, в том числе создание цифровых рынков энергии и развитие инфраструктуры электромобильности на основе блокчейн-технологий. Использование блокчейн-технологий в энергетике – перспективное направление

развития отрасли, которое может привести к значительным изменениям в будущем.

Список литературы:

1. Дж. Дебус. Консенсус методы в блокчейн-системах. Франкфурт, Школа Финансов и Управления: [сайт]. – URL: http://explore-ip.com/2017_Consensus-Methods-in-Blockchain-Systems.pdf (дата обращения: 12.04.2023).
2. Технология блокчейн для распределенной генерации: обзор текущего развития, проблемы и перспективы на будущее: [сайт]. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032123000266> (дата обращения: 14.04.2023).
3. Г. Иредейл. Каковы различные типы технологии блокчейн?: [сайт]. – URL: <https://101blockchains.com/types-of-blockchain> (дата обращения: 14.04.2023).
4. Преимущества и недостатки из блокчейн-технологии: [сайт]. – URL: <https://data-flair.training/blogs/advantages-and-disadvantages-of-blockchain/> (дата обращения: 14.04.2023).
5. Назрин Джунаиди. Управление реакцией спроса в электрических сетях на основе блокчейна: систематический обзор: [сайт]. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484723003827> (дата обращения: 18.04.2023).

© Соколова Т. В., 2023

ЭФФЕКТ ПЕЛЬТЬЕ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

студент **Шевченко Ксения Олеговна**,
студент **Трухин Евгений Олегович**,
науч. руководитель: ассистент **Крюков Кирилл Александрович**,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Данная статья рассматривает физический эффект Пельтье, который заключается в изменении температуры при прохождении электрического тока через соединение двух разнородных материалов. Особое внимание уделено возможности применения эффекта Пельтье на ТЭС. Также подробно рассмотрен ТЭМ, основа, составляющая ТЭС, его преимущества перед другими способами охлаждения.

Ключевые слова: эффект Пельтье, термоэлектрическое явление, термопара, разность температур, ТЭС, ТОУ, ТЭМ.

THE PELTIER EFFECT AND ITS USE IN THERMAL POWER PLANTS

Student **Shevchenko Ksenia Olegovna**,
Student **Truhin Evgeniy Olegovich**,
Academic Advisor: Assistant **Kryukov Kirill Alexandrovich**,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. This article deals with the physical effect of Peltier, which is the change in temperature when an electric current passes through the connection of two heterogeneous materials. Particular attention is paid to the possibility of using the Peltier effect on TPP. Also, in detail, considered TEM, the basis of TPP component, its advantages over other methods of cooling.

Keywords: Peltier effect, thermoelectric phenomenon, thermocouple, temperature difference, thermal power system, thermoelectric cooling device, thermoelectric module.

Новые технологии в истории человечества появлялись на основе трудов учёных или даже самых простых людей. Открытие, сделанное французским часовщиком Жаном-Шарлем Пельтье в 1834 году, не исключение, и до сих пор не потеряло свою актуальность. В данной статье мы расскажем о явлении Пельтье и его применении.

Эффект Пельтье является термоэлектрическим явлением. Термоэлектрическими явлениями называют совокупность физических явлений, которые характеризуются взаимосвязанными между собой тепловыми и электрическими процессами в полупроводниках и металлах. Также для понимания сути эффекта Пельтье необходимо ввести такие термины как «термопара» и «термо-ЭДС» [1].

Т. Н. Патрушева в своём исследовании говорит о том, что «термопара – это устройство, состоящее из двух проводников различных материалов и соединённых на одном конце, измеряет термо-ЭДС». И для более точного понимания данного определения необходимо раскрыть ещё один термин: «Термо-ЭДС называется электродвижущая сила, которая возникает в замкнутой цепи, состоящей из нескольких разнородных проводников, спаи (контакты) между которыми имеют различные температуры» [2].

Эффект Пельтье можно объяснить, взяв за основу явление термоэлектрического эффекта, который заключается в возникновении ЭДС в проводнике при разности температур между его концами. При прохождении тока через два различных металла или полупроводника, соединённых в замкнутую цепь, возникает термо-ЭДС, которая приводит к появлению разности температур между соединениями (рисунок 1).

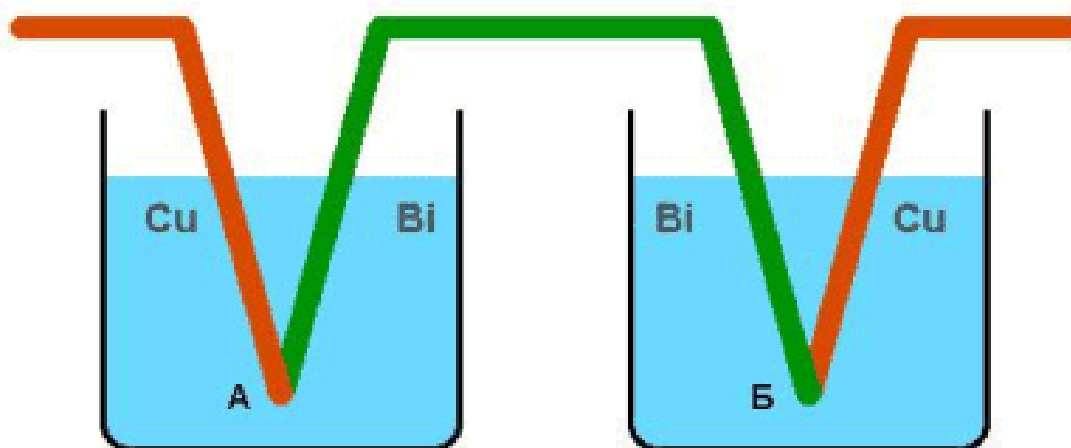


Рисунок 1. Схема опыта для измерения тепла Пельтье

Этот эффект происходит из-за того, что при прохождении электрического тока через проводник электроны перемещаются в направлении с минусовой полярности к плюсовой. При этом электроны сталкиваются с атомами материала, передавая им свою кинетическую энергию, что приводит к нагреванию проводника. В то же время на другом конце проводника происходит охлаждение, так как электроны уменьшают свою кинетическую энергию при столкновении с атомами материала [3].

Таким образом, при прохождении тока через два различных металла или полупроводника, соединённых в замкнутую цепь, возникает разность температур между соединениями, которая зависит от многих факторов, таких как материалы проводников, толщина их слоев, сила тока и т. д.

Эффект Пельтье является обратимым, то есть при изменении направления тока происходит изменение знака разности температур между соединениями.

Это позволяет использовать его как для охлаждения, так и для нагрева окружающей среды.

Усовершенствование научных и технических разработок требует всё более точных методов и средств для контроля и стабилизации температуры, особенно это важно в электронике.

В каждом электронном устройстве для оптимальной и продуктивной работы необходимо поддерживать особый постоянный температурный режим. Для этой цели наиболее перспективными являются термоэлектрические методы контроля температуры, основанные на эффекте Пельтье [4].

Следует отметить, что существуют большие перспективы применения термоэлектрических элементов в области вычислительной и сверхпроводящей техники. Термоэлектрические системы (ТЭС) играют важную роль в производстве технического оборудования, используемом при производстве другой электроники. Ю. И. Штерн в своих трудах говорил о том, что в ТЭС входят те приборы, действие которых основано на преобразовании электрической энергии в тепловую и наоборот. В частности, эти системы используются в производстве, испытаниях и исследованиях материалов и устройств для электроники: термостаты, калибраторы, теплохолодильные камеры и термоэлектрические установки. Термоэлектрические установки характеризуются способностью точно регулировать температуру, что достигается путем непрерывного регулирования параметров напряжения питания термоэлектрических устройств. Влияние точности регулирования температуры усиливается благодаря малой инерционности термоэлектрических элементов, которое лежит в основе работы термоэлектрического охлаждающего устройства (ТОУ). Режим работы термоэлектрического охлаждающего устройства (ТОУ) может быть изменен путём изменения тока питания термоэлектрических модулей (ТЭМ) [5].

Основным фактором, влияющим на КПД термоэлектрического охлаждающего устройства, является добротность материалов. Добротность, в свою очередь, определяется по формуле:

$$z = \frac{\alpha^2 \times \sigma}{\chi},$$

а, следовательно, зависит от коэффициента термо-ЭДС (α), коэффициента электропроводности (σ) и коэффициента теплопроводности (χ).

Материалы, используемые при изготовлении ТОУ, в основном выдерживают температурную нагрузку в диапазоне от 500 до 950 К. Для таких материалов запрещённая зона должна быть около 0,6 эВ. Большинство из них будет халькогенидами. В таблице ниже приведены материалы, используемые для изготовления ТОУ [2]:

Таблица – Результаты измерений напряжения на выводах термоэлектрической ячейки

Полупроводниковые пластины		Разность температуры ΔT , К	Разность потенциалов, мВ	Коэффициент Зеебека пары $\alpha_{пары}$, мВ/К
<i>p</i> -типа	<i>n</i> -типа			
GaAs	GaAs	20	5	0,25
GaAs	Si	20	7	0,35
Si	Si	20	1,5	0,075
Si	Por-Si	20	4,2	0,21
Por-GaAs	Si	20	35	1,75
GaAs	Por-GaAs	20	28	1,4
Por-GaAs	Por-GaAs	20	45	2,25

Помимо ТОУ, существует ещё один важный аспект эффективной работы термоэлектрического оборудования – это повышение эксплуатационных и функциональных характеристик. За это на ТЭС отвечает такое технологичное оборудование, как ТЭМ [1].

Термоэлектрические модули (элементы Пельтье), представленные на рисунке 2, являются основной составляющей термоэлектрических систем (ТЭС), которые также включают в себя теплообменники, датчик температуры, электронные схемы управления и коммутации питания элементов Пельтье. В качестве датчика температуры может быть использован датчик, сформированный в структуре процессора или автономный датчик, размещенный в критической температурной зоне.



Рисунок 2. Элемент Пельтье

Термоэлектрический способ поддержания и контроля температуры обладает рядом преимуществ перед другими способами получения холода: компрессионным и адсорбционным. Это единственный экологически чистый способ охлаждения. Термоэлектрические модули (ТЭМ), как и другие твердотельные полупроводниковые приборы, имеют практически неограниченный ресурс работы. Термоэлектрические охлаждающие устройства обладают малыми габаритами и весом, бесшумны, надежны, малоинерционны. Их работа не зависит от ориентации в пространстве, не нуждается в применении хладагентов (фреонов, аммиаков). При термоэлектрическом охлаждении возможно плавно и точно регулировать температуру путем изменения величины напряжения питания термоэлектрических модулей. Результаты научных исследований и современная технология позволяют создавать термоэлектрические модули с максимальной разностью температур до 72°К и повышенной надежностью [6].

Технические параметры ТЭМ (ТЭС):

максимальный ток	3,7 А
интервал рабочих температур охлаждаемых объектов	от +15 до + 60°С
холодопроизводительность	от 20 до 150 Вт
напряжение питания	+5 В, +12 В
стабилизация температуры охлаждаемых объектов	на уровне 35°С
максимальное напряжение	15В
максимальный перепад температуры	$\Delta T=72^{\circ}\text{K}$
габариты	40×40 мм
высота	4,0±0,1 мм

В статье были рассмотрены возможности применения термоэлектрического модуля Пельтье в охлаждающих устройствах. Термоэлектрический модуль представляет собой устройство, которое использует эффект Пельтье для трансформации электрической энергии в тепловую и наоборот. Термоэлектрические модули Пельтье продолжают применяться в охлаждающих устройствах, набирают всё большую популярность и все больше компаний начинают уделять внимание этой технологии. Развитие термоэлектрических модулей Пельтье может привести к созданию более эффективных и производительных устройств охлаждения, которые будут подходить для различных областей применения.

Список литературы:

1. Булат, Л. П. Термоэлектрическое охлаждение: Текст лекций / Л. П. Булат, М. В. Ведерников А. П. Вялов и др. – СПб. : СПбГУНиПТ, 2002. – 147 с. – Текст : непосредственный.
2. Демьянов, Г. В. Энергетический спектр электронов в Bi_2Te_3 по оптическим и электрическим данным / Г. В. Демьянов, С. А. Немов, Р. А. Паршиков. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2020. –144 с. – Текст : непосредственный.
3. Патрушева, Т. Н. Термоэлектрическая добротность в низкоразмерной полупроводниковой среде / Т. Н. Патрушева, С. А. Подорожняк, Г. Н.

Шелованова – Текст : электронный // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2013. – Т. 6. – № 6. – С. 657-664. – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_20391190_82939278.pdf (дата обращения: 20.04.2023). – EDN REFSVJ.

4. Штерн, Ю. И. Актуальность и проблемы создания эффективных термоэлектрических устройств / Ю. И. Штерн, М. Ю. Штерн, М. С. Рогачев. – Текст : электронный // Передовое развитие современной науки как драйвер роста экономики и социальной сферы : сборник II Всероссийской научно-практической конференции, Петрозаводск, 20 декабря 2020 года. – Петрозаводск : Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская Ирина Игоревна), 2020. – С. 36-44. – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_44511611_99336373.pdf (дата обращения: 20.04.2023). – EDN UZVPEY.

5. Ширяев, А. Д. Преобразователь тепловой энергии в электрическую, термоэлектрогенератор: принцип работы, экономическая целесообразность применения на теплоэнергетических объектах / А. Д. Ширяев, Г. А. Морозов. – Текст : электронный // Оригинальные исследования. – 2022. – Т. 12. – № 8. – С. 200-207. – URL: https://ores.su/media/filer_public/f5/07/f507c7cf-64b8-4967-a863-4c0009f88e93/200-207.pdf (дата обращения: 20.04.2023). – EDN WZTDGQ.

6. Штерн, Ю. И. Разработка и выпуск опытной партии термоэлектрических модулей, предназначенных для поддержания оптимальной рабочей температуры электронных компонентов компьютерной техники / Ю. И. Штерн, В. Б. Леонтьев, Д. Б. Рыгалин, В. И. Лыщенко – Текст : электронный // Инновации. – 2005. – №6. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-i-vypusk-opytnoy-partii-termoelektricheskikh-moduley-prednaznachennyh-dlya-podderzhaniya-optimalnoy-rabochey-temperatury> (дата обращения: 09.05.2023).

© Шевченко К. О., Трухин Е. О., 2022

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИКИ И МЕХАНИЗМОВ ПЕЛЛЕТНЫХ КОТЛОВ

студент **Садулаев Аюб Абдул-Вахидович**,
магистрант **Устарханова Залина Адамовна**,
науч. руководитель: старший преподаватель **Пашаев Валид Вахаевич**,
Грозненский государственный нефтяной технический университет
им. акад. М. Д. Миллионщикова,
г. Грозный, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматриваются нетрадиционные источники энергии (пеллеты) и пеллетные системы отопления, использующие этот вид топлива. Анализируется актуальность использования дорогих импортных котлов, оборудованных современной автоматикой на российском рынке. Также рассматривается вопрос создания готовых комплектов горелок пеллетных систем и систем управления на базе российской автоматики, с целью снижения стоимости котлов для целесообразности их внедрения.

Ключевые слова: пеллеты, пеллетный котел, гранулы, биомасса, программируемый логический контроллер (ПЛК), программируемое реле, SCADA-система, шлюз, OwenCloud.

RESEARCH OF AUTOMATION AND MECHANISMS OF PELLET BOILERS

Student **Sadulaev Ayub Abdul-Vakhidovich**,
Master Student **Ustarkhanova Zalina Adamovna**,
Academic Advisor: Senior Lecturer **Pashaev Valid Vakhayevich**,
Grozny State Oil Technical University
named after acad. M. D. Millionshchikov,
Grozny, Russian Federation

Abstract. The article discusses non-traditional energy sources (pellets) and pellet heating systems using this type of fuel. The relevance of the use of expensive imported boilers equipped with modern automation in the Russian market is analyzed. The question was also raised about the creation of ready-made kits for managing pellet systems and control systems based on Russian automatic machines, with high profitability of boilers for the profitability of their implementation.

Keywords: pellets, pellet boiler, pellets, biomass, programmable logic controller (PLC), programmable relay, SCADA system, gateway, OwenCloud.

Непрерывно растущие цены на газ, нефть и другие виды энергоносителей, а также постоянно ужесточающиеся требования защиты экологии и прочих ограничительных мер заставляют большие компании всё больше ориентировать

внимание в сторону нетрадиционных источников энергии. Несмотря на возросший спрос к системам альтернативных источников энергии, крупные производители не прекращают работы по модернизации своих котлов на традиционных топливах. Возможности современной автоматики позволяют проектировать ранее не использованные в котлах механизмы и конструкции для сжигания традиционной прессованной биомассы с оптимальной выработкой пара и тепла.

Пеллетный котел сегодня можно рассматривать как сложный технологический процесс, в котором спроектирована современная система автоматики для управления процессами котла. С модернизацией паровых котлов появились сотни разновидностей, размеров и производителей, каждый из которых представляет новый дизайн, передовые технологии и возможности предварительного просмотра того, что еще впереди (рисунок 1).



Рисунок 1. Пеллетные котлы

Под традиционным экологически чистым видом топлива биомассы понимаются гранулы – пеллеты, которые в последнее время широко стали использовать в разных отопительных системах (рисунок 2).



Рисунок 2. Пеллеты

Пеллетный вид топлива и системы отопления на их основе в США и странах Запада явление не новое, просто интерес в нашей стране к пеллетным системам отопления начали проявлять только в последние десятилетия. Это объясняется тем, что Россия никогда не испытывала дефицит в жидких, твердых или в газообразных топливах, как страны, где пеллеты широко распространены. Нельзя утверждать, что в России отопительные системы всегда топили только чистой древесиной, углем или мазутом, поскольку используется всё (торф, опилки, стружки, щепы, отходы сельского хозяйства и т. д.).

Впервые гранулы были изобретены немцем Рудольфом Гуннерманом, проживающим в США. Рудольф Гуннерман в 1970-х годах первым додумался использовать в качестве биотоплива прессованные гранулы. Как выяснилось, процесс изготовления гранул экономически выгоден, и пеллеты обладают высокой экологичностью, а также меньше выбрасывают в атмосферу углекислого газа [1].

Рассмотрим имеющиеся исследования затрат на отопление, полученные при средней розничной стоимости газа 4335 руб./1000 куб. м. (рисунок 3) [2, 3].

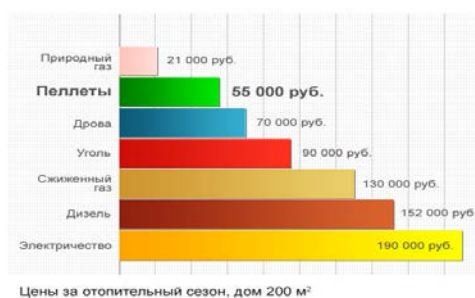


Рисунок 3. Анализ затрат на отопление относительно пеллетного котла, согласно фирме «Термо-мир»

Европейские страны еще с середины 1980-х годов активно использовали этот вид топлива в своих котельных, параллельно развивая и совершенствуя технологии пеллетных котлов и процессы сжигания гранул. Сегодня эти страны предлагают на рынке высокотехнологичные системы котлов на биомассе от малых до больших мощностей. Все их котлы, поставляемые на рынок, автоматизированы по последнему слову техники и обеспечивают высококачественный процесс сжигания пеллет и выработку тепла. Для больших объектов в линейке производителей имеются и промышленные варианты отопительных систем с программируемыми логическими контроллерами (ПЛК) и сенсорными дисплеями, которые совмещают в себе ПЛК и панель оператора (рисунок 4).



Рисунок 4. Шкаф управления промышленным котлом с ПЛК сенсорной панелью оператора

Во многих импортных котлах технологические операции совершаются автоматическими механизмами котлов, такие как загрузка и дозирование пеллет,

рециркуляция насосов, контроль и регулирование температуры и т. д., визуализированы и отображаются на панели. Большим плюсом современных котлов является возможность дистанционно следить и управлять процессом сгорания пеллет, а именно автоматическим розжигом. Для этого котлы могут снабжаться с GSM-модулем дистанционного управления и т. д.

Пеллетные котлы с вышеперечисленными возможностями автоматики не получили большого распространения в России из-за высоких цен.

Опираясь на материалы, изученные по теме «Пеллетные системы отопления», можно сказать, что как вариант отопления для частного дома пеллетный котел рассматривать нецелесообразно, если в доступности имеется газопровод. То же самое нельзя сказать насчет коммерческих объектов, таких как тепличные хозяйства, птицефабрики, горные и лесные туристические хозяйства и т. д., которые являются объектами повышенного внимания со стороны газовых служб.

У всех этих видов отоплений и топлив есть свои плюсы и минусы. Магистральный газ является современным топливом, который имеет наименьшую стоимость по сравнению с другими видами топлива. Этот перевес может быстро измениться в пользу пеллет, если рост тарифов на газ будет продолжаться. Можно привести и много минусов использования газового топлива, например, постоянное внимание проверяющих органов, соответствующие требования к обслуживающему, оборудованию, пожароопасность, сложная система согласований, подключение осуществляется только газовыми службами, а также необходимо приобрести и установить счетчик газа, который требует периодической метрологической проверки или замены и т. д.

Вероятность перевеса в пользу пеллетного вида топлива и пеллетных систем отопления в последнее время достаточно большая, так как на рынке стали появляться готовые комплекты пеллетных горелок с доступными ценами.

В интернет-пространстве сегодня можно встретить предложения с готовыми комплектами горелок пеллетных систем для переоснащения газовой системы отопления на пеллетные (рисунок 5) [4].



Рисунок 5. Готовые комплекты горелок пеллетных систем

Конструктивно пеллетные горелки должны легко монтироваться и демонтироваться, что очень важно. Многие теплогенерирующие установки, оборудованные под пеллетные системы, реализованы высоким уровнем автоматизации, а режимы работы прописаны программно. Сегодня современная

автоматика, выпускаемая на рынке отечественного производства, позволяет автоматизировать достаточно сложные конструкции и механизмы котлов под свои задачи и требования без серьезных затрат. Если имеешь соответствующие навыки и знания, то для экономии своих средств можно и самому автоматизировать некоторые основные операции котла, используя минимальный набор элементов автоматики, например, процесс подачи пеллет в камеру сгорания, процесс загрузки бункера, дистанционный контроль горения пламени, контроль температур и т. д. К сожалению, не все разбираются в автоматике и обладают инженерными знаниями, чтобы разобраться в автоматизации. Недостаточная конкуренция между производителями готовых комплектов горелок пеллетных систем на российском рынке не лучшим образом способствует на снижение стоимости и техническую проработанность систем.

Например, у российского производителя ОВЕН имеются все научно-технические условия и необходимая линейка продукции для создания конкурентоспособного продукта лучшего качества. ОВЕН на протяжении трех десятков лет доказывает надежность своей продукции в сфере автоматизации на российском рынке и могла бы разработать свои комплекты горелок пеллетных систем по приемлемым ценам и с простым пользовательским интерфейсом. Имеющийся у ОВЕН бесплатный облачный сервис OwenCloud вполне можно использовать для удаленного управления и диспетчеризации. Он удобен для использования удаленного мониторинга температуры отопления, давления в системе водоснабжения, аварийных ситуаций в доме или на даче. OwenCloud позволяет настраивать пользовательские события и аварии с возможностью квитирования, а также получать уведомления по смс, электронной почте и другими способами: в Telegram-боте, push-уведомлениях и т. д.

Для доступа к сервису OwenCloud в ОВЕН используются сетевые шлюзы ПМ210, ПЕ210, ПВ210 (рисунок 6).



Рисунок 6. Сетевые шлюзы: ПМ210 – GSM (2G), ПЕ210 – Ethernet, ПВ210 – Wi-Fi

Примерная возможная структура подключения к облачному сервису OwenCloud через модуль связи по интерфейсу RS-485 показана на рисунке 7.

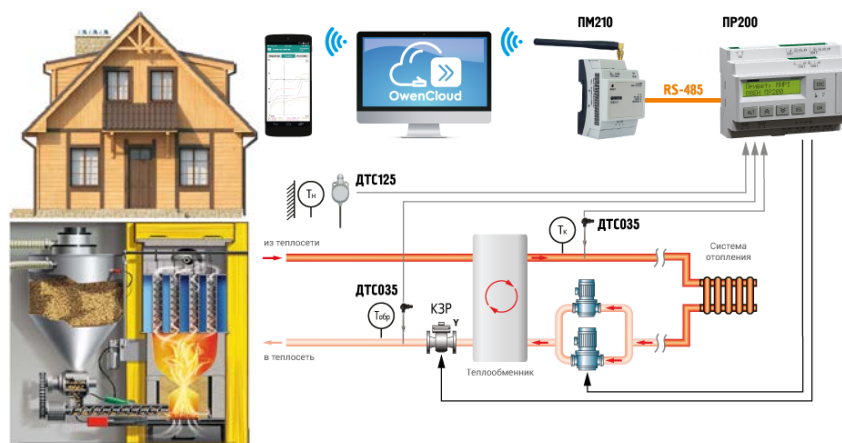


Рисунок 7. Структура подключения к облачному сервису OwenCloud через модуль связи

Мозгом управления в предлагаемой структуре предлагается ОВЕН ПР200. ОВЕН ПР200 – программируемое реле с дисплеем (рисунок 8). Устройство в основном предназначено для небольших локальных задач автоматизации: водоподготовка, водоочистка, вентиляция, отопление и др.



Рисунок 8. ОВЕН ПР200 – программируемое реле с дисплеем

ОВЕН ПР200 имеет до 24 каналов ввода/вывода. Для интеграции в SCADA-системы и управления внешними устройствами в прибор может быть установлено до двух интерфейсов RS-485 с поддержкой протоколов Modbus RTU/ASCII. Алгоритм работы котла и других задач пишется на языке FBD с помощью бесплатной среды программирования Owen Logic [5].

Из числа российских производителей технических средств автоматизации компания ОВЕН мог бы предложить рынку готовые комплекты горелок пеллетных систем отопления с не меньшим функционалом и качеством, чем у зарубежных аналогов.

Список литературы:

1. История возникновения пеллет: [сайт]. – 2015. – URL: <https://www.infobio.ru/forum/3279.html/> (дата обращения: 03.05.2023). – Текст : электронный.

2. Официальный портал Правительства Ростовской области: [сайт]. – 2022. – URL: <http://old.donland.ru/?pageid=108201/> (дата обращения: 01.05.2023). – Текст: электронный.
3. Водогрейные котлы на пеллетах и щепе: [сайт]. – 2023. – URL: https://svetlobor.com/economy#pract_vivodi/ (дата обращения: 02.04.23). – Текст : электронный.
4. Официальный сайт ООО «БелКомин» – производителя котлов TIS, дымоходов из нержавеющей стали: [сайт]. – 2023. – URL: <https://www.belkomin.com/katalog/komplektyi-perenaladki-kotlov-serii-uni-n/komplekt-perenaladki-uni-15-20.html/> (дата обращения: 02.05.2023). – Текст : электронный.
5. ОВЕН Оборудование для автоматизации: [сайт]. – 2023. – URL: <https://owen.ru/product/pr200/> (дата обращения: 03.05.2023). – Текст : электронный.

© Садулаев А. А-В., Устарханова З. А., 2023

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВЗРЫВОВ И ХЛОПКОВ В БАКЕ-РАСТВОРИТЕЛЕ ПЛАВА СОДОРЕГЕНЕРАЦИОННОГО КОТЛОАГРЕГАТА

студент **Рубцова Мария Александровна**,
канд. техн. наук, доцент **Ковалёв Дмитрий Александрович**,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Содорегенерационный котлоагрегат – это важная составляющая системы регенерации в цикле сульфатной варки целлюлозы, поэтому решение вопросов, связанных с его надежной, экономичной и экологически чистой работой, является важнейшей задачей. Содорегенерационный котлоагрегат представляет собой объект управления повышенной взрывоопасности, для которого ключевой проблемой является раннее обнаружение нештатных, и главное, опасных ситуаций для их предотвращения.

Ключевые слова: содорегенерационный котлоагрегат, зеленый щелок, плав, бак-растворитель плава, хлопки, взрывы.

STUDY OF WAYS TO PREVENT EXPLOSIONS AND SLAMMING IN THE MELTING DISSOLVING TANK OF A RECOVERY BOILER UNIT

Student **Rubtsova Maria Alexandrovna**,
PhD in Technology, Associate Professor **Kovalev Dmitry Aleksandrovich**,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. The recovery boiler unit is an important part of the regeneration system in the kraft pulping cycle, so addressing issues related to its reliable, economical and environmentally friendly operation is the most important task. The recovery boiler unit is a control object of increased explosive hazard, for which the key problem is the early detection of abnormal, and most importantly, dangerous situations in order to prevent them.

Keywords: recovery boiler unit, green liquor, melt, melting dissolving tank, pops, explosions.

На целлюлозно-бумажных комбинатах, применяющих сульфатную варку целлюлозы, с целью регенерации использованных химикатов и получения пара и электроэнергии отработанный черный щелок сжигается в содорегенерационном котлоагрегате (СРК).

Подсушенные и частично сгоревшие частицы щелока из зоны пиролиза попадают в «огарок» на поду топки (зону восстановления). За счет сжигания оставшегося в частицах щелока углерода происходит восстановление серы с образованием сульфида натрия, карбонизация натрия и под воздействием выделенного тепла образование расплава минеральных веществ щелока – плава.

Плава поступает в бак-растворитель с пода топки СРК через летки плава при температуре 800 – 900 °С. В баке происходит растворение полученного плава в слабом белом щелоке, который подают с фильтров промывки известкового шлама. Результатом такого процесса является образование зеленого щелока. Он получил свое название из-за примесей оксида железа, которые окрашивают щелок в зеленый цвет.

Конечное формирование свойств варочного раствора при непрерывной регенерации щелоков осуществляется в процессе каустизации зеленого щелока с помощью негашеной извести, то есть преобразования карбоната натрия зеленого щелока в едкий натр. В цех каустизации зеленый щелок поступает при температуре 95 – 100 °С [1].

Растворение плава в слабом белом щелоке – это бурный процесс, сопровождающийся шумом, вибрацией и выделением тепла. В крайних случаях может произойти взрыв, который может повлечь за собой серьезные разрушения и даже человеческие жертвы.

В целлюлозно-бумажной промышленности исследования по взрывам в баке-растворителе плава проводились в основном с 1960-х по 1980-е годы из-за крупных аварий со взрывами содорегенерационных котлоагрегатов, вызванных утечкой воды из труб, из-за чего она попадала в резервуар с зеленым щелоком. Улучшение понимания взрывоопасности плава и методов безопасной эксплуатации значительно снизило частоту взрывов СРК, однако взрывы баков-растворителей плава все равно продолжают происходить [2].

Предотвращение взрывов в баке-растворителе плава достигается дроблением плава на мелкие фракции паром среднего давления (0,4 – 0,6 МПа), поступающего через форсунки (рисунок 1) и зеленым щелоком, чтобы частицы плава успели охладиться до момента соприкосновения с жидкостью, находящейся в баке.

Для качественной и безопасной работы бака плава конструкция форсунок должна соответствовать следующим требованиям:

- осуществление распыления пара таким образом, чтобы на выходе получался желаемый размер капли плава;
- обладание достаточной шириной, чтобы при изменении характера потока плава не упустить его часть;
- минимальный расход пара для снижения затрат.

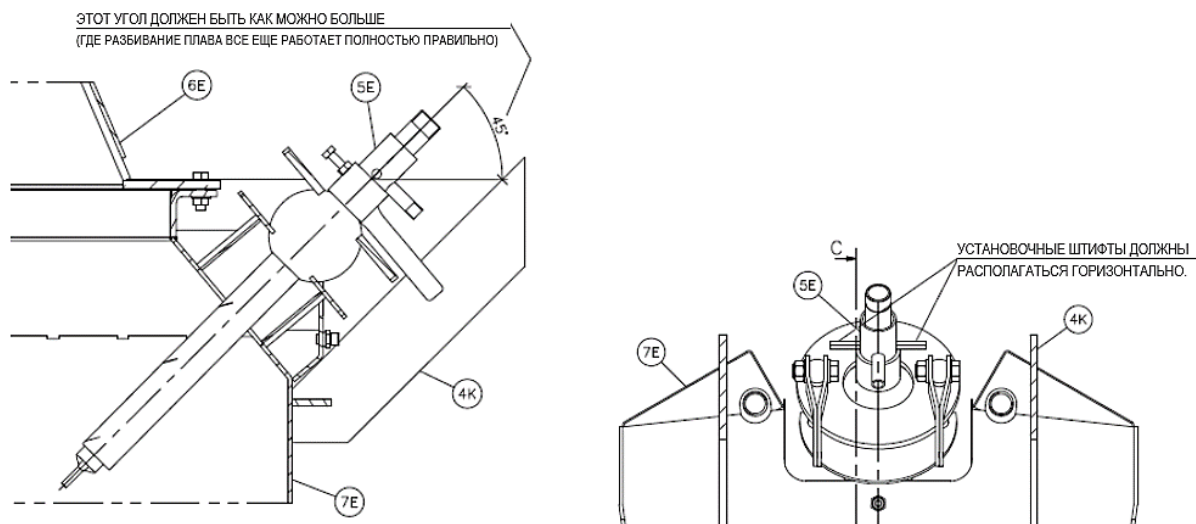


Рисунок 1. Форсунка для дробления плава

На некоторых предприятиях для дробления струи плава используется слабый белый щелок, непрерывно подаваемый в растворитель плава, что позволяет экономить электроэнергию, затрачиваемую на привод рециркуляционного насоса зеленого щелока. Однако, вследствие возможных перебоев в подаче слабого белого щелока при неравномерном режиме работы СРК такое мероприятие не является достаточно надежным.

Шум и вибрация появляются потому, что капли плава являются плохим проводником тепла. После того как капля плава опускается в резервуар, жидкость охлаждает поверхность капли. Холодная поверхность сжимается, а горячий расплав внутри – нет. Мгновенное объемное расширение приводит к тому, что капля плава раскрывается, как попкорн. Именно это и вызывает шум.

На рисунке 2 схематически показано взаимодействие плава и зеленого щелока внутри бака-растворителя плава.

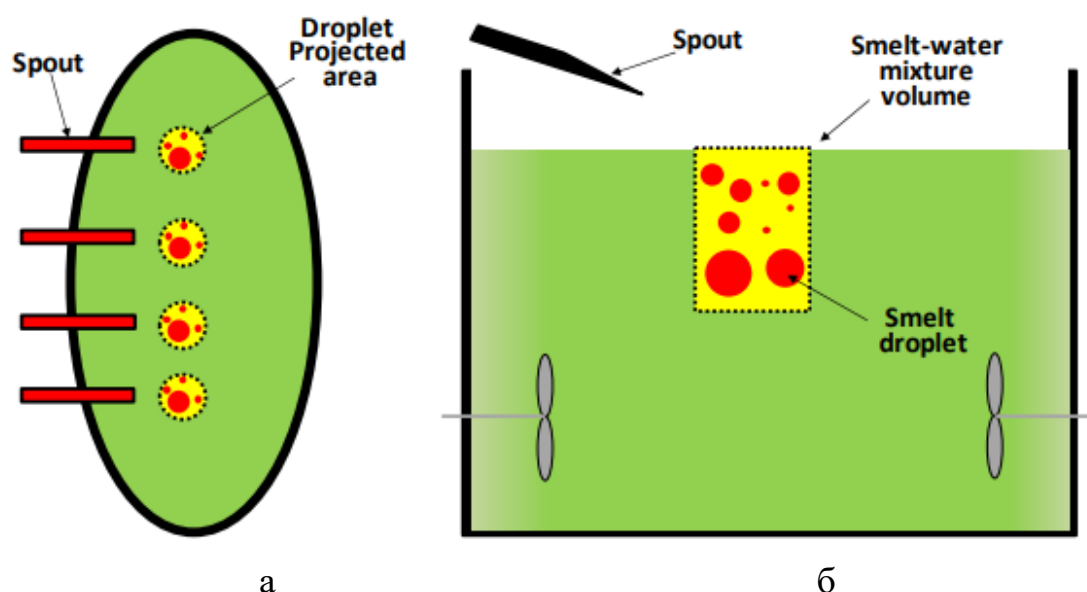


Рисунок 2. Взаимодействие плава и зеленого щелока
где а – вид сверху; б – вид сбоку

После дробления струями пара множество капель плава непрерывно поступает в зеленый щелок в пределах области под летками плава (spout). Когда капли плава перемешиваются с зеленым щелоком, образуется цилиндрический объем смеси плава и зеленого щелока (smelt-water mixture). Внутри образовавшегося объема смеси капли плава взрываются случайным образом: одни капли взрываются независимо друг от друга, другие же взрываются под воздействием ударной волны, которая образуется из-за взрыва соседних капель.

Во избежание слишком громких звуков и сильных вибраций внутреннюю поверхность бака-растворителя облицовывают слоем бетона, устойчивого по отношению к щелочам.

При этом в баке должны обеспечиваться эффективное перемешивание зеленого щелока при помощи мешалок и рециркуляционных насосов, а также оттяжка образующейся парогазовой смеси в атмосферу.

На рисунке 3 схематично показан бак-растворитель плава с системой перемешивания.

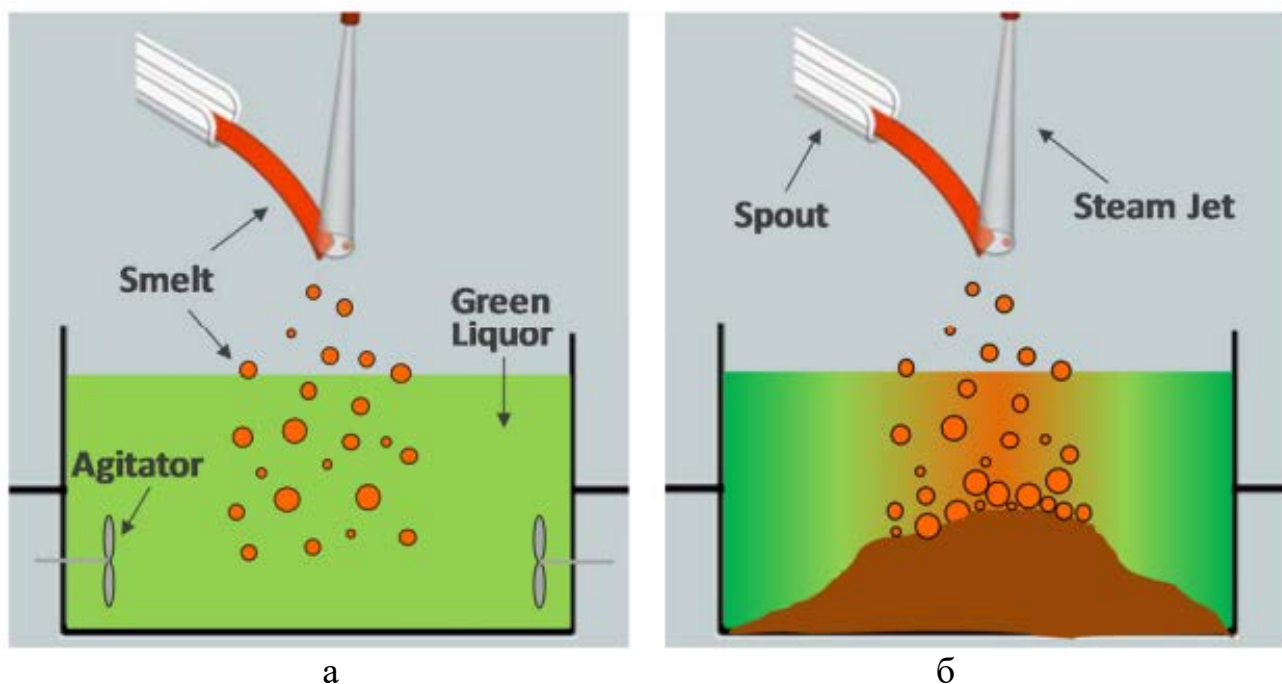


Рисунок 3. Бак-растворитель плава

где а – с реализованной системой перемешивания; б – с отсутствием системы перемешивания

Поскольку капли плава попадают в середину бака-растворителя, в пространство под летками, из которых они вытекают, то без надлежащего перемешивания эта область может обрести локально высокую температуру, что приведет к скоплению капель плава на дне бака из-за увеличения времени, необходимого капле для взрыва.

Кроме того, из-за высокой температуры зеленого щелока некоторые капли застывают без взрыва, что затрудняет их растворение. Последующие капли плава могут попасть поверх массы застывших, что приведет к низкому соотношению объемов щелока и плава, а соответственно, и высокой энергии взрыва.

С одной стороны, низкая температура зеленого щелока позволяет каплям плава быстро взрываться, создавая постоянные небольшие взрывы внутри объема смеси и громкий шум. С другой стороны, при высокой температуре капли плава могут скапливаться на дне бака, минуя взрыв, создавая при этом меньше шума, но потенциально большую энергию взрыва.

Поэтому следует избегать высокой температуры зеленого щелока и оптимизировать его перемешивание в баке-растворителе плава для обеспечения равномерной температуры [2, 3].

Иногда ошибка в эксплуатации приводит к превышению нормального потока плава, это происходит из-за наслоения большого количества застывшего плава, поэтому необходимо систематически очищать кожухи над летками плава, чтобы не допустить этого. Особое внимание следует уделять предотвращению забивания выходных отверстий леток плава, так как на поду топки накапливается большое количество плава, и при последующей прочистке образовавшейся пробки плав в большом количестве хлынет в бак-растворитель, что может привести к сильным хлопкам и даже взрыву. Поэтому летки плава должны постоянно находиться под наблюдением обслуживающего персонала.

На рисунке 4 показан внешний вид леток плава.

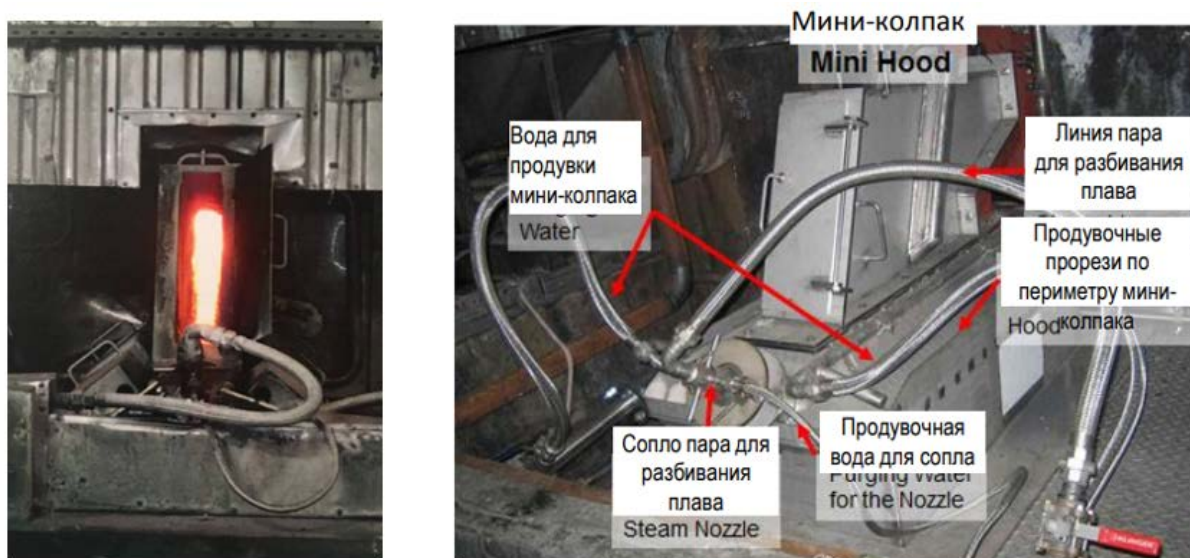


Рисунок 4. Летки плава

Нормальная работа кожухов летки требует текущего осмотра и обслуживания, включающего в себя прочистку, то есть ручную манипуляцию с плавом в летке с использованием длинного стержня для обеспечения потока плава из летки. При нормальной работе дверца для обслуживания на кожухе летки закрыта для сведения эффектов тяги бака к минимуму и для предотвращения повторного окисления плава, стекающего из летки. При прочистке дверцы для обслуживания открыты, и однородность потока плава, стекающего из летки, обычно нарушается из-за прочистки и/или тяги, вызванной либо газоочистительным вентилятором, либо естественной тягой вытяжной трубы. Этот неоднородный поток может негативно влиять на эффективность

распыления разбивающей струи, результатом чего являются либо маленькие взрывы, либо осадок материалов на нижних частях кожуха летки плава. Другие факторы могут также содействовать образованию накоплений плава на боковых стенках кожухов летки плава [4].

Для обеспечения безопасной работы персонала и снижения (сведения к минимуму) воздействий небезопасных условий было разработано вспомогательное оборудование и усовершенствовано несколько устройств, которые служат как для автоматизации, так и для устранения необходимости непосредственного участия оператора или минимизации воздействия небезопасных условий труда. Так, например, фирма Valmet разработала робота для отчистки леток плава.

Это новая система, предназначенная для повышения безопасности операторов и включающая независимую роботизированную руку, которая выполняет повторяющиеся задачи (рисунок 5).



Рисунок 5. Роботизированная рука для автоматической очистки леток плава

Преимущества этого робота:

- значительное снижение риска получения травм содовщиками из-за брызг;
- автоматическая и регулярная очистка леток;
- защитные заслонки останавливают робота, если персонал входит на выпускную площадку;
- меньшее количество персонала у выпускных отверстий для расплава.

Исследование способов предотвращения взрывов и хлопков в баке-растворителе плава содорегенерационного котлоагрегата и применение их на

практике позволит не только повысить безопасность, надежность и эффективность технологического процесса в целом, но и снизить время простоев СРК [5, 6]. В результате снизится количество аварийных ситуаций и, соответственно, экономические затраты на восстановительный ремонт/простой оборудования.

Список литературы:

1. Харазов, В. Г. Технология целлюлозно-бумажного производства : Справ. Материалы : В 3 т. / В. Г. Харазов и др. – СПб. : Изд-во С.-Петерб. гос. лесотехн. акад. (СПб ЛТА), 2008. – 621 с. – Текст : непосредственный. – ISBN 978-5-7325-0707-2. – EDN QNDPMF.
2. Jin, E., MacKenzie, M., Osborne, S. (2019) Modeling of the energy of steam-water explosion in the recovery boiler dissolving tank. *Pulping, Engineering, Environmental, Recycling and Sustainability (PEERS) Conference*.
3. Esa, K. (2005) Kraft recovery boilers – Principles and practice. *Vakkilainen, Suomen Soodakattilayhdistys*. 246.
4. Патент RU 2439431C2, 10.01.2012. Кожух летки плава для содорегенерационных котлов. Бюл. № 1. / Гибовски Стивен Р. – Текст : непосредственный.
5. Ковалев, Д. А. Разработка диагностической модели для подсистем содорегенерационного котлоагрегата / Д. А. Ковалев, Л. А. Русинов, В. В. Куркина. – Текст : непосредственный // «Системный синтез и прикладная синергетика» : Сборник научных работ XI Всероссийской научной конференции, п. Нижний Архыз, 27 сентября – 01 октября 2022 года. – Ростов-на-Дону – Таганрог : Южный федеральный университет, 2022. – С. 40-43. – DOI 10.18522/syssyn-2022. – EDN OYRYPT.
6. Kovalev, D. A. Increase in environmental safety of recovery boiler / D. A. Kovalev, L. A. Rusinov. – Текст : электронный // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : 4, Virtual, Online, 24–26 ноября 2021 года. – Virtual, Online, 2022. – P. 012068. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48012098> (дата обращения: 15.04.2023). – DOI 10.1088/1755-1315/990/1/012068. – EDN AOGERP.

© Рубцова М. А., Ковалёв Д. А., 2023

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПУТЁМ ПЕРЕРАБОТКИ МУСОРНЫХ ОТХОДОВ

студент **Тарасенко Виктория Алексеевна**,
студент **Шахова Анастасия Сергеевна**,
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент
Тихомирова Тамара Ивановна,
Белгородский государственный технологический
университет им. В. Г. Шухова,
г. Белгород, Российская Федерация

Аннотация. В настоящее время существует глобальная проблема, связанная с защитой экологии от множества мусорных полигонов, которые отрицательно влияют на жизнедеятельность людей. В статье рассмотрены основные виды и способы переработки мусорных отходов для получения энергоресурсов. Анализируются различные методы утилизации мусора и их влияние на окружающую среду

Ключевые слова: энергия, экология, производство, утилизация, бытовые отходы, ферментация.

ENERGY SAVING BY RECYCLING WASTE

Student **Tarasenko Victoria Alekseevna**,
Student **Shakhova Anastasia Sergeevna**,
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor
Tikhomirova Tamara Ivanovna,
Belgorod State Technological
University named after V. G. Shukhov,
Belgorod, Russian Federation

Abstract. Currently, there is a global problem related to the protection of the environment from a multitude of landfills that negatively affect people's livelihoods. The article discusses the main types and methods of recycling waste to obtain energy resources. Various methods of waste disposal and their impact on the environment are analyzed.

Keywords: energy, ecology, production, utilization, household waste, fermentation.

Повышение демографии, высокий уровень технического прогресса, нерациональное использование природных ресурсов привело к экологической катастрофе, которая выражается загрязнением океана полимерами, разрушением озонового слоя, глобальным потеплением. В какое-то время природа сама могла переработать мусорные отходы, но в связи с масштабным увеличением

технического производства увеличивается и количество отходов, а также из-за появления новых материалов, которые не способны разлагаться за короткий промежуток времени.

В настоящее время загрязнение окружающей среды различными отходами является глобальной проблемой для всего человечества, так как происходит загрязнение мирового океана, суши, продуктов питания человека. Ежедневно люди выбрасывают 0,7 килограмм мусора в день. Население планеты на данный момент составляет 7,9 миллиарда человек, следовательно, каждый день люди выбрасывают 5 с половиной миллионов тонн мусора.

Мусорные отходы несут большую опасность для здоровья человека. Многие страны не понимают всей сути экологической проблемы. Если государства первого мира стараются создать специальные условия и различные виды технического оборудования для переработки мусора, то в странах третьего мира проблемы с экологией не считаются важными. Различают несколько видов отходов: промышленные, бытовые, строительные и сельскохозяйственные.

Существует два основных способа выработки энергии из отходов: термохимический (сжигание, пиролиз, плазменная газификация, комбинированный) и биохимический (анаэробная, аэробная ферментация). Энергия из отходов — это процесс получения тепловой или электрической энергии путём переработки мусора. Благодаря этому способу получения энергии сокращается количество мусорных отходов, а также уменьшается количество мусорных полигонов, которых в России по официальным данным насчитывается 976. Несомненно, при альтернативном способе выработки энергоресурсов не используются природные ископаемые, которые с каждым годом сокращаются.

Сжигание мусорных отходов является распространённым методом переработки мусора, так как он обладает рядом преимуществ таких, как выработка тепловой энергии, уменьшения количества мусорных полигонов, устранения тепловой энергии. Опираясь на официальное определение российского законодательства, сжигание мусорных отходов нельзя назвать утилизацией, а это является термическим процессом окисления с целью уменьшения объема отходов и извлечения из них ценных материалов, золы или получения энергии. Безусловно этот процесс представляет собой сложную технологическую работу, которая несёт вред окружающей среде из-за выхлопов и может привлечь к ухудшению здоровья населения. Для получения различных видов энергии используют различные способы сжигания отходов.

Для сжигания мусорных отходов используют определённые виды сырья, которые должны соответствовать указанным стандартам. Отсутствие пластика, проводов, аккумуляторов, прочих фракций является важным требованием при утилизации мусора. Существует правило, что запрещено производить сжигание с хлористыми и углеродными веществами при температуре выше 1000 градусов, так как происходит выделение диоксинов, который является токсичным соединением для человека. Если раньше нельзя было сжигать твёрдые бытовые отходы, то после поправки в законе «Об отходах производства и потребления» в 2019 году было принято сжигать твёрдые бытовые отходы. В чём же состоит опасность? В России широко не популяризировано разделение мусора, поэтому

при сжигании отходов в топку могут попасть батарейки, ртутные термометры, которые выделяют токсичные вещества, загрязняющие водную, земную, воздушную сферу.

Целью сжигания мусорных отходов является не только уменьшение количества мусорных полигонов, но и использование альтернативного источника энергии, применение на технологическом производстве, рециклинг и возврат в производственный цикл после обработки. Как же происходит выработка энергии при сжигании мусора? (Рисунок 1) Для такого технологического процесса используют горючий материал, который при высокой температуре начинает воспламеняться, и при горении происходит выделение тепловой энергии.

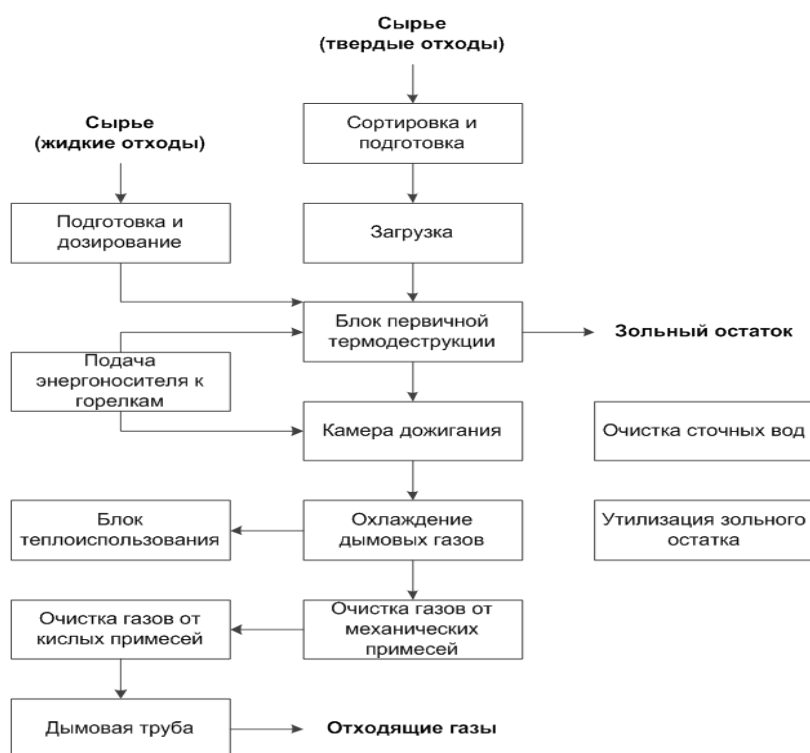


Рисунок 1. Схема для различного получения энергии путём сжигания отходов

Эффективность выработки тепловой энергии намного выше выработки электроэнергии. Существует для этого два вида технологий выработки тепловой и электрической энергии. К первому типу относится тепловая станция, в которой происходит сжигание различных отходов таких, как древесные, лакокрасочные, производственные, коммунальные услуги и тому подобие. При сжигании мусора происходит выделение перегретого пара, который используют для удовлетворения бытовых нужд, например, отопления, и для выработки электроэнергии. Ко второму типу переработки отходов относится сжигание во вращающихся барабанах. В этом способе используют медицинские, бытовые и промышленные сточные воды, где происходит сжигание при высокой температуре [1].

Пиролиз – один из эффективных способов переработки мусора. Этот процесс происходит при высокой температуре и отсутствии кислорода, далее

нагретый газ направляется в теплообменник, где происходит понижение температуры и выделение частично конденсата. Летучие газы далее переходят в технический возжигатель. Для пиролиза используются как компостируемые (пищевые отходы), так и некомпостируемые (резина, пластик, кожа) вещества. Как любой вид переработки отходов, пиролиз имеет ряд проблем, связанных с термическим разложением. Отрицательная сторона состоит в том, что твёрдые бытовые отходы состоят из множества химических элементов. Пиролиз распространён в Западной Европе, США и Южной Азии, но в России ему сложно распространиться из-за того, что общество не распределяет мусор. Следующим фактором, оказывающим торможение распространения пиролиза в России, является дорогостоящее оборудование и его обслуживание, которые не позволяют конкурировать наравне с аналогичными способами выработки мазута и газа в нашей стране. Положительная сторона данного метода заключается в том, что он безвреден по отношению к природе.

Цель данного метода переработки мусорных отходов состоит в том, чтобы получить из вторичного сырья полезные продукты, которые можно использовать в производстве. Таким образом, при пиролизе при высоких температурах выделяется синтез газа, а при низких температурах – твёрдый остаток. Техника данного метода способна использовать сырьё в качестве энергетического топлива. Пиролиз – своеобразный метод переработки мусорных отходов, который имеет ряд отличительных качеств, таких как замкнутый цикл, сокращающий выброс вредных примесей в атмосферу, минимальная энергетическая затратность, конечный продукт без примесей. Благодаря пиролизу выделяется значительное количество теплоты. В ходе переработки обыкновенного мусора на выходе вырабатываются различные виды энергии такие, как тепловая и электрическая. Появляется возможность получить синтез газа, который можно использовать в химической промышленности для выработки сырья, печное топливо и жидкие топлива (бензин, дизельное топливо).

Плазменная газификация – это один из экологических методов переработки мусорных отходов. В этом эффективном способе нет необходимости в дополнительной подготовке сырья для утилизации, а также метод безвреден к природе и человеку, потому что уменьшается выбрасывание парниковых газов в атмосферное пространство. Суть переработки состоит в том, что происходит окисление органических веществ путём термической обработки. В дальнейшем синтетический газ из переработанных мусорных отходов используют в производстве. Конечным продуктом данного метода является генераторный газ и минеральный продукт.

Для переработки используются различные отходы, такие как коммунальные, промышленные, шламы, уголь. Целью данного метода переработки мусора является модификация вредных и органических соединений в газообразное сырьё. Плазменная газификация (рисунок 2) имеет ряд положительных сторон, которые уменьшают количество проблем в экологической и экономической сфере. Стоит отметить, что данный вид переработки мусорных отходов работает за счёт выработанной энергии. Для

организации такого трудного метода необходим персонал, но минимальное его количество. При выгрузке мусорных отходов нет в необходимости перераспределения. После переработки конечный продукт является безопасным для окружающей среды и человека, а также из него можно вырабатывать топлива и стройматериалы. Как и в самом качественном методе есть недостатки — это высокая стоимость оборудования и обучение персонала, так как конструкция имеет ряд сложностей.

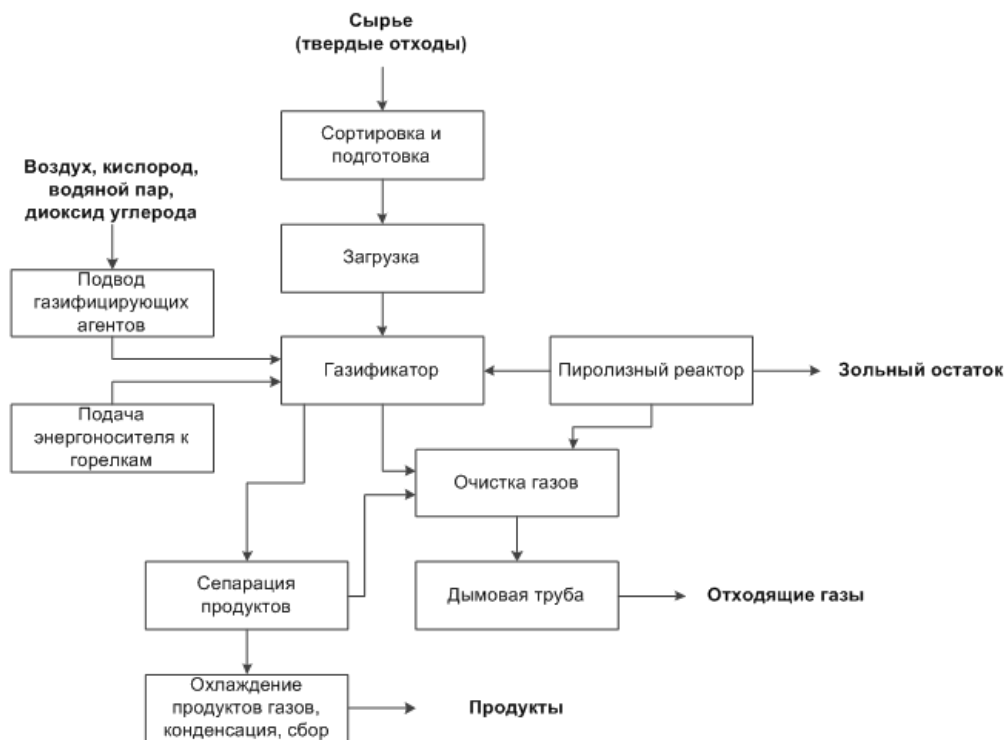


Рисунок 2. Схема для переработки отходов методом плазменной газификации

Местом рождения плазменной газификации можно считать институт атомной энергии им. Курчатова. Над этим сложным проектом работали несколько стран, включая Россию. Первый завод по переработке мусорных отходов методом плазменной газификации был создан в Израиле. На данный момент этот способ утилизации является самой экологической технологией. В плазменной газификации устраняется не только экологическая проблема, но и энергетическая. В процессе утилизации выделяется газ для личного использования, который не выбрасывается в атмосферу и не загрязняет её, благодаря закрытому процессу.

Комбинированный метод переработки мусора основан на совмещении двух способ утилизации отходов, один из которых является ведущим. Комбинирование не убирает минусы в обоих методах, а делает способ более экологическим и экономическим, в отличие, если бы эти два метода работали по одиночке. Комбинированная переработка (рисунок 3) состоит из нескольких процессов, таких, как термическая, ферментация, которые образуют в конечном результате малое количество отходов, что не маловажно для экологической сферы.



Рисунок 3. Схема для переработки мусорных отходов комбинированным путём

В настоящее время наиболее распространенным является пиролиз-сжигание и пиролиз-газификация. Благодаря этим методам можно переработать избытки активного ила, осадки водоочистных сооружений, а также нефтяных шламов.

Биохимическая переработка мусорных отходов происходит при взаимодействии бактерий, который образуют активный ил, где происходят биохимические реакции, изменяющие органические вещества. Эти реакции протекают с большой скоростью, так как бактерии при соединении с органическими веществами начинают процесс размножения. Кислород играет немало важную роль в биохимической переработке, он выполняет как увеличение скорости разложения мусорных отходов, так и уменьшение. Такой способ переработки является наиболее экологическим, а также экономным.

Аэробная ферментация – это один из видов биохимической переработки, который называют компостированием. В этом методе происходит взаимодействие органических веществ при перемешивании. В ходе ферментации происходит саморазогрев, где происходит уничтожение вредоносных микроорганизмов. На первоначальном этапе происходит полное разложение органических веществ. Образованная биомасса является высокомолекулярным веществом, где происходит увеличение концентрации азота. В конечном итоге ферментации объём биомассы значительно сокращается и остаётся энергетическое сырьё. Этот метод переработки мусорных отходов подходит как для твёрдофазных, так и для жидкофазных веществ. Существует разница с анаэробной ферментацией, заключающаяся в быстроте компостирования при высоких температурах без запаха. Аэробная ферментация происходит с мезофильными и термофильными бактериями.

Аэробная ферментация зависит от различных факторов, таких как влажность воздуха, температура, кислотность среды. Этот метод используют для переработки твёрдого сельскохозяйственного мусора. Для утилизации, в первую очередь, используется вода, которая находится в водоёме для окисления. Эта установка, где происходит анаэробная ферментация, представляется в виде ёмкости глубиной приблизительно полтора метра. В этом оборудовании на поверхности водоёма

растут водоросли, которые выделяют кислород, тем самым повышают качество система. Существуют как положительные, так и отрицательные стороны этого метода переработки отходов. К плюсам можно отнести то, что анаэробная ферментация не требует специального механизма и персонала. К минусам относятся долговременность процесса, специальная обстановка для размножения насекомых, увеличение масштабных отходов, которые разлагаются в анаэробных условиях.

Качественным аналогом аэробной ферментации является анаэробная ферментация. Этот способ утилизации отходов является одним из основных методов биохимической переработки. Этот процесс характеризуется тем, что происходит разложение органических веществ в анаэробных условиях. Для каких отходов используют анаэробную ферментацию? Этот метод используют для различных сельскохозяйственных отходов, таких как отходы от переработки зерна, от молочных, а также различная природная растительность. Стоит отметить, что наиболее качественно перерабатывается влажное сырьё, так как в нём находится большой процент органических веществ. Анаэробная ферментация имеет широкое применение во многих странах, потому что в этом методе усовершенствуется процесс очистки и компактность сооружений [2, 3, 4, 5, 6, 7].

Существуют главные критерии, от которых зависит анаэробная ферментация, температура и содержание сухого вещества в отходах. При температуре от 35 до 55 градусов процесс анаэробного сбраживания происходит гораздо качественнее и быстрее. Чем выше температура ферментации, тем выше скорость разложения органического вещества. Количество сухого вещества в отходах указывает на его агрегатное состояние. Если сухого вещества в органическом веществе находится 10-15%, то ферментация является жидкофазной, а если сухого вещества находится 20-25%, то ферментация является твёрдофазной. В схеме переработки ТБО (твёрдых бытовых отходов) показан процесс с включением способа анаэробной ферментации (рисунок 4).



Рисунок 4. Схема переработки ТБО с включением анаэробной ферментации

Основным конечным продуктом анаэробной ферментации является биогаз, который используют в качестве энергетического топлива для производства тепла, электроэнергии и пара. За рубежом с помощью этой биохимической переработки научились также добывать компост, который применяют для удобрения почвы. Таким образом, предложенные методы переработки мусорных отходов помогают снизить нанесение вреда экологии, а также уменьшить энергетическое потребление исчерпаемых ресурсов.

Список литературы:

1. Энергия из отходов: утилизация мусора с пользой для планеты: [сайт]. – 2018. – URL: <https://rcycle.net/pererabotka/energiya-iz-othodov-utilizatsiya-musora-s-polzoi-dlya-planety/> (дата обращения: 10.04.2023). – Текст : электронный.
2. Лунева, О. В. Пиролиз – перспективная технология переработки ТБО / О. В. Лунева, В. И. Горда, Е. С. Матпак. – Текст : непосредственный // Твёрдые бытовые отходы. Отраслевые ведомости. – М. – 2007. – № 1 (19). – С. 136-138.
3. Гунич, С. В. Перспективы развития пиролитической технологии переработки органических компонентов твёрдых бытовых отходов в моторное топливо / С. В. Гунич, Е. В. Янчуковская. – Текст : непосредственный // Вестник ИрГТУ. – 2011. – № 2 (49). – С. 128-132.
4. Шарина, И. А. Перспективы использования плазменной газификации технологии для переработки/уничтожения техногенных отходов / И. А. Шарина, Л. Н. Перепечко, А. С. Аньшаков. – Текст : непосредственный // ЭКО. – 2016. – №12. – С. 28-35.
5. Цыплаков, В. Ю. Транспортировка и комбинированная переработка твердых бытовых отходов / В. Ю. Цыплаков. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2010. – № 9 (20). – С. 51-52.
6. Аэробная ферментация при переработке ТБО: [сайт]. – URL: <https://ztbo.ru/otbo/lit/tehnologii-otxodov/aerobnaya-fermentatsiya/> (дата обращения: 10.04.2023). – Текст : электронный.
7. Анаэробная ферментация при переработке ТБО: [сайт]. – URL: <https://ztbo.ru/otbo/lit/tehnologii-otxodov/anaerobnaya-fermentatsiya/> (дата обращения: 10.04.2023). – Текст : электронный.

© Тарасенко В. А., Шахова А. С., 2023

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОЛЗУЧЕСТИ НА НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ НЕОБОГРЕВАЕМОГО ГИБА СТАЦИОННОГО ТРУБОПРОВОДА С ПОМОЩЬЮ ANSYS

студент **Клейдман Максим Дмитриевич**,
канд. ф.-м. наук, доцент **Клейдман Ольга Владимировна**,
Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассматривается влияние ползучести на напряженно-деформированное состояние необогреваемогогиба стационарного трубопровода при различных условиях закрепления с течением времени в 10 тыс. часов. Приводятся результаты, полученные методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS.

Ключевые слова: гиб трубопровода, ползучесть, метод конечных элементов, МКЭ, ANSYS, прочность, НДС.

ANALYSIS OF THE EFFECT OF CREEP ON THE STRESS-STRAIN STATE OF THE UNHEATED BEND OF A STATION PIPELINE USING ANSYS

Student **Kleidman Maxim Dmitrievich**,
PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor
Kleidman Olga Vladimirovna,
Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russian Federation

Abstract. The paper considers the effect of creep on the stress-strain state of an unheated bend of a station pipeline under various conditions of fixing over a period of 10 thousand hours. The results obtained by the finite element method in the ANSYS software package are presented.

Keywords: pipeline bend, creep, finite element method, FEM, ANSYS, strength, SSS.

Проблемы ползучести и длительной прочности особенно актуальны в связи с совершенствованием ремонтных, диагностических технологий и обеспечением долговечности паропроводов [1, 2]. Трубопроводы работают при высоких температурах и давлениях, что увеличивает вероятность возникновения ползучести, а следовательно, трещин и разрушений. Расчет на прочность и долговечность основывается на допустимых напряжениях и деформациях, а при учете ползучести эти параметры могут значительно измениться. Ползучесть зависит от многих факторов, таких как температура, давление, химический

состав материала, время нагружения и др. Поэтому анализ ползучести позволяет более точно определить параметры, необходимые для расчета на прочность и долговечность. График измерений остаточной деформации ползучести проводится с начала использования паропроводов для того, чтобы не упустить критический уровень накопленной деформации. Эти экспериментальные исследования ползучести весьма затратные и долговременные, поэтому расчетные исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов паропроводов при ползучести [3] имеют большое значение для достоверной оценки их длительной прочности при эксплуатационных воздействиях.

Крепления играют важную роль в обеспечении безопасности эксплуатации паропроводов и могут выдерживать различные нагрузки, такие как вес труб, давление пара, термические напряжения, воздействие ветра. Они также могут предотвращать колебания, вибрации и другие виды динамических нагрузок, которые могут повредить трубы и вызвать аварийные ситуации. При проектировании и монтаже трубопровода необходимо учитывать возможные изменения его размеров при изменении температуры и предусматривать компенсационные элементы (например, расширительные колена), которые позволят уменьшить нагрузку на опоры и крепления. В поставленной задаче используются неподвижные опоры.

Для отведения пара из котла используются паропроводы, представляющие весьма ответственную часть всякой котельной установки. На предприятиях применяют пар в качестве технологического продукта или энергоносителя. Если в такой трубной системе есть гибы, то в этих местах напряжения могут быть особенно высокими из-за снижения упругости металла в этой зоне. Также гибы могут привести к неодинаковому расширению труб, поскольку они не подвергаются одинаковым температурным воздействиям, что может вызвать дополнительные напряжения. Чтобы предотвратить повреждения паропроводов, необходимо тщательно просчитывать размеры и другие параметры НДС именно в гйбах.

В данной работе был рассмотрен необогреваемый гйб стационарного трубопровода (рисунок 1), который применяется для отбора пара на подогреватель высокого давления (ПВД) с давлением 4 МПа и температурой 545°C, диаметром 159 мм и толщиной стенки 7 мм, общая протяженность трубопровода 4242 мм. Разработана и отлажена расчетная схема необогреваемого гйба паропровода в программном комплексе ANSYS [4, 5, 6]. Программный пакет ANSYS основан на методе конечных элементов (МКЭ) [7], который нашел применение как средство моделирования процессов и их прогнозирования в таких отраслях промышленности как двигателестроение, машиностроение, энергетика, автомобилестроение, судостроение, железнодорожный транспорт и т. д.

При построении модели использовался восьмиузловой конечный элемент Solid 185 для создания упорядоченной сетки. Расчетная схема содержит 14850 конечных элементов (рисунок 2). Рассмотрено три варианта закрепления трубопровода, при влиянии условия ползучести с течением времени в 10 тыс. часов, включая вариант закрепления трубопровода, который используется на практике. Используются в расчётной схеме механические свойства материала Ст.20: временное сопротивление 412-549 Мпа, предел текучести 216 Мпа, коэффициент температурного расширения $13.6 \cdot 10^{-6}$ [1/Град], плотность 7736 кг/м³, модуль Юнга $2 \cdot 10^{11}$ Па и коэффициент Пуассона 0.3; Для нелинейного расчета задается Модель Нортона с коэффициентами: $C_1=1,407956$ и $C_2=2,476155$.

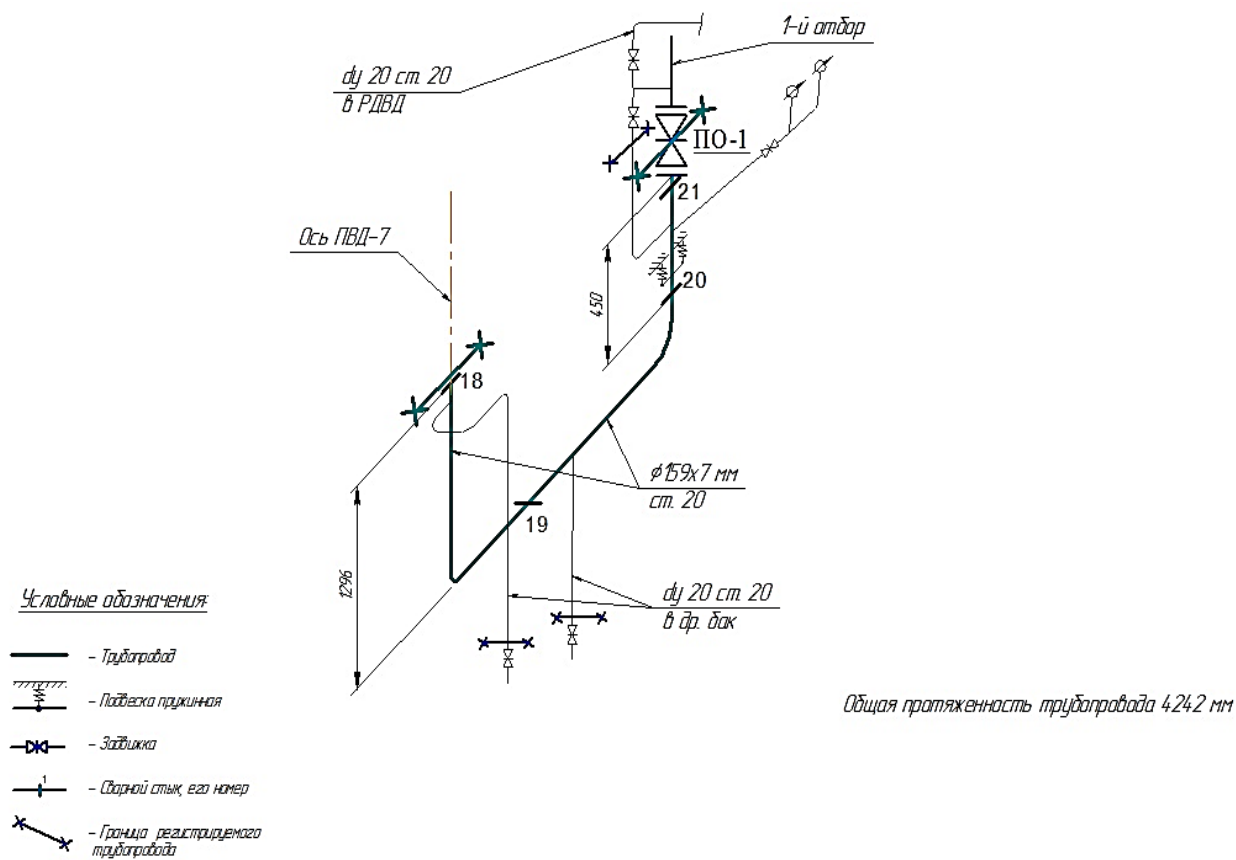


Рисунок 1. Трубопровод отбора пара на ПВД

Для выбранного варианта закрепления при статическом расчете максимальная интенсивность напряжений составила 66,997 Мпа и 61,772 Мпа при нелинейном расчёте для 10 тыс. часов с интенсивностью деформации ползучести 0,01364. На рисунке 3 и рисунке 4 отображены зоны роста напряжений и деформаций в областигиба трубопровода. Для других рассмотренных условий закрепления результаты меняются незначительно. Разработанный алгоритм позволяет с высокой точностью увидеть перемещения и другие параметры НДС в любой точке модели. Например, учёт овальности (половина разницы наибольшего и наименьшего диаметров, сечение имеет

эллиптическую форму) в местах изгиба труб в построенной расчётной схеме показал, что напряжения меняются более, чем 1,5 раза (не случайно существует допуск на овальность для каждого значения диаметра трубы). При одинаковом значении внутреннего давления получена интенсивность напряжений с учётом овальности 153 Мпа, без учёта 86,7 Мпа (рисунок 5).

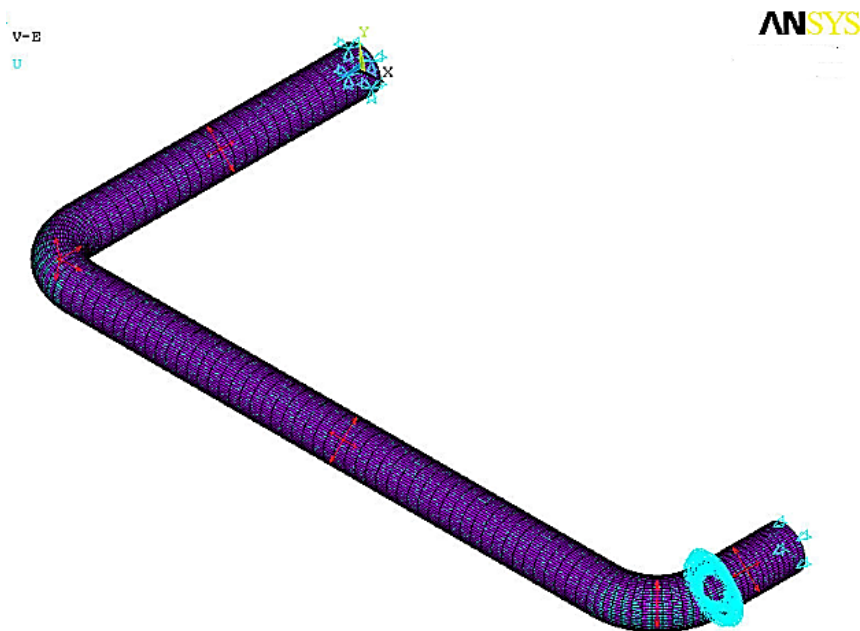
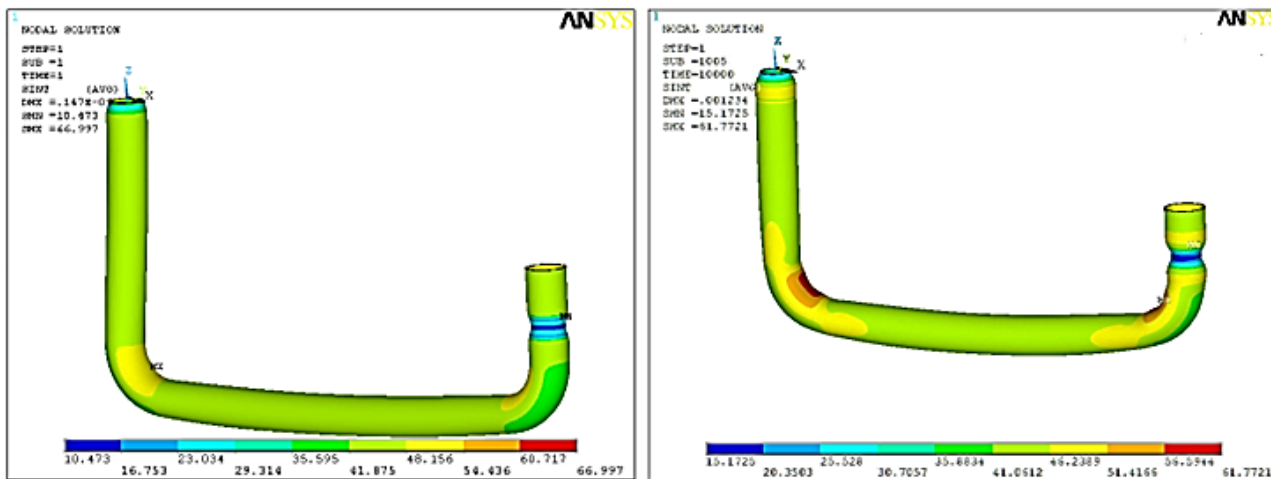


Рисунок 2. Конечно-элементная модель в ANSYS трубопровода с закреплением



а) при статическом расчёте

б) при нелинейном расчёте для 10 тыс. ч

Рисунок 3. Изолинии интенсивности напряжений

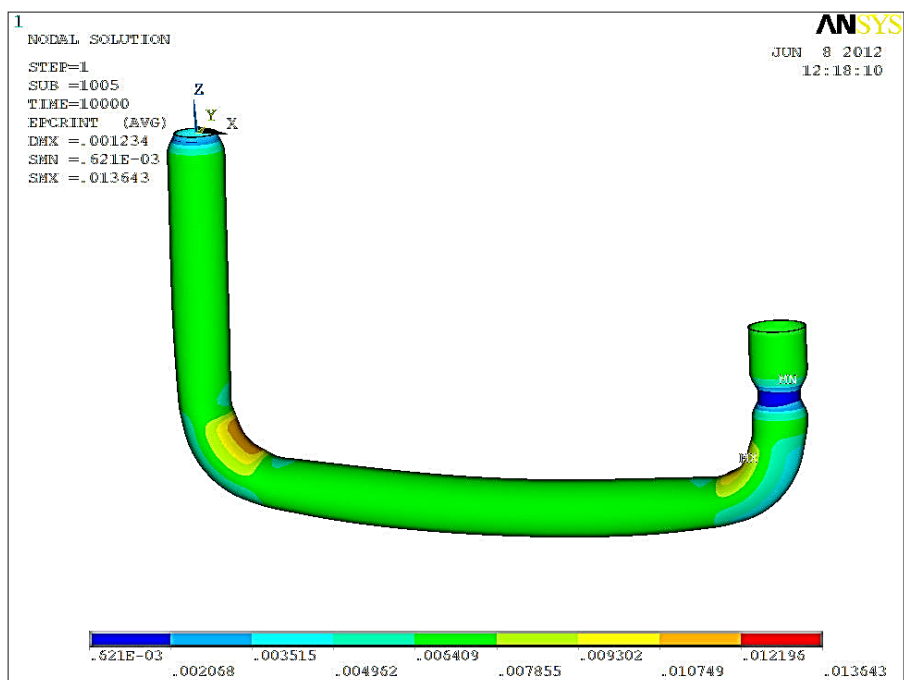


Рисунок 4. Изолинии интенсивности деформации ползучести для 10 тыс. часов

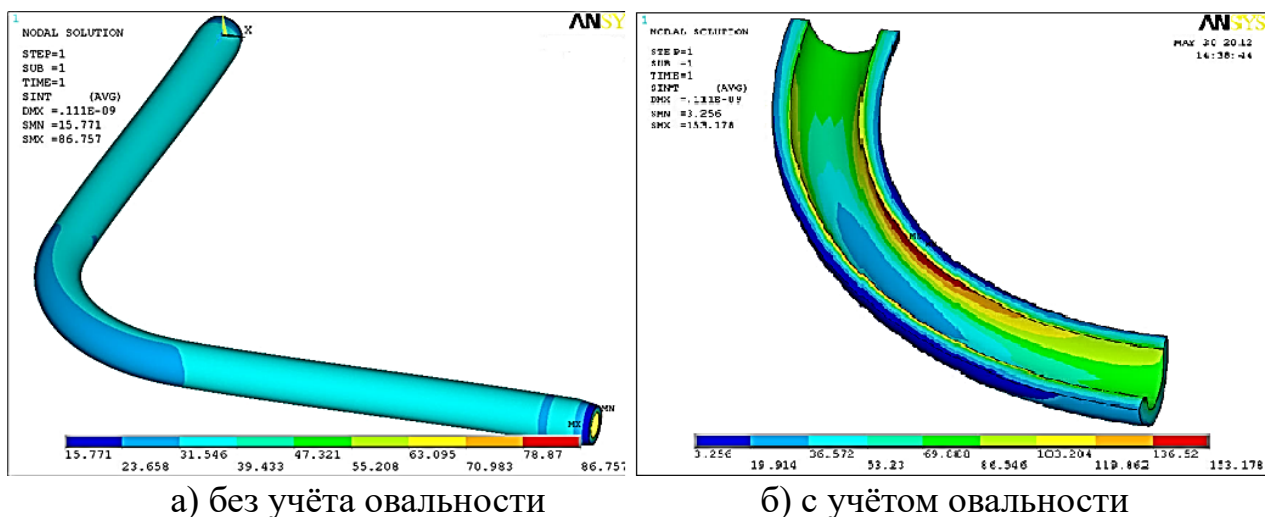


Рисунок 5. Изолинии интенсивности напряжений при линейном расчёте

Для рассмотренных трёх вариантов закрепления максимальные деформации не превышают допустимых значений $\varepsilon=0,1\%$, также при учёте ползучести наблюдается увеличение деформации и снижение значений напряжений за 10 тыс. часов, интенсивность напряжений не достигает предела прочности с достаточным запасом. Построен и отлажен универсальный алгоритм для решения поставленной проблемы.

Список литературы:

1. Шакурова, Р. З. Методика проведения оперативного диагностирования трубопроводов энергетических систем и комплексов / Р. З. Шакурова, С. О. Гапоненко, А. Е. Кондратьев. – Текст : электронный // Известия высших учебных

заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – Том 22. – № 6. – С. 188-201. – URL: <https://www.energyret.ru/jour/issue/view/47/showТoc/> (дата обращения: 30.04.2023).

2. Ваньков, Ю. В. Повышение надежности транспортировки тепловой энергии до потребителей в условиях модернизации системы горячего водоснабжения / Ю. В. Ваньков, И. Н. Запольская, С. О. Гапоненко. – Текст : электронный // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2020. – № 4 (48). – С. 29-37. – URL: <https://vkgeu.ru/архив/> (дата обращения: 30.04.2023).

3. Бондарь, В. С. Прикладная теория неупругости / В. С. Бондарь, Д. Р. Абашев. – Текст : электронный // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2018. – № 4. – С. 145-160. – URL: DOI: 10.15593/perm.mech/2018.4.14 (дата обращения: 30.04.2023).

4. Морозов, Е. М. ANSYS в руках инженера. Механика разрушения / Е. М. Морозов, А. Ю. Муйземнек, А. С. Шадский. – Москва : Издательство «Ленанд», 2010. – 456 с. – Текст : непосредственный.

5. Каплун, А. Б. ANSYS в руках инженера. Практическое руководство / А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева. – Москва : Издательство «Машиностроение», 2003. – 272 с. – Текст : непосредственный.

6. Басов, К. А. ANSYS в примерах и задачах / К. А. Басов. – Москва : Издательство «КомпьютерПресс», 2002. – 224 с. – Текст : непосредственный.

7. Клейдман, О. В. Анализ свободных и вынужденных колебаний сосудов и баллонов высокого давления из композитных материалов на основе МКЭ. Подогреватель высокого давления и ресивер водорода / О. В. Клейдман, М. Д. Клейдман. – Текст : непосредственный // Материалы XI-й международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы 2022, Ч. 2» (МНТК «ИМТОМ–2022»). – Казань, 2022. – С. 189-191.

© Клейдман М. Д., Клейдман О. В., 2023

АНАЛИЗ ПРИСУТСТВИЯ РОССИИ НА МЕЖДУНАРОДНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЫНКАХ

студент **Кузьмин Арсений Алексеевич**,
студент **Карпова Екатерина Валерьевна**,
студент **Байдецкая Мария Сергеевна**,
науч. руководитель: канд. экон. наук, доцент
Трофимова Татьяна Витальевна,
Нижегородский институт управления,
Российская академия народного хозяйства и государственной службы
при президенте Российской Федерации,
г. Нижний Новгород, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассматриваются перспективы дальнейшего доминирования Российской Федерации в энергетической отрасли на мировой арене, влияние политических потрясений на нынешнюю ситуацию в этой сфере и тенденции развития в дальнейшем, а также потенциал России в условиях истощения ископаемых энергоресурсов.

Ключевые слова: водород, энергия, перспективы, риски, потенциал, ископаемые, рынок.

ANALYSIS OF RUSSIA'S PRESENCE IN INTERNATIONAL ENERGY MARKETS

Student **Kuzmin Arseniy Alekseevich**,
Student **Karpova Ekaterina Valeryevna**,
Student **Baidetskaya Maria Sergeevna**,
Academic Advisor: PhD in Economics, Associate Professor
Trofimova Tatiana Vitalievna,
Nizhny Novgorod Institute of Management, Russian Presidential Academy of
National Economy and Public Administration,
Nizhny Novgorod, Russian Federation

Abstract. The paper examines the prospects for the further dominance of the Russian Federation in the energy industry on the world stage, the impact of political upheavals on the current situation in this area and future development trends, as well as Russia's potential in terms of depletion of fossil energy resources.

Keywords: hydrogen, energy, prospects, risks, potential, minerals, market.

Недавнее положение России. Российская Федерация – обладатель огромных запасов нефти (шестое место в мире с 6 % от всех мировых запасов), газа (первое место в мире с 19 % от всех мировых запасов), угля (второе место в мире с 17 % от всех мировых запасов) и урана (четвёртое место в мире с 9 % от

всех мировых запасов). Это делало и делает её одним из важнейших экспортёров энергоносителей в мире, в особенности в страны Европы (рисунок 1) и Азии (рисунок 2), что давало и даёт ей определённые «рычаги давления» на мировой арене.

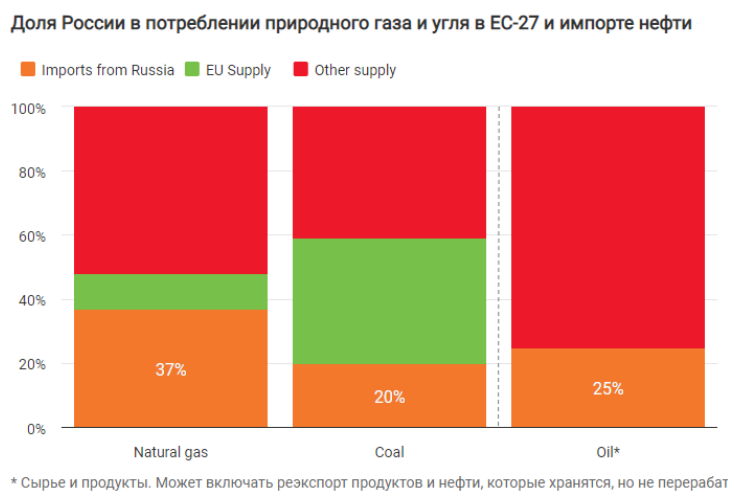


Рисунок 1. Доля импорта энергоносителей из России в страны Европы в 2021 г.

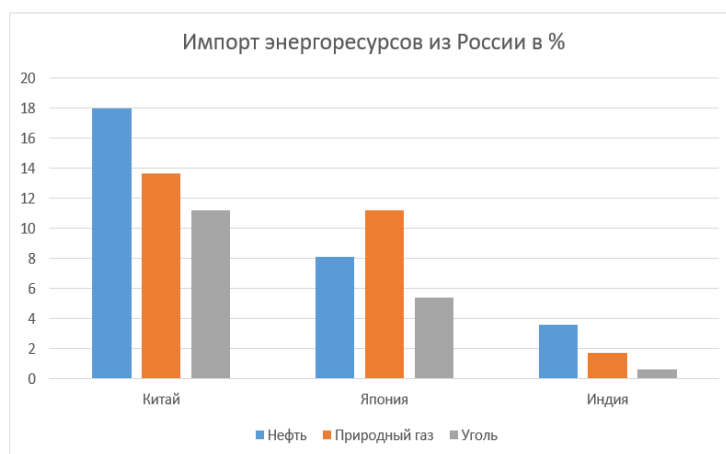


Рисунок 2. Доля импорта энергоносителей из России в страны Азии в 2021 г.

Начиная со времён Л. И. Брежнева и заканчивая началом 2022 года, энергетическое влияние России на мировые рынки энергоресурсов только возрастало, что делало её вторым крупнейшим экспортёром нефти и первым экспортёром газа в мире. Эта экспансия на рынке энергоресурсов становилась всё более и более интенсивной, в особенности она проявлялась на европейском субконтиненте, о чем свидетельствовало строительство новых газовых трубопроводов, таких как «Северный поток-2» и «Турецкий поток». Но в связи с политическими событиями 2022 года этот процесс приостановился.

Текущее положение России. В настоящий момент позиции Российской Федерации на мировых рынках энергоресурсов пошатнулись ввиду наложенных экономических санкций, а также попыток недружественных стран (рисунок 3) полностью исключить энергоносители из России.

экспорту газа. Так, примерно 60-65 % всего российского экспорта газа приходилось на страны Европы. Резкая переориентация таких объёмов поставок является невозможной из-за технических ограничений – слишком малых пропускных мощностей газа в страны Азии, которые ограничиваются несколькими ветками. Пропускная способность уже существующих газопроводов на Востоке не достигает мощностей европейских ветвей, а окончание проекта «Сила Сибири - 2» ожидается только через несколько лет. Это делает проблему диверсификацию экспорта газа практически нерешаемой в краткосрочном периоде (рисунок 5).

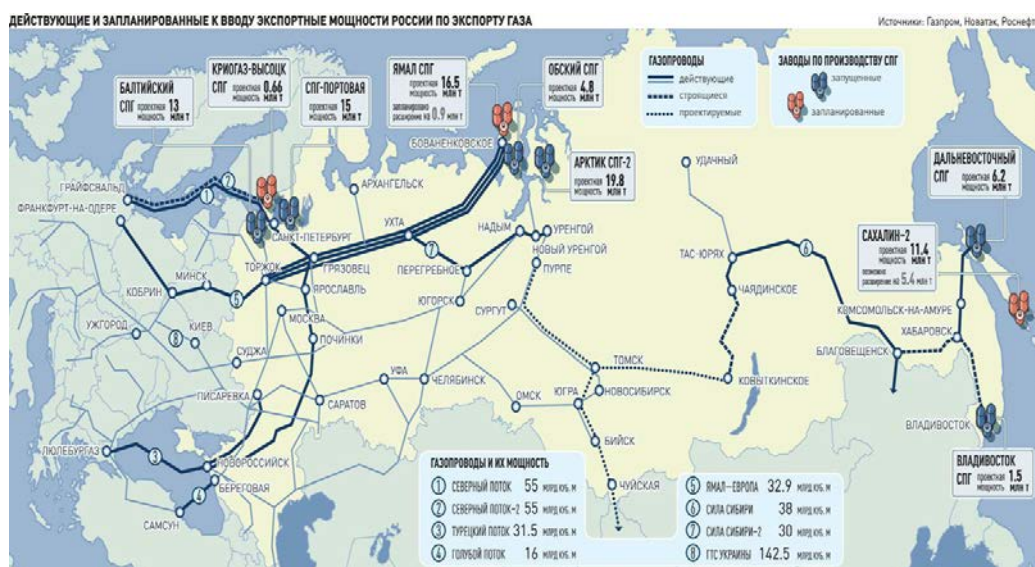


Рисунок 5. Карта газопроводов из России в другие страны с указанием мощностей

Перспективы России по доминированию на газовых и нефтяных рынках. Точно предсказывать дальнейшие события и делать долгосрочные прогнозы практически невозможно ввиду постоянных изменений в мире и большого количества политических потрясений, но анализируя текущую ситуацию, можно сделать краткосрочный и среднесрочный прогноз по будущей роли России на мировых рынках энергоресурсов.

Наиболее реалистично возможно построить план развития газовой отрасли РФ. В краткосрочном и среднесрочном периоде её ждёт сильный спад ввиду нескольких основных факторов. Во-первых, ранее упомянутые технические ограничения, которые не позволят в ближайшем будущем выйти на крупнейшие рынки Индии и Китая. Во-вторых, меньшая рентабельность поставок газа в другие страны, нежели в государства Европы. В-третьих, малое число возможных покупателей природного газа. Эти факторы окажут крайне негативное влияние на будущее развитие газовой отрасли России, что наблюдается уже сейчас в снижении добычи природного газа на 10 % в первом квартале 2023 года относительно того же периода 2022 года.

Но есть ряд положительных аспектов, которые смягчают негативный эффект вышеперечисленных факторов, а именно рост поставок в Китай и увеличение экспорта сжиженного природного газа (СПГ) в страны мира. Несмотря на это,

перспективы России на газовом мировом рынке не отличаются оптимизмом в краткосрочном и среднесрочном периоде.

Что же касается нефтяного мирового рынка, то сделать прогноз сложнее ввиду отсутствия полной достоверной информации о нынешних поставках нефти, в особенности в страны Европы, из-за схем по манипуляции принятыми ими же санкционными мерами. Но, анализируя данные об увеличении поставок в страны Азии и уменьшении в страны Европы, можно составить возможный план развития событий на нефтяном мировом рынке. Наиболее вероятным сценарием в краткосрочном и среднесрочном периоде является потеря Россией своих позиций на международных рынках нефти и нефтепродуктов. Это связано в большей мере с двумя важнейшими факторами риска: во-первых, вышеупомянутый риск неустойчивости новых экономических связей ввиду давления на новых партнёров стран, недружественных России; во-вторых, снижение нефтяных доходов и соответственно, снижение рентабельности продаж нефтепродуктов ввиду менее прибыльного азиатского рынка, из-за большей конкуренции экспортёров. Также в России наблюдается тенденция снижения добычи нефти. Так, вице-премьер, А. В. Новак допустил снижение добычи нефти в России в 2023 году до 5 % относительно уровня добычи в 2022 году. Это свидетельствует о снижении доли России на нефтяном мировом рынке.

Оправдание предложенных выше сценариев несёт крайне негативные эффекты дальнейшего развития России ввиду того, что более трети всех поступлений в бюджет РФ идёт исключительно от нефтегазовых доходов (рисунок б), из-за чего бюджет будет недополучать огромные денежные средства и, как результат, будет дефицитным.



Рисунок 6. Основные параметры федерального бюджета РФ с 2019 по 2022 год

Уже за первые 4 месяца по данным министерства финансов дефицит бюджет составляет 4,4 трлн рублей, что уже выше запланированного дефицита на год в 3,9 трлн рублей. Этот факт может привести Россию в крайне тяжёлое положение, когда покрывать нехватку финансов будет нечем ввиду малых перспектив по размещению ОФЗ на рынках ценных бумаг, из-за низкого кредитного рейтинга, а также малого спроса на них в связи со статусом России на крупнейших рынках ценных бумаг в качестве изгоя. Всё это в совокупности может перерасти в то, что правительство РФ

окажется в сложной ситуации, когда уменьшать расходы сложно ввиду ведения дорогостоящей внешней политики, эмиссия денег для покрытия дефицита приведёт к разгону инфляции, а бездействие к дефолту. Но несмотря на это, у России есть «финансовая подушка» в виде фонда национального благосостояния (ФНБ), средствами которого можно покрывать дефицит достаточно продолжительное время, которого может быть достаточно до восстановления макроэкономических показателей и создания устойчивых торговых связей.

В противовес вышеизложенным пессимистичным сценариям существует хоть и маловероятный, но оптимистичный ход развития событий. Основная его концепция заключается в том, что после разрешения военного конфликта с Украиной начнётся период «разрядки» внешнеполитического напряжения с недружественными странами, что поспособствует началу восстановления торгового сотрудничества, существовавшего до 2022 года. Это, в свою очередь, приведёт к положительному ходу развития событий ввиду того, что в данном случае Россия сможет вернуться на богатые потерянные рынки, сохраняя при этом уже установленные торговые связи с крупными торговыми партнёрами стран Азии и Ближнего Востока. Благодаря этому Российская Федерация сможет расширить своё влияние на мировую энергетическую отрасль, а также диверсифицировать свои торговые связи, что поспособствует меньшей её зависимости от финансовых потоков от какого-либо экономического партнёра. Но этот сценарий маловероятен ввиду того, что снижение напряжения даже после завершения конфликта – долгий и сложный процесс, что будет тормозить процесс снятия экономических санкций. Если приводить в пример Иран, то он находится под экономическими санкциями уже более сорока лет.

Перспективы России на энергетическом рынке в ходе развития новых источников энергии и истощении традиционных энергоносителей. Министерство природы сделало прогноз, что нефти в России при текущем уровне добычи хватит приблизительно на 20-40 лет, а газа до 100 лет, что в будущем приведёт к колоссальным изменениям в структуре её экономики. В связи с этим Российской Федерации требуется развивать новые направления добычи, выработки и передачи энергии, которые позволят сохранить и укрепить свои позиции на рынках энергоносителей. В современном мире рассматриваются и развиваются в основном два потенциальных источника энергии: во-первых, традиционная зелёная энергетика, которая включает в себя солнечную энергию, энергию ветра, а также энергию, вырабатываемую ГЭС, во-вторых, выработка энергии с использованием водорода в качестве топлива. Для России первый вариант не подходит ввиду неблагоприятных климатических и географических условий для их использования, поэтому наибольшим потенциалом обладает направление по развитию энергетики на основе водорода. Есть несколько основных факторов того, почему именно водород наиболее привлекателен в качестве нового вида энергоносителя: во-первых, его экологическая безопасность, во-вторых, наличие идеальных условий для добычи водорода в России благодаря её географии, в-третьих, способность его удобной транспортировки, которая похожа на способ доставки природного газа, то есть либо по трубам, либо в сжиженном состоянии, в-четвёртых, энергоёмкость у водорода более чем в 2,5 раза выше, чем у природного газа.

Эксперты полагают, что при достаточных вложениях у России есть потенциал стать крупнейшим производителем водорода в мире, что без сомнений обеспечит ей доминирование в будущей энергетической отрасли. Это, в свою очередь, позволило бы РФ совершить огромный экономический скачок и вывести её в ряд ведущих экономических держав, обладающей полной энергетической независимостью.

Но пока что это лишь долгосрочные планы, которые имеют ряд аспектов, замедляющие темпы развития данной отрасли. Главными из них является его взрывоопасность, которая не позволяет его использовать в гражданском и промышленном секторе, дороговизна развития этой отрасли ввиду технических сложностей и огромных вынужденных денежных трат на осуществление исследований, связанных с его добычей, транспортировкой и использованием, а также сопротивление со стороны транснациональных нефтяных корпораций, препятствующие разработке более доступных и дешёвых источников энергии.

Несмотря на это, развитие новой водородной отрасли продолжается, о чём свидетельствует всё большие инвестиции в её разработки, а также увеличение проектов, которые основаны на внедрении водорода как эффективного источника энергии. Это, в свою очередь, оставляет огромный потенциал дальнейшего доминирования России в мировой энергетике в условиях истощения традиционных источников энергии.

Список литературы:

1. Британская транснациональная нефтегазовая компания BP: [сайт]. – URL: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html> (дата обращения: 20.04.2023). – Текст : электронный.
2. Всемирная ядерная ассоциация: [сайт]. – URL: <https://www.world-nuclear.org/> (дата обращения: 20.04.2023). – Текст : электронный.
3. Статистическая служба Европейского союза Евростат: [сайт]. – URL: <https://ec.europa.eu/eurostat> (дата обращения: 20.04.2023). – Текст : электронный.
4. Федеральная служба государственной статистики росстат: [сайт]. – URL: <https://rosstat.gov.ru/statistic> (дата обращения: 27.04.2023). – Текст : электронный.
5. Всемирный банк: [сайт]. – URL: <https://data.worldbank.org/indicator?tab=all> (дата обращения: 27.04.2023). – Текст : электронный.
6. Международное энергетическое агентство: [сайт]. – URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts> (дата обращения: 27.04.2023). – Текст : электронный.
7. Статья РБК NEWS о словах Александра Новака о снижении добычи нефти в России: [сайт]. – URL: <https://rbc-ru.turbopages.org/rbc.ru/s/business/27/04/2023/644a36c09a7947ec5a0f3a24> (дата обращения: 27.04.2023). – Текст : электронный.
8. Министерство финансов РФ: [сайт]. – URL: <https://minfin.gov.ru/> (дата обращения: 20.04.2023). – Текст : электронный.

© Кузьмин А. А., Карпова Е. В., Байдецкая М. С., 2023

АНАЛИЗЫ ЗАКОНОВ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ СТАНКА ПОПЕРЕЧНОЙ РЕЗКИ

студент **Зиндуку Панаше**,
аспирант **Марковчин Кирилл Владимирович**,
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент
Ковалёв Евгений Николаевич,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассмотрено формирование законов управления электроприводом станка поперечной резки картона. Рассмотренные законы управления приводом станка поперечной резки адаптированы в системе управления подученного регулирования с цепями предупредительного управления.

Ключевые слова: законы управления, зона регулирования, зоны синхронизации, заданный формат, критический формат.

ANALYSES OF CONTROL LAWS OF ELECTRIC DRIVE OF CROSS-CUTTING MACHINE

Student **Zinduku Panashe**,
PhD Student **Markovchin Kirill Vladimirovich**,
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor
Kovalev Evgeny Nikolaevich,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. The paper considers the formation of control laws of electric drive of cardboard cross-cutting machine. Considered laws of control of transverse cutting machine drive adapted in the control system of subordinate regulation with the precontrol circuits.

Keywords: control laws, control zone, synchronization zones, given format, critical format.

Станок поперечной резки является необходимым узлом гофроагрегата, обеспечивающим резку полотна картона на заданные форматы при непрерывной подаче картонного полотна [1, 2]. Допустимая погрешность длины формата обычно требуется менее ± 1 мм. Система электропривода станка должна обеспечивать непрерывную резку широкого диапазона форматов; смена формата должна выполняться без остановки линии с минимальными потерями брака. На

рисунке 1 представлена функциональная схема станка поперечной резки картона.

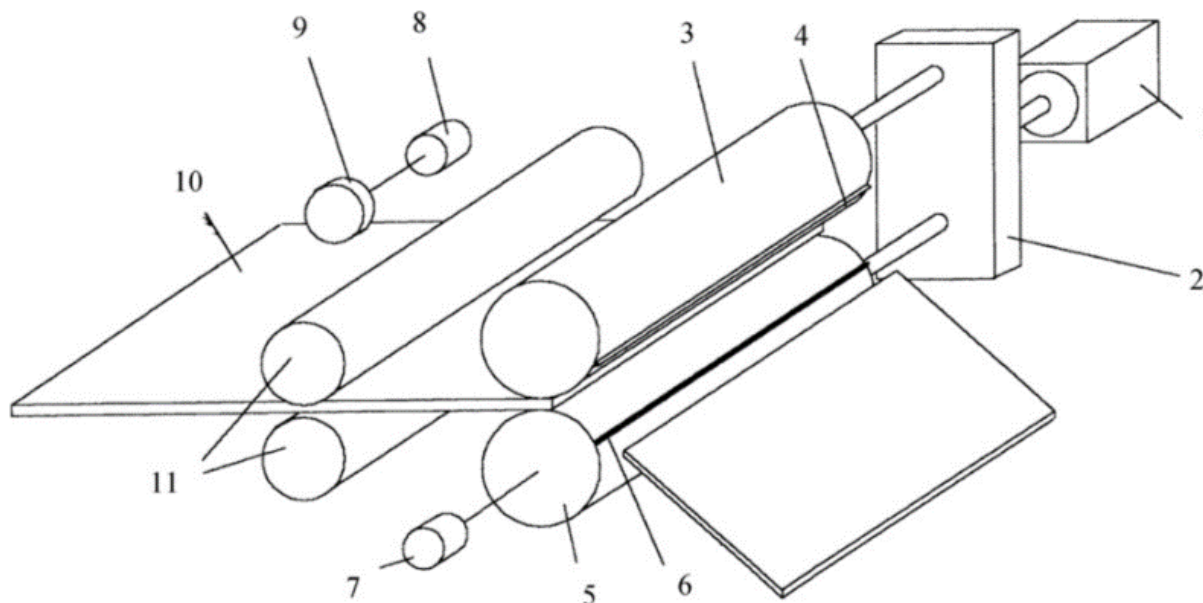


Рисунок 1. Функциональная схема станка поперечной резки картона:
1 – электродвигатель; 2 – редуктор; 3 – верхний вал с ножом;
4, 5 – нижний вал с ножом; 6, 7 – датчик скорости и положения ножей;
9 – измерительное колесо с датчиком; 8, 10 – полотно картона;
11 – тянущие ролики

Для обеспечения качественной кромки отрезаемого формата линейная скорость режущей кромки ножа в зоне реза должна быть равна скорости полотна. На рисунке 2 приведена расчётная схема движения ножа, на схеме показаны зона синхронизации и зона регулирования. В зоне синхронизации выполняется синхронизация положения кромки ножа с координатой полотна, по которой должен выполняться рез [3, 4]. В зоне регулирования скорость ножа регулируется таким образом, чтобы к окончанию оборота ножа его режущая кромка попала на следующую координату реза полотна.

При выполнении резки формата любой длины режущая кромка ножа проходит одинаковый путь, равный длине окружности ножа (рисунке 2). На участке зоны синхронизации скорость ножа V_H задаётся равной скорости полотна V_P (также может быть задано $V_H = k_V \cdot V_P$, где $k_V = 1,0 \dots 1,03$). При этом путь, пройденный полотном, равен пути, пройденным режущей кромкой ножа в зоне синхронизации (при $k_V = 1,0$). На участке зоны регулирования скорость ножа должна меняться, чтобы обеспечить рез заданного формата.

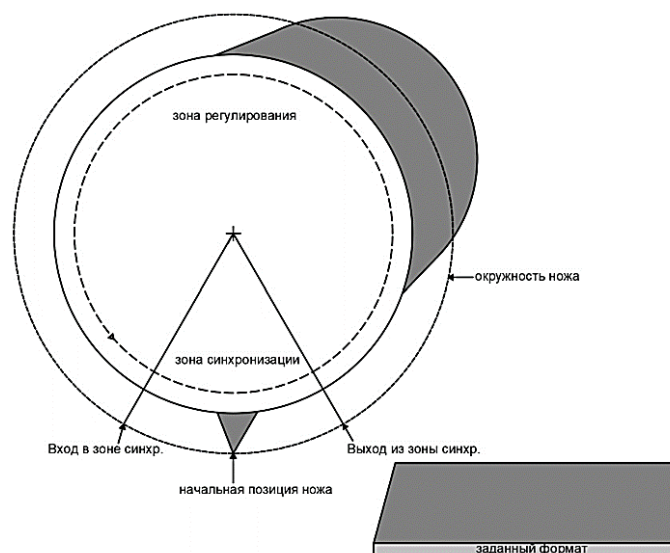


Рисунок 2. Расчётная схема движения ножа

При формировании закона управления приводом валов с ножами поперечной резки целесообразно задавать не только координату положения режущей кромки ножа, но также и производные – скорость, ускорение и т. п. Такое задание координат подходит для большинства систем управления промышленных приводов, в основе которых лежит принцип подчинённого регулирования.

Для зоны синхронизации задание координат ножа сводится к следующим выражениям (при $k_v = 1,0$):

- заданный путь ножа $X_{нс}$ равен пути полотна $X_{пс}$ в зоне синхронизации;
- заданная скорость ножа $V_{нс}$ равна скорости полотна $V_{п}$;
- заданное ускорение ножа E_n равно нулю.

Полиномиальные законы регулирования

Для зоны регулирования используются различные варианты задания координат ножа и его производных. Так, в работе [5] предложено формировать законы управления для зоны регулирования в форме полиномов:

$$F_n(t) = a_0 + a_1 t^1 + a_2 t^2 + \dots + a_n t^n, \quad (1)$$

где t – время, отсчитываемое от момента вхождения ножей в зону регулирования;

$F_n(t)$ – координата ножей (положение) в зоне регулирования, отсчитываемая от начала зоны регулирования.

Законы управления по производным от пути также будут иметь полиномиальную форму. Коэффициенты полиномов задания пути, скорости, ускорения и т. п. определяются из граничных условий соответствующих координат в начале и в конце зоны регулирования. Степень полиномов определяется выбранным количеством регулируемых координат. В [5] также показано, как предложенные полиномиальные зависимости могут быть

выражены в функции координаты ножа в зоне регулирования и скорости полотна.

В системах управления большинства приводов в преобразователях постоянного и переменного тока доступны для задания управляющего сигнала контуры регулирования скорости и момента; контур регулирования положения может быть выполнен или в функционале этого же преобразователя, или на внешнем контроллере. В этом случае можно принять законы управления, основанные на полиноме пятого порядка для задания положения ножа в зоне регулирования.

$$X_H = X_{\Pi} \cdot k_v + \left(L_p - \frac{k_v}{B} \right) \cdot PF(y) \quad (2)$$

$$V_H = V_{\Pi} \cdot k_v + V_{\Pi} \cdot B \cdot \left(L_p - \frac{k_v}{B} \right) \cdot PV(y) \quad (3)$$

$$E_H = V_{\Pi}^2 \cdot B^2 \cdot \left(L_p - \frac{k_v}{B} \right) \cdot PE(y) \quad (4)$$

$$PF(y) = 10y^3 - 15y^4 + 6y^5 \quad (5)$$

$$PV(y) = 30y^2 - 60y^3 + 30y^4 \quad (6)$$

$$PE(y) = 60y - 180y^2 + 120y^3 \quad (7)$$

где $y = X_{\Pi} \cdot B$, $B = \frac{1}{F_z - \frac{L_s}{k_v}}$

X_{Π} – текущая координата полотна

V_{Π} – скорость подачи полотна

X_H – положение ножа в зоне регулирования;

V_H – скорость ножа в зоне регулирования;

E_H – линейное ускорение ножа в зоне регулирования;

k_v – коэффициент превышения скорости;

L_p – длина дуги в зоне регулирования;

L_s – длина дуги зоны синхронизации;

F_z – заданный формат.

В выражениях (2), (3), (4) заданные значения положения, скорости и ускорения ножа зависят от положения полотна X_{Π} и его скорости V_{Π} . Время не входит в расчётные формулы; таким образом, полиномиальные законы задания координат ножа зависят только от заданного формата, скорости полотна и текущей координаты подачи полотна.

На рис. 3 приведены графики заданных скорости (рисунок 3а) и ускорения (рисунок 3б), рассчитанные по полиномиальным законам $F_n(t)$ пятого и седьмого порядков для одного и того же формата и одной и той же скорости полотна. Законы регулирования по полиному пятого порядка требуют меньших амплитудных значений скорости и ускорения, однако вхождение ножа в зону

синхронизации при использовании полинома седьмого порядка получается более плавным; это даёт шанс более точно выполнить синхронизацию ножа с координатой полотна, повысить точность реза формата.

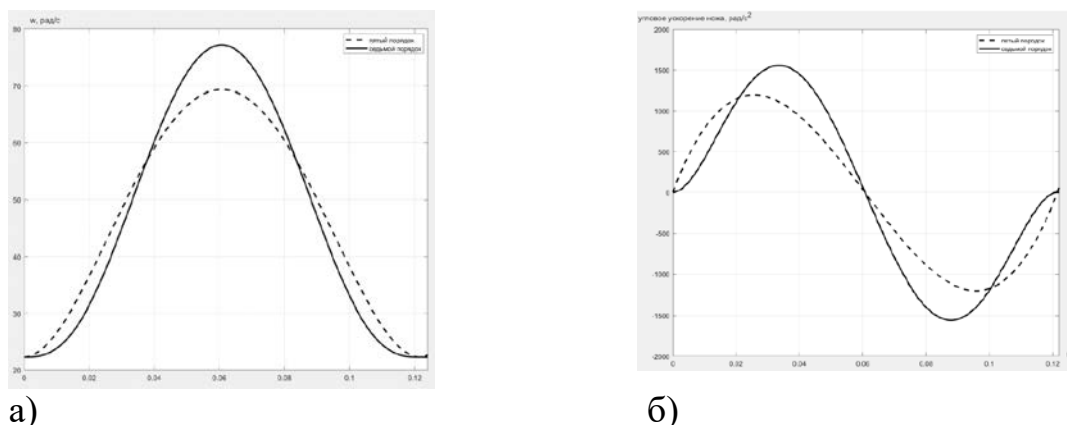


Рисунок 3. Задания скорости и ускорения ножа, рассчитанные по полиномиальным законам пятого и седьмого порядков

На рисунке 4 приведены зависимости необходимых максимальных значений ускорения ножа при управлении по полиномам пятого и седьмого порядков.

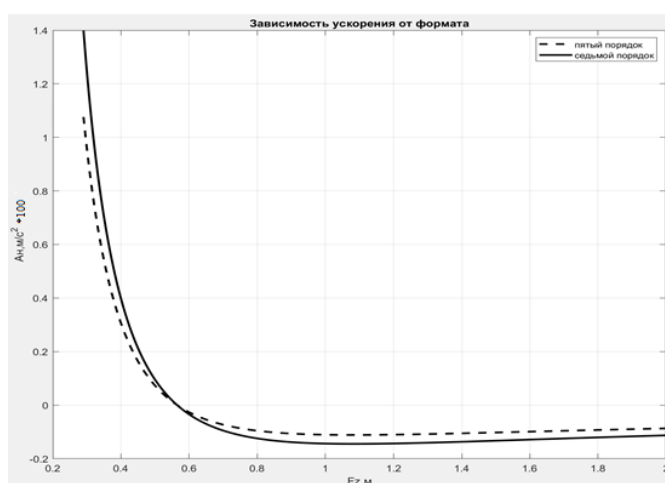


Рисунок 4. Зависимость максимального ускорения от заданного формата; сравнение полиномиальных законов управления пятого и седьмого порядков

При работе с форматами, меньшими длины окружности ножа, движение ножевых валов в зоне регулирования начинается с ускорения; при работе с форматами больше длины окружности ножа движение ножевых валов в зоне регулирования начинается с замедления. Если формат равен длине окружности режущей кромки ножа (при $k_v = 1,00$), то ножевые валы вращаются равномерно.

Косинусоидальный закон регулирования

Как было отмечено выше, при резке любых форматов режущая кромка ножа проходит одинаковый путь, равный длине окружности ножа. Учитывая, что в зоне синхронизации скорость ножа и полотна равны (при $k_v = 1,00$), величины проходимого пути ножа и полотна отличаются в зоне регулирования, как показано на рисунке 5 для случая резки короткого формата, когда формат короче длины окружности режущей кромки ножа.

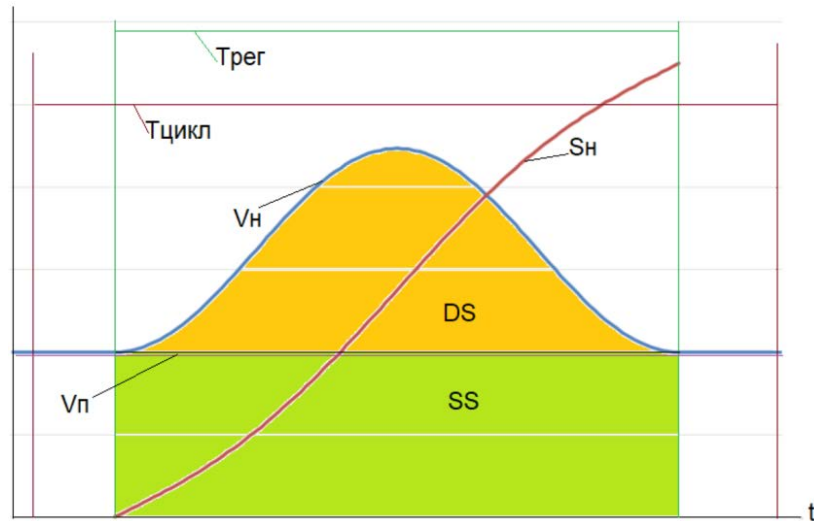


Рисунок 5. Скорость и путь ножа в зоне регулирования

На время нахождения ножа в зоне регулирования $T_{рег}$ скорость ножа V_n увеличивается для коротких форматов и уменьшается при резке длинных форматов. Интеграл от скорости полотна за время регулирования $T_{рег}$ соответствует пути, пройденному ножом S_n . Этот путь можно разделить на две составляющие SS и DS . Составляющая пути SS соответствует площади под графиком скорости полотна на время прохождения ножом зоны регулирования; составляющая пути DS соответствует площади между графиком скорости полотна и графиком скорости ножа в зоне регулирования.

Длина пути SS равна

$$SS = F_z - L_s, \quad (8)$$

длина пути DS равна

$$DS = L_p - SS \quad (9)$$

где L_p — длина дуги в зоне регулирования;

L_s — длина дуги зоны синхронизации;

F_z — заданный формат.

Скорость ножа в зоне регулирования можно представить в виде двух слагаемых

$$V_n = V_{п} + A \cdot (1 + \cos \alpha) \quad (10)$$

где α меняется при прохождении зоны регулирования от $-\pi$ до $+\pi$,

$$A = \frac{DS \cdot V_{\Pi}}{SS}. \quad (11)$$

$$\alpha = \omega t; \quad \omega = \frac{2\pi \cdot V_{\Pi}}{SS}; \quad t = \frac{X_{\Pi}}{V_{\Pi}}. \quad (12)$$

В формулах (12) координата X_{Π} отсчитывается от начала зоны регулирования.

Ускорение ножа в зоне регулирования:

$$E_{\Pi} = -A \cdot \omega \cdot \sin \omega t. \quad (13)$$

На рисунке 6 приведены заданий положения ножа, его скорости и ускорения в зоне регулирования для случая, когда заданный формат больше длины окружности режущей кромки ножа.

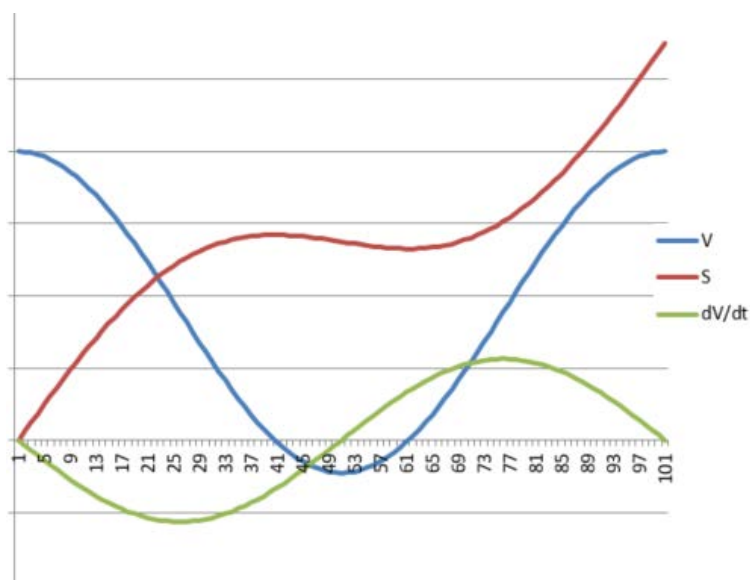


Рисунок 6. Задания положения, скорости и ускорения ножа в зоне регулирования для длинного формата

Для заданных геометрических параметров, таких как величина зоны регулирования, величина зоны синхронизации и выбранного закона регулирования можно определить критическую величину формата, превышение которой приводит к отрицательным скоростям ножа в зоне регулирования. Применение описанных выше законов регулирования к форматам больше критического ограничивает максимальную величину формата, так как при обратном ходе нож может войти в полотно.

Для устранения ограничения по большим форматам можно снижение скорости до нуля вести по закону, рассчитанному для критического формата, выдерживать необходимую паузу и завершать цикл реза снова по закону критического формата, как показано на рисунке 7.

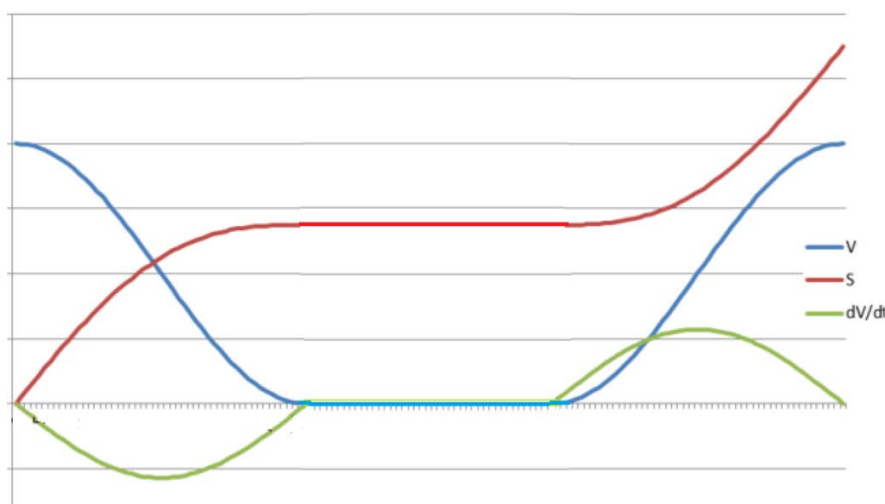


Рисунок 7. Положение ножа, скорость и ускорение в зоне регулирования при резке формата, превышающего критический. Косинусоидальный закон регулирования

Величина критического формата зависит от геометрических параметров ножевых валов (длина зоны регулирования, длина зоны синхронизации L_s) и от выбранного закона регулирования. В таблице приведены расчетные формулы критической длины формата.

Таблица – Критическая длина формата

Законы регулирования	Критическая длина формата Z_k
Полином пятого порядка	$Z_k = 0,666L_p + L_c$
Полином седьмого порядка	$Z_k = 1,8421 + L_c$
Косинусоидальный закон	$Z_k = 2L_p + L_c$

Требования к силовой части привода

Требуемые законами управления величины скоростей и ускорений являются основанием для выбора параметров двигателей ножевых валов, необходимых для работы станка поперечной резки в заданном диапазоне скоростей и с заданной номенклатурой форматов. Так, максимальный момент двигателя должен обеспечить максимальное ускорение ножа в зоне регулирования.

$$M_{дв} \geq J \cdot \frac{d\omega}{dt}, \frac{d\omega}{dt} = \frac{2E_{нmax}}{D_H}, \quad (14)$$

где $E_{нmax}$ – максимальное ускорение для выбранного диапазона скоростей полотна и номенклатуры форматов;

D_H – диаметр окружности режущей кромки ножа;

J – суммарный момент инерции на валу двигателя.

С целью уменьшения момента инерции и повышения быстродействия станков поперечной резки устанавливают индивидуальный привод на верхний и нижний ножи, вместо механической синхронизации ножей через редуктор

переходят к синхронизации средствами системы управления, уменьшают диаметры ножей, облегчают конструкцию ножевых валов.

Как видно из графика (рисунок 8) мощности двигателя ножа в зоне регулирования, активная мощность меняет знак. Поток энергии интенсивно меняет направление от источника к двигателю и обратно. Применение тормозного резистора в цепи преобразователя для гашения энергии торможения было бы крайне неэффективным решением. В то же время применение преобразователей с возможностью рекуперации энергии также может вызвать проблемы из-за периодических бросков рекуперированного тока в сеть. Одно из решений проблемы – включение в звено постоянного тока преобразователей частоты дополнительных батарей конденсаторов [3, 6].

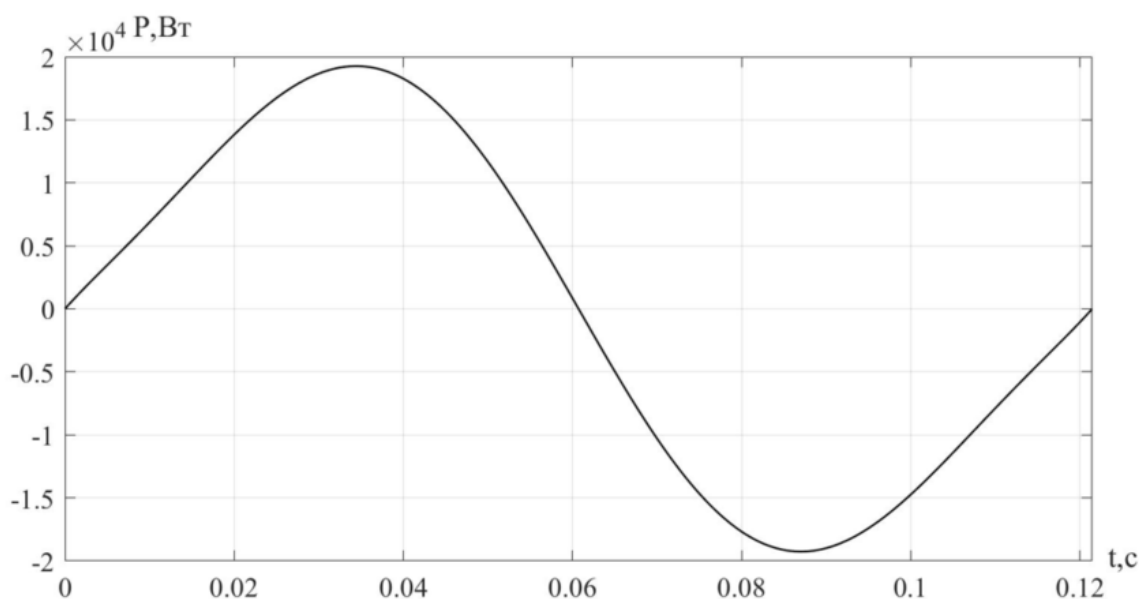


Рисунок 8. График мощности двигателя ножа в зоне регулирования при резке короткого формата

Заключение

Рассмотрены законы управления приводом станка поперечной резки, адаптированные в системе управления подученного регулирования с цепями предупредительного управления. Кроме основной координаты положения ножа также рассчитываются задания для внутренних контуров регулирования (контур регулирования скорости, контур регулирования момента (активного тока)).

Законы регулирования скоростей и ускорений позволяют определить требования к силовой части двигателей и преобразователей.

Список литературы:

1. Ванчаков, М. В. Технология и оборудование для производства картонной и бумажной тары. Часть 1: учеб. пособие. 2-е издание / М. В. Ванчаков, И. С. Артамонов. – СПб. : ВШТЭ СПбГУПТД, 2021. – 93 с. – Текст : непосредственный. – ISBN 978-5-91646-286-9.
2. Смолин А. С. Технология гофрокартона : учебное пособие. Ч. III /

Смолин А. С., Комаров В. И., Дубовый В. К., Белоглазов В. И. – СПб. : СПбГТУРП, 2014. – 103 с. – Текст : непосредственный.

3. Simatic S7-1500T Rotary knife. LRotaryKnife for Simatic: [сайт]. – URL: <https://support.industry.siemens.com/cs/ww/en/view/109757260> (дата обращения: 30.04.2023). – Текст : электронный.

4. Rotary Knife Solution Software. Application software for Unidrive M and SI-Applications Plus: [сайт]. – URL: www.controltechniques.com (дата обращения: 30.04.2023). – Текст : электронный.

5. Патент № 2212997 Российская Федерация, МПК В26D 5/00 (2000-01-01), В23D 36/00 (2000-01-01). Способ управления поперечной резкой полотна : № 2001102900, заявл. 31.01.2001 :опубл. 27.09.2003/ Ковалёв Е. Н., Ольховик Г. И., Смирнов С. П., Красильников Г.А. ; заявитель ООО «ПТФ «КонСис». – 14 с. – Текст : непосредственный.

6. Ковалёв, Е. Н. Система управления станком поперечной резки : «Проблемы экономии топливно-энергетических ресурсов на промпредприятиях и ТЭС» : Межвуз. сб. науч. трудов / Е. Н. Ковалёв, С. В. Гринь, Г. И. Ольховик, С. П. Смирнов. – Текст : непосредственный // СПб ГТУРП. – 2001. – С. 335-345.

© Зиндуку П. П., Марковчин К. В., 2023

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЕРОЯТНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ДИОКСИНОВ И ФУРАНОВ ПРИ СЖИГАНИИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ

студент **Кравченко София Олесьевна**,
науч. руководитель: старший преподаватель
Безбородов Денис Леонидович,
Донецкий национальный технический университет,
г. Донецк, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассмотрены процессы, происходящие при сжигании твердых бытовых отходов в котельной установке. Произведен термодинамический анализ вероятности образования диоксинов и фуранов при сжигании отходов в котле, выявлены основные стадии разложения и повторного синтеза диоксинов и фуранов, а также интервал температур, в котором необходимо организовать быстрое охлаждение дымовых газов.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, горение, диоксины, фураны, энергия Гиббса, котельная установка.

THERMODYNAMIC ANALYSIS OF THE PROBABILITY OF FORMATION OF DIOXINS AND FURANS DURING SOLID WASTE INCINERATION IN A BOILER PLANT

Student **Kravchenko Sofia Olesyevna**,
Academic Advisor: Senior Lecturer **Bezborodov Denis Leonidovich**,
Donetsk National Technical University,
Donetsk, Russian Federation

Abstract. The paper considers the processes occurring during the combustion of solid household waste in a boiler plant. Thermodynamic analysis of the probability of formation of dioxins and furans during waste incineration in the boiler was carried out, the main stages of decomposition and re-synthesis of dioxins and furans were identified, as well as the temperature range in which it is necessary to organize rapid cooling of flue gases.

Keywords: solid household waste, combustion, dioxins, furans, Gibbs energy, boiler plant.

В процессе горения топлива и твердых бытовых отходов в топке котельных установок, при движении продуктов сгорания по газовому тракту и их охлаждении в теплообменниках, образуются опасные техногенные загрязнители окружающей среды. Наиболее токсичными веществами являются диоксины, которые чрезвычайно устойчивы в окружающей среде.

Исследователями выявлено [1], что наиболее опасными и высокотоксичными для человека и окружающей среды являются полихлорированные дибензодиоксины (ПХДД), полихлорированные дибензофураны (ПХДФ) и полихлорированные бифенилы (ПХБ).

Тетрахлордибензодиоксин (2, 3, 7, 8-ТХДД), тетрахлордибензофуран (2, 3, 7, 8-ТХДФ), октахлордибензодиоксин (ОХДД) и октахлордибензофуран (ОХДФ) обладают самой высокой токсичностью среди всех диоксинов и фуранов. Токсичность 2, 3, 7, 8-ТХДД принята по условной шкале фактора токсичной эквивалентности (ТЕФ) за единицу, остальные же диоксиновые соединения оцениваются в долях от токсичности данного вещества.

В связи с этим при реконструкции котельной установки для сжигания твердых бытовых отходов важным этапом является анализ механизма образования диоксинов и фуранов в топке, и оценка возможных мероприятий для снижения концентрации вредных выбросов еще на этапе их образования.

Механизм образования ПХДД/Ф

Образование ПХДД/Ф происходит как в процессе горения топлива и твердых бытовых отходов, так и в зоне охлаждения продуктов сгорания. По результатам исследований [2] предложено два механизма процесса образования ПХДД/Ф:

1. Механизм *de novo* – образование диоксинов происходит из структурных элементов части несгоревшей органической массы топлива и ТБО, т. е. в частицах золы. В результате механического недожога отходов на поверхности и внутри пор частиц золы происходит гетерогенное окисление конденсированных органических структур. Этот процесс протекает в температурном интервале 550 – 600 К при достаточном содержании свободного кислорода. Главными катализаторами реакций образования диоксинов являются различные соединения на основе меди, железа, алюминия и кремния, содержащиеся в золе.

2. Механизм *precursors* – образование диоксинов происходит из небольших органических предвестников, которые адсорбируются на поверхности частиц и там реагируют друг с другом. При термическом разложении органической части топлива на начальной стадии горения образуются прекурсоры – это хлорбензолы и хлорфенолы, а также бифенилы.

Таким образом, синтез диоксинов происходит в нескольких зонах установки: зона горения отходов – это место нагрева исходных веществ и продуктов сгорания; зона максимальных температур; зона охлаждения дымовых газов.

В зоне нагрева происходит достаточно интенсивное образование диоксинов, при достижении высоких температур происходит разложение загрязняющих соединений, а при охлаждении происходит повторный синтез диоксинов из продуктов сгорания и прекурсоров.

Методика исследования реакции синтеза ПХДД/Ф

Для определения условий, при которых будет наблюдаться максимальное образование диоксинов, воспользуемся понятием о самопроизвольности протекания реакции. Основным термодинамическим

показателем, характеризующим вероятность самопроизвольного протекания процесса, является энергия Гиббса.

Изменение энтальпии и энтропии реакции при стандартных условиях определим по формулам из следствия закона Гесса:

$$\Delta H_{298}^0 = \sum(n_i \Delta H_{f,298}^0) - \sum(m_i \Delta H_{f,298}^0), \quad (1)$$

$$\Delta S_{298}^0 = \sum(n_i \Delta S_{f,298}^0) - \sum(m_i \Delta S_{f,298}^0), \quad (2)$$

где n_i, m_i – стехиометрические коэффициенты в уравнении реакции продуктов реакции и исходных веществ соответственно; $\Delta H_{f,298}^0, \Delta S_{f,298}^0$ – энтальпия и энтропия исходных веществ и продуктов реакции.

Стандартные значения термодинамических функций взяты из [3, 4].

Изменение энергии Гиббса определяется по формуле:

$$\Delta G_T = \Delta H_{298}^0 - T \cdot \Delta S_{298}^0, \quad (3)$$

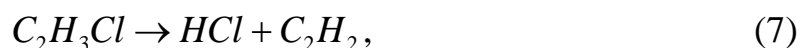
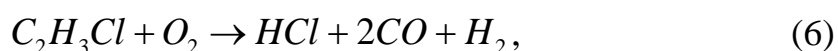
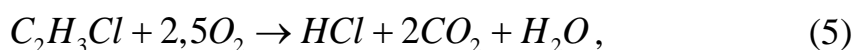
При условии $\Delta G_T < 0$ реакция в прямом направлении протекает самопроизвольно, а при $\Delta G_T > 0$ реакции самопроизвольно протекать не могут и продукты реакции не образуются. При $\Delta G_T = 0$ наблюдается термодинамическое равновесие, и тогда реакция не идет ни в прямую, ни в обратную стороны. Температуру состояния равновесия можно определить по формуле:

$$T = \frac{\Delta H_{298}^0}{\Delta S_{298}^0}, \quad (4)$$

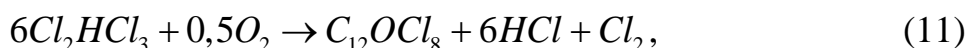
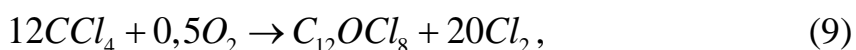
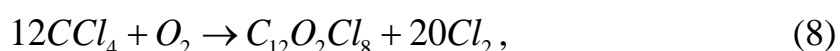
Зная, при какой температуре наступает равновесие системы, можно определить поверхность нагрева котельной установки, за которой будет наибольшая концентрация загрязняющих веществ. Установив температуру, до которой можно охладить дымовые газы, возможно предложить решения по изменению компоновки котла для более экологического сжигания отходов.

Зона нагрева исходных веществ и продуктов реакции. В этой зоне наблюдается высокое образование ПХДД/Ф и их прекурсоров. Реакции образования загрязняющих веществ зависят от свойств уничтожаемых веществ и качества процесса горения. Основные реакции, происходящие в этой зоне:

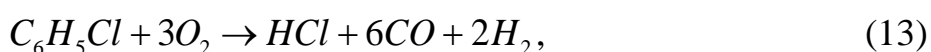
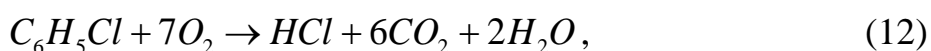
- термическое разложение поливинилхлорида (на примере винилхлорида):



- разложение растворителей на примере четыреххлористого углерода и трихлорэтилена:



- разложение хлорбензола:



Результаты расчета энергии Гиббса представлены в таблице 1.

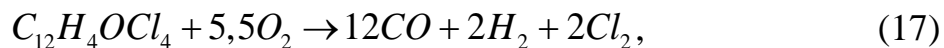
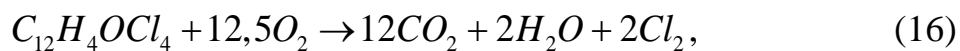
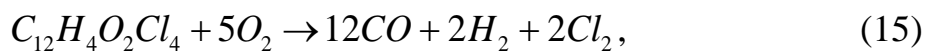
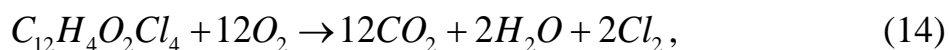
Таблица 1 – Оценка изменения энергии Гиббса в зоне нагрева исходных веществ и продуктов реакции

Реакция	$\Delta G_T, \text{кДж/моль при } T, K$				
	298	400	600	800	1000
5	-1011,7	-1014,4	-1019,7	-1024,9	-1030,2
6	-348,6	-373,4	-422,1	-470,8	-519,5
7	134,9	122,2	97,5	72,8	48,1
8	616,8	513,8	311,9	109,9	-92,0
9	425,2	302,0	60,4	-181,2	-422,8
10	-729,9	-727,7	-723,4	-719,2	-714,9
11	-828,2	-814,3	-787,1	-759,9	-732,7
12	-2777,9	-2787,9	-2807,4	-2826,9	-2846,4
13	-1017,2	-1089,1	-1230,0	-1370,9	-1511,8

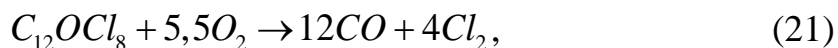
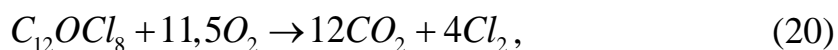
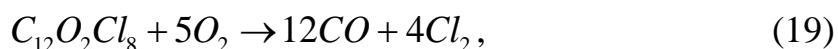
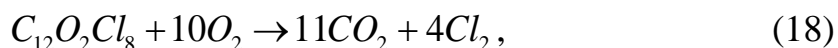
Таким образом, в зоне нагрева исходных веществ и продуктов сгорания наблюдается образование свободного хлора и хлороводорода, а также ОХДД/Ф и прекурсоров в большом количестве. Это происходит в результате реакций горения хлорсодержащих отходов пластика, в основном поливинилхлорида. По изменению энергии Гиббса реакций можно отметить, что процесс образования диоксинов и их прекурсоров усиливается с повышением температуры.

Зона максимальных температур. В этой зоне происходит полное окисление и разложение ПХДД/Ф на углекислоту, водяной пар и газообразный хлор. Процесс протекает по реакциям:

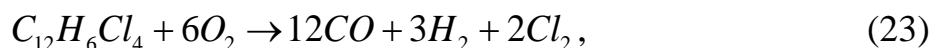
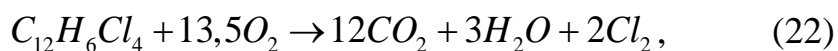
Реакции разложения 2, 3, 7, 8-ТХДД/Ф (n = 4):



Для ОХДД/Ф (n = 8):



Для ПХБ (n = 4):



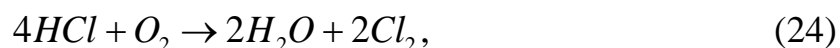
Результаты расчета энергии Гиббса представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Оценка изменения энергии Гиббса в зоне максимальных температур

Реакция	ΔG_T , кДж/моль при T, K				
	298	500	1000	1500	2000
14	-4702,0	-4799,8	-5041,9	-5284,1	-5526,2
15	-1637,8	1962,9	-2767,7	-3572,6	-4377,4
16	-4766,5	-4833,4	-4999,0	-5164,7	-5330,4
17	-1702,3	-1996,5	-2724,8	-3453,2	-4181,5
18	-3787,6	-3913,9	-4226,6	-4539,3	-4852,0
19	-1536,7	-1874,2	-2709,5	-3544,9	-4380,2
20	-3978,9	-4085,1	-4348,0	-4610,8	-4873,3
21	-1371,96	-1687,57	-2468,77	-3249,97	-4031,18
22	-5082,7	-5157,2	-5341,7	-5526,2	-5710,7
23	-1789,92	-2100,72	-2870,03	-3639,34	-4408,65

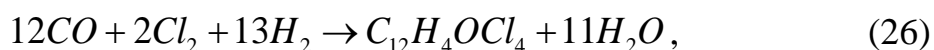
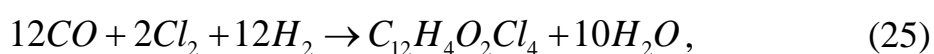
По результатам расчета можно выделить самопроизвольность протекающих реакций в зоне максимальных температур, а значит, в этой области ПХДД/Ф будут свободно разлагаться на продукты сгорания и свободный хлор.

Зона охлаждения отходящих газов. В этой зоне происходит повторный синтез ПХДД/Ф из прекурсоров и свободного хлора, который образуется в продуктах сгорания по вышеприведенным механизмам, а также по уравнению:

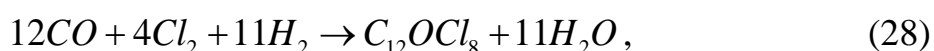
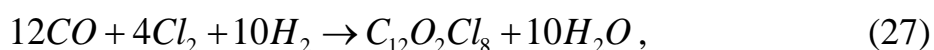


В зоне охлаждения реакции образования диоксинов вероятнее всего будут протекать при недостатке кислорода по реакциям:

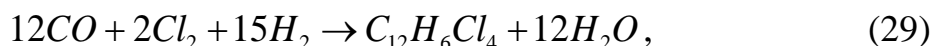
Для 2, 3, 7, 8-ТХДД/Ф (n = 4):



Для ОХДД (n = 8):



Для ПХБ (n = 4):



Результаты расчета энергии Гиббса представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Оценка изменения энергии Гиббса в зоне охлаждения

Реакция	ΔG_T , кДж/моль при T, K							T, K при $\Delta G_T = 0$
	298	400	500	600	700	800	900	
24	-76,0	-62,9	-50,0	-37,1	-24,2	-11,4	1,5	888,2
25	-648,3	-439,0	-233,7	-28,4	176,9	382,2	587,5	613,8
26	-812,5	-614,1	-419,7	-225,3	-30,9	163,5	357,9	715,9
27	-749,4	-533,8	-322,4	-111,0	100,4	311,8	523,2	652,5
28	-1142,8	-933,7	-728,7	-523,7	-318,7	-113,7	91,3	855,5
29	-953,4	-742,2	-535,2	-328,2	-121,1	85,9	293,0	758,4

Зона охлаждения продуктов сгорания характеризуется наибольшей термодинамической вероятностью образования диоксинов и фуранов. Температура, при достижении которой начинается процесс образования ПХДД/Ф и ПХБ для всех реакций близка и находится в интервале 600 – 850 К.

Выводы. В работе установлено, что в интервале температур от 850 до 600 К необходимо организовать быстрое охлаждение дымовых газов для предотвращения образования высоких концентраций диоксинов и фуранов в дымовых газах. Другим способом снижения вероятности образования опасных веществ является добавление в поток горящих газов реагентов, связывающих хлор и хлороводород.

Список литературы:

1. Федоров, Л. А. Диоксины как экологическая опасность: ретроспектива и перспектива / Л. А. Федоров. – Москва : Наука, 1993. – 266 с. – Текст : непосредственный.
2. Герасимов, Г. Я. Образование диоксинов при сжигании хлорсодержащих топлив / Г. Я. Герасимов. – Текст : непосредственный // Физика горения и взрыва. – 2001. – Т. 37. – № 2. – С. 29–34.
3. Корепанов, М. А. Термодинамические свойства некоторых индивидуальных полихлорированных дибензо-п-диоксинов / М. А. Корепанов. – Текст : непосредственный // Химическая физика и мезоскопия. – 2008. – Т. 10. – № 2. – С. 222–227.
4. Shaub, W.M., Tsang, W. (1983) Physical and Chemical Properties of Dioxins in Relation to the their Disposal. *Human and Environmental Risks of Chlorinated Dioxins and Related Compounds*. N-Y: Plenum Press. 731-748.

© Кравченко С. О., 2023

СНИЖЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА ПРИ ПЕРЕВОДЕ КОТЛОВ ТЭЦ НА СЖИГАНИЕ ТБО

студент **Насибуллина Карина Ильдаровна**,
студент **Куриная Арина Максимовна**,
студент **Гурьянова Анастасия Эдуардовна**,
науч. руководитель: доктор техн. наук, профессор
Зверева Эльвира Рафиковна,
Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. В работе приведена перспективная технология переработки твердых бытовых отходов (ТБО) в сочетании ТЭС на ТБО с традиционными ТЭС. В результате предложено использование паровых котлов марок БКЗ-320-140 и рассмотрена технология высокотемпературного сжигания отходов с использованием колосниковой решетки, рассчитано преимущество использования мусоровоза нового поколения с боковой загрузкой кузова.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, экологическая безопасность, твердые коммунальные отходы, топливо, загрязняющие вещества, Казанская ТЭЦ-2, котлы.

REDUCING ENVIRONMENTAL DAMAGE DURING THE TRANSFER OF CHP BOILERS TO MSW BURNING

Student **Nasibullina Karina Ildarovna**,
Student **Kurinnaya Arina Maksimovna**,
Student **Guryanova Anastasia Eduardovna**,
Academic Advisor: Doctor of Technical Sciences, Professor
Zvereva Elvira Rafikovna,
Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russian Federation

Abstract. The paper presents a promising technology for the processing of municipal solid waste (MSW) in combination with thermal power plants on municipal solid waste with traditional thermal power plants. As a result, the use of steam boilers of the BKZ-320-140 brands is proposed and the technology of high-temperature waste incineration using a grate is considered, the advantage of using a new generation garbage truck with side loading of the body is calculated.

Keywords: household solid waste, environmental safety, municipal solid waste, fuel, pollutants, Kazan CHP-2, boilers.

Одним из стратегических направлений развития экономики России

является модернизация энергетики и повышение экологической безопасности предприятий ТЭК.

Проблемы современной энергетики и охраны окружающей среды тесно связаны между собой, и при их решении требуются экологически безопасные, энергоэффективные технологии.

В настоящее время остро стоят вопросы об изыскании надежных, альтернативных, экологически чистых, возобновляемых источников энергии, в создании и использовании ресурсо- и энергосберегающих технологий. Переработка твердых коммунальных отходов (ТКО), в том числе твердых бытовых отходов (ТБО), в альтернативное топливо во всем мире считается необходимой и перспективной технологией, снижается использование природного топлива и сокращается площадь полигонов ТБО.

Быстрые темпы урбанизации городов ведут к увеличению потребления энергии, что приводит к сокращению невозобновляемых ресурсов, которые используются в качестве основного топлива на ТЭС. В качестве альтернативного энергоресурса в данной работе рассматривается использование твердых бытовых отходов (ТБО).

Согласно данным, приведенным в Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года, свыше 30 млрд тонн отходов накоплено в результате прошлой хозяйственной и иной деятельности, которые являются источником потенциальной угрозы жизни и здоровью человека.

Увеличивается количество отходов, которые не вовлекаются во вторичный хозяйственный оборот, а размещаются на полигонах и свалках.

Около 15 тыс. санкционированных объектов размещения отходов занимают территорию общей площадью примерно 4 млн гектаров, и эта территория ежегодно увеличивается на 300 – 400 тыс. гектаров.

Перспективно и актуально полностью или частично вместо органического топлива на ТЭЦ будет использоваться ТБО, что позволит снизить потребление невозобновляемых топливных ресурсов и позволит увеличить экологическую безопасность предприятий топливно-энергетического комплекса. Данная технология позволит эффективно решить проблему в масштабах отдельного города: организовать переработку коммунальных отходов и преобразовать их в «полезную» тепловую и электрическую энергию, как для нужд самого мусоросжигательного предприятия, так и на обеспечение систем теплоснабжения близлежащих населенных пунктов.

Данный проект, безусловно, представляет интерес для городских коммунальных служб, для предприятий, генерирующих тепловую и электрическую энергию, и для населения.

Использование данной технологии по утилизации ТБО имеет такие положительные эффекты, как дополнительная статья доходов в городской бюджет, новые рабочие места, а также может способствовать решению такой важной проблемы, как выравнивание нагрузки энергосистемы во внепиковое ночное время.

Представляемая в работе идея имеет научный и практический потенциал,

которая даст преимущества в развитии энергетики и снизит рост потребления невозобновляемых источников топлива за счет перехода на альтернативные виды топлива, что значительно повысит энергетическую и экологическую эффективность предприятий топливно-энергетического комплекса, позволит снизить тарифы на тепловую и электрическую энергию.

Энергетические установки, сжигающие ТКО (ТБО), по экологическим параметрам превосходят энергетические установки для сжигания твердых топлив. Сравнение нормативных выбросов загрязняющих веществ с уходящими газами энергетических установок, сжигающих твердые коммунальные отходы и органическое твердое топливо, дано в таблице.

Таблица – Экологические характеристики современных технологий сжигания ТБО

Загрязняющие вещества	Энерготехнологические установки, сжигающие ТКО (EU 94/67/ЕЕС)	Энергетические установки для сжигания твердых топлив (ГОСТ 50831)	
	среднесуточное	a = 1,4	a = 2
Монооксид углерода, CO	50	300–400	200–260
Оксиды азота, NO _x	200	300–640	200–420
Оксиды серы, SO _x	50	1200–1400	800–920
Хлористый водород, HCl	10	не нормируется	не нормируется
Фтористый водород, HF	1	не нормируется	не нормируется
Тяжелые металлы:	среднее по пробам	не нормируется	не нормируется
Ртуть, Hg	0,05	не нормируется	не нормируется
Кадмий, таллий, Cd, Tl	0,05	не нормируется	не нормируется
Суммарно другие: (Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V)	0,05	не нормируется	не нормируется
ПХДД/ПХДФ	0,5	не нормируется	не нормируется

Опыт эксплуатации многочисленных зарубежных предприятий по термической переработке ТБО показывает, что современная ТЭС на ТБО является экологически безопасным предприятием. Это подтверждают и результаты исследований, проведенных на московских заводах по утилизации в период их запуска и последующей эксплуатации. Концентрация регламентируемых веществ в газообразных продуктах сгорания ТБО не превышает принятых в ЕС нормативных значений, что обеспечивает экологически безопасную эксплуатацию таких предприятий. Оценка класса опасности шлака и золы-уноса для окружающей среды по действующим в РФ нормативам, которая показала, что эти отходы относятся к четвертому или даже пятому классу опасности [1, 2]. Образующиеся золошлаковые отходы могут быть дополнительно переработаны в инертный продукт для последующего использования, например, в дорожном строительстве.

В настоящее время в РФ традиционным вариантом обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО) является их размещение на полигонах.

В г. Казани и в Зеленодольском районе РТ ежегодно образуется порядка 600 тыс. т ТКО, более 90 % которых размещаются на действующих полигонах.

В условиях сложившейся системы обращения с отходами в ближайшей перспективе потребуются строительство новых объектов размещения. С учетом прогнозных уровней прироста населения и количества образующихся ТКО, необходимость в отчуждении все больших площадей под полигоны отходов и их санитарно-защитные зоны будет расти. При этом в соответствии с Комплексной стратегией обращения с твердыми коммунальными отходами в Российской Федерации, утвержденной Приказом Минприроды России № 298 от 14 августа 2013 г., традиционное размещение отходов на полигонах является наименее приоритетным направлением обращения с ТКО.

В 2018 г. Министерством строительства, архитектуры и ЖКХ РТ была разработана «Территориальная схема в области обращения с отходами, в том числе твердыми коммунальными отходами, Республики Татарстан», которая была утверждена Постановлением Кабинета министров РТ от 13 марта 2018 г. № 149 [3].

Территориальной схемой предусмотрено внедрение системы раздельного сбора и последующей сортировки ТКО. Оставшиеся компоненты ТКО, которые не подлежат вторичному использованию, переработке, планируется термически обезвреживать на проектируемом заводе ТО ТКО с получением электроэнергии.

Оценка воздействия на окружающую среду осуществлена для объекта проектирования «Завод по термическому обезвреживанию твердых коммунальных отходов мощностью 550 000 тонн ТКО в год» применительно к выбранной площадке размещения (Зеленодольский район РТ, Осиновское сельское поселение, участок с кадастровым номером 16:20:080801:201).

Мы предлагаем использовать сочетание ТЭС на ТБО с традиционными ТЭС, что позволит:

- 1) увеличить КПД по выработке электроэнергии, применительно к переработке отходов, примерно с 20 % до 30-35 %, и тем самым увеличить установленную мощность;
- 2) минимизировать расходы на строительные-монтажные работы;
- 3) уменьшить капитальные и эксплуатационные затраты за счет совместного использования ряда узлов ТЭЦ и отечественного оборудования;
- 4) экономить природное органическое топливо [4].

Мы предлагаем отсортированные на МСЗ массы ТБО транспортировать на филиал – Казанскую ТЭЦ-2, термически утилизировать в котлах БК-320-140, БКЗ-210-140 с целью получения тепловой и электрической энергии.

На Казанской ТЭЦ-2 установлены паровые котлы марок БКЗ-320-140 (рисунок 1), которые мы предлагаем использовать для сжигания ТБО.

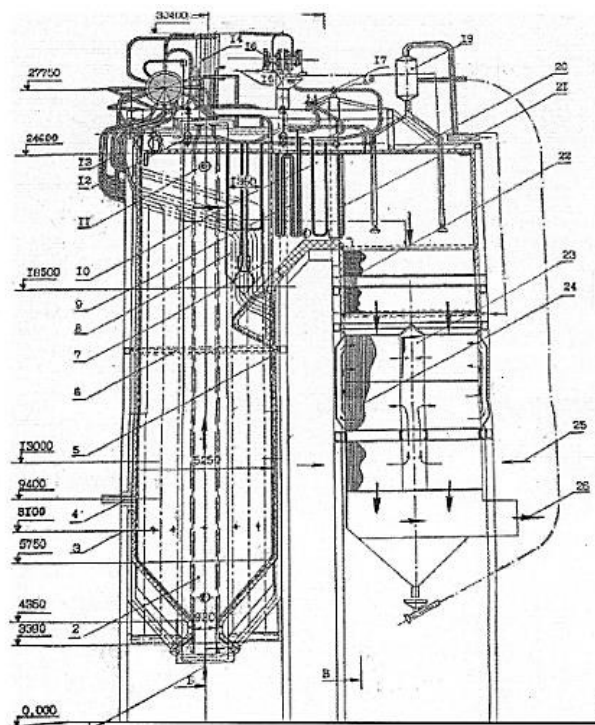


Рисунок 1. Продольный разрез парового котла БКЗ-320-140:
 1 – выход шлака из топки котла; 2 – холодная воронка топки;
 3 – вихревые горелки нижнего яруса; 4 – горелки верхнего яруса;
 5 – фронтальной, левой боковой и задней стенка экранов топки;
 6 – пояс жёсткости; 7 – подвесные трубы заднего экрана; 8 – ширмовый полурадиационный пароперегреватель; 9 – «горячая» ступень КПП;
 10 – выходная ступень КПП; 11 – взрывной клапан;
 12 – пароохладитель 1-й ступени; 13 – опускные трубы; 14 – выносные циклоны; 15 – вход питательной воды; 16 – конденсаторы пароохладителей; 17 – выходной коллектор пароперегревателя;
 18 – пароохладитель второй ступени; 19 – сборник дробы системы дробеочистки; 20 – потолочный радиационный пароперегреватель;
 21 – «холодная» ступень КПП; 22 – экономайзер; 23 – выход горячего воздуха; 24 – одноступенчатый двухпоточный воздухоподогреватель;
 25 – вход холодного воздуха; 26 – выход уходящих газов [5]

ТБО, в основном, сжигаются в слое на механических колосниковых решетках топках котлов.

Технология высокотемпературного сжигания отходов с использованием колосниковой решетки обеспечивает равномерный процесс горения отходов и его экологическую безопасность.

Колосниковая решетка состоит из вращающихся валков либо переталкивающих пластин. По действию выделяют обратно переталкивающие и прямо переталкивающие решетки, причем последние обычно располагаются наклонно и называются наклонно-переталкивающими решетками. Образующиеся при сжигании зола и шлак составляют около 25 % от массы первоначально сжигаемых отходов, они транспортируются в специальное

помещение. Магнитный сепаратор извлекает черный металлолом, который реализуется как вторичное сырье. Дымовые газы проходят обеспыливание в электростатических фильтрах, обеспечивающих степень очистки 96 – 98 %.

Сжигание отходов осуществляется на подвижной колосниковой решетке, охлаждаемой воздухом. Максимальная температура в зоне горения составляет порядка 1260 °С. Равномерный процесс горения исключает недожог топлива. Горение отходов происходит без использования дополнительного топлива.

Дымовые газы, образующиеся в процессе сжигания, поступают в котел, где более 2 с выдерживаются при температуре свыше 850 °С, что обеспечивает разрушение диоксинов. Энергия дымовых газов преобразуется в котле в энергию пара, который затем используется для производства электроэнергии. Пар, поступающий на производство энергии, и дымовые газы циркулируют в разных контурах никогда не смешиваются в технологическом процессе.

При сжигании отходов образуется шлак, который направляется на дорожное строительство.

В слое отходов на колосниковой решетке происходят следующие процессы: их прогрев и сушка, выход летучих веществ, воспламенение (зажигание) и горение, дожигание в шлаке несгоревшего коксового остатка [3].

Транспортировка бытовых отходов должна осуществляться специальным автотранспортом.

В настоящее время в населенных пунктах РФ широкое применение получили мусоровозы МКМ-4605 на базе КАМАЗ-53605. Мусоровоз МКМ-4605 с боковой загрузкой кузова – это мусоровоз нового поколения. В нём реализованы новые технические решения, позволившие резко повысить производительность загрузки кузова, втрое увеличить коэффициент уплотнения мусора и максимально использовать полезную грузоподъемность базового автомобиля КАМАЗ-53605.

Количество топлива, потребляемого данными мусоровозами МКМ-4605 г. Казани в день, рассчитали по следующей формуле:

$$Q = (S \cdot n \cdot a \cdot Q_T) / 100$$

где Q – дневное потребление топлива мусоровозами на маршруте;

Q_T – расход топлива на 100 км; S – протяженность маршрута, км [6];

n – количество мусоровозов на маршруте, шт.; a – количество рейсов в день для 1 транспорта.

$$Q_d = (18 \cdot 14 \cdot 3 \cdot 38) / 100 = 287,28 \text{ л,}$$

где Q_d – дневное потребление дизельного топлива КАМАЗом на маршруте [3].

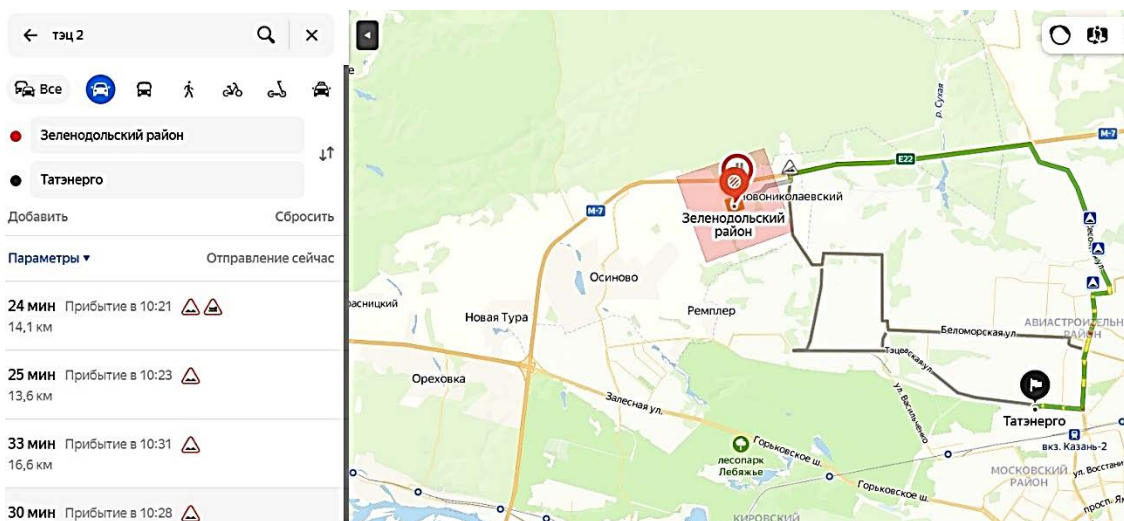


Рисунок 2. Маршрут от МЗС к Казанской ТЭЦ-2

Расчет количества топлива, потребляемого за год работы мусоровозов на маршруте [3] (рисунок 2):

$$Q_{дг} = Q_{д} \cdot 365 = 104\,857,2 \text{ л}$$

где $Q_{дг}$ – годовое потребление дизельного топлива.

В результате является возможным оценить годовые затраты на топливо для маршрута. Цена на дизельное топливо в г. Казани на 1 июля 2022 г. составляет 53 руб. за литр.

$$E_{д} = P_{д} \cdot Q_{дг} = 53 \cdot 104\,857,2 = 5\,557\,431 \text{ руб.},$$

где $E_{д}$ – годовые затраты на топливо; $P_{д}$ – цена за единицу топлива.

К главному достоинству предлагаемой марки машины следует отнести высокие показатели коэффициента уплотнения мусоровоза, а также близость предприятий по производству данной техники, так как основные производственные мощности завода расположены в промышленной зоне Набережных Челнов, где расположены ПАО «КАМАЗ», литейный и кузнечный заводы, завод двигателей (ЗД), прессово-рамный завод (ПРЗ) и др.

Согласно техническим характеристикам, масса загружаемых отходов в мусоровоз составляет 9 тонн, объем кузова – 17 м³.

Переработка ТБО – перспективное направление для экономии ископаемого топлива и предотвращения выбросов парниковых газов. Поэтому совместная работа ТЭЦ-2 и МЗС по утилизации перспективна для г. Казани по следующим причинам:

- близкое расположение МЗС с ТЭЦ-2;
- снижение зависимости от традиционных видов топлива, уменьшение затрат на топливо (при сжигании одной тонны отходов можно получить 1 300–1 700 кВтч тепловой энергии или 300–550 кВтч электроэнергии);
- уменьшение тарифов для потребителей [6, 7].

Список литературы:

1. Тугов, А. Н. Перспективы энергетической утилизации ТБО / А. Н. Тугов. – Текст : непосредственный // Энергосовет. – 2014. – № 4 (35). – С. 31–35.
2. Герасимов, Е. Н. Вторичный энергоресурс / Е. Н. Герасимов. – Текст : непосредственный // Энергетика и промышленность России. – 2021. – № 1-2. – С. 405-406.
3. Мусоросжигательный завод: [сайт]. – URL: https://yandex.ru/maps/?from=mapframe&ll=48.947675%2C55.894331&mode=use_rmaps&source=mapframe&um=constructor%3Ab3d452c20c72153e7c31ce6351b07484d3aae79f65802f2a5a9277acaal c8a47&utm_source=mapframe&z=14 (дата обращения: 27.03.2023). – Текст : электронный.
4. Территориальная схема в области обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами, Республики Татарстан: [сайт]. – URL: https://pravo.tatarstan.ru/rus/file/npa/2016-10/81845/npa_81846.pdf (дата обращения: 10.04.2023). – Текст : электронный.
5. Липов, Ю. М. Компоновка и тепловой расчет парового котла: учеб. пособие. / Ю. М. Липов, Ю. Ф. Самойлов, Т. В. Виленский. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 208 с. – Текст : непосредственный.
6. Зверева, Э. Р. Извлечение ценных компонентов из золошлаковых отходов тепловых электрических станций / Э. Р. Зверева, В. П. Плотникова, Ф. И. Бурганова, Л. О. Зверев, Д. М. Латыпова. – Текст : непосредственный // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2020. – Том 12. – № 2 (46). – С. 3-13.
7. Ершов, А. Г. Термическое обезвреживание отходов: теория и практика, мифы и легенды / А. Г. Ершов, В. Л. Шубников. – Текст : непосредственный // Твердые бытовые отходы. – 2014. – №5 (95). – С.46-53.

© Насибуллина К. И., Куринная А. М., Гурьянова А. Э., 2023

**УЛУЧШЕНИЕ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ
ДИАТОМИТОВЫХ ГЛИНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ДАВЛЕНИЯ**

студент **Широнина Александра Михайловна**,
студент **Воронин Илья Павлович**,
аспирант **Махмуд Карем Абделазим Габер**,
доктор техн. наук, доцент **Ташлыков Олег Леонидович**,
Уральский Федеральный университет
имени первого президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Российская Федерация

Аннотация. В данной работе рассматривается влияние прессования на радиационно-защитные свойства диатомитовой глины. Представлены результаты расчетно-экспериментальных исследований с помощью метода Монте-Карло (MCNP) и программного обеспечения XCOM.

Ключевые слова: РЗМ, диатомитовая глина, прессование.

**IMPROVEMENT OF RADIATION-PROTECTIVE PROPERTIES
OF DIATOMITE CLAY MATERIALS UNDER PRESSURE**

Student **Shironina Alexandra Mikhailovna**,
Student **Voronin Ilya Pavlovich**,
PhD Student **Mahmoud Kareem Abdelazim Gaber**,
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
Tashlykov Oleg Leonidovich,
Ural Federal University
named after the First President of Russia B. N. Yeltsin,
Yekaterinburg, Russian Federation

Abstract. In this paper, the influence of pressing on the radiation-protective properties of diatomite clay is considered. The results of computational and experimental studies using the Monte Carlo method (MCNP) and XCOM software are presented.

Keywords: REM, diatomite clay, pressing.

Введение

Оптимизация радиационной защиты является важной задачей как при проектировании, так и при эксплуатации атомной электростанции (АЭС) [1]. В настоящее время во многих странах, особенно в тех, где планируется сооружение объектов использования атомной энергии (ОИАЭ), активизировались теоретические и экспериментальные исследования в области оптимизации и поиска новых нетоксичных составов радиационно-защитных материалов [2].

Традиционные материалы для защиты от гамма-излучения не всегда удобны для использования, имеют высокую стоимость (например, вольфрам), токсичны (например, свинец) [3]. Поэтому исследователи сосредоточены на разработке и поиске новых эффективных, недорогих, нетоксичных защитных материалов.

В данной работе представлены результаты расчетно-экспериментальных исследований радиационно-защитных свойств материалов из диатомитовой глины. Основными характеристиками, которые описывают радиационно-защитные свойства материала, являются линейный коэффициент ослабления и толщина слоя половинного ослабления.

На Урале были открыты следующие богатые месторождения диатомита: Ильинское, Камышловское, Шадринское. Особенности вещественного состава и строения диатомовых глин последнего позволяют рассматривать их в качестве перспективного сырья для производства строительных материалов [4].

Целью работы является повышение плотности диатомитовых глинистых минералов путем их уплотнения под различным давлением и, соответственно, способности ослаблять гамма-излучение. Перспективной областью использования изделий из глины, как чистой с повышенной плотностью, так и с добавлением промышленных отходов, могут быть блоки (кирпичи) быстровозводимой радиационной защиты для экранирования высокоактивного оборудования при ремонтах и демонтаже радиоактивного оборудования [5, 6, 7].

Методы и средства

Диатомит представляет собой природный кремнистый материал, характерными особенностями которого является тонкопористая структура, лёгкость, значительная термостойкость (рисунок 1). Химический состав диатомита представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав диатомитовой глины

Химический состав (%)										
Ag	Al	As	B	Ba	O	Bi	Ca	Cd	Co	Cr
0.002	4.218	0.005	0.011	0.014	61.903	0.030	0.418	0.002	0.007	0.010
Cu	Fe	Hg	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P
0.002	2.627	0.001	0.956	0.002	0.607	0.012	0.010	0.267	0.006	0.070
Pb	Re	S	Sb	Se	Si	Sn	Sr	Tl	V	W
0.030	0.005	0.072	0.001	0.070	27.690	0.010	0.004	0.261	0.027	0.020
Zn	Zr	H								
0.004	0.006	1.292								

Природная диатомитовая глина имеет плотность в пределах 0,5 – 0,7 г/см³, поэтому ее способность ослаблять фотоны высоких энергий невелика.

Для повышения устойчивости к растрескиванию конечного материала диатомитовую глину смешивали с 15 % жидкого стекла (Na₂SiO₃). Материал подвергали прессованию под давлением 22,84 МПа, 45,70 МПа, 68,55 МПа, 91,40 МПа и 114,24 МПа (рисунок 2). Давление рассчитывали по формуле:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{4F}{\pi d^2}, \quad (1)$$

где F – модуль силы,
 S – площадь поверхности,
 d – диаметр образца.



Рисунок 1. Исходная диатомитовая глина



Рисунок 2. Спрессованные образцы

Плотность (ρ , г/см³) прессованных образцов измеряли с помощью плотномера МН-300А (рисунок 3). Погрешность измерения находится в пределах $\pm 0,01$ г/см³. Измерения плотности проводились с использованием принципа Архимеда:

$$(\rho) = \frac{(W_a - W_L)}{W_a} \rho_L, \quad (2)$$

где W_a – вес прессованного образца в воздухе,
 W_L – вес прессованного образца в жидкости,
 ρ_L – плотность жидкости.

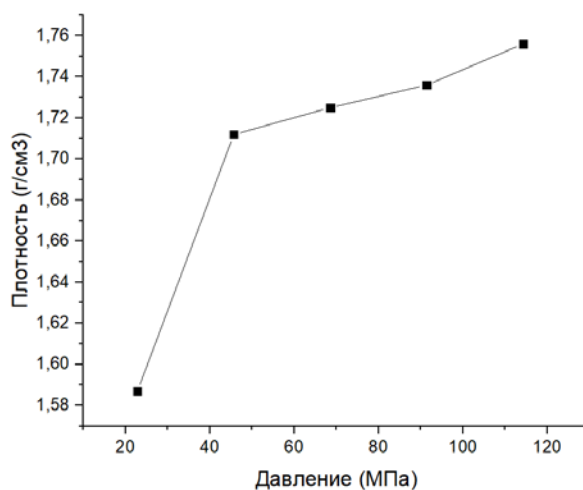


Рисунок 3. Изменение плотности прессованной глины (г/см³) в зависимости от приложенного давления

Программное обеспечение ХСОМ используется для теоретической оценки массового коэффициента ослабления. Национальный институт стандартов и технологий США (NIST) составил базу данных сечений фотонов, используемую в программе ХСОМ. ХСОМ предоставляет полное сечение, а также парциальное сечение следующих процессов: некогерентного рассеяния, когерентного рассеяния, фотоэлектрического поглощения и образования пара в полях атомного ядра и в поле электронов атомов.

В таблице 2 приведены квантово-теоретические модели, использованные для определения сечений вышеупомянутых процессов.

Таблица 2 – Теоретические модели, используемые в базе данных ХСОМ

<i>Механизм взаимодействия</i>	<i>Модели</i>
Некогерентное рассеяние	Уравнение Нисима-Клейна и нерелятивистские функции некогерентного рассеяния Хартри-Фока [8]
Когерентное рассеяние	Формула Томсона и релятивистские атомные формфакторы Хартри-Фока [9]
Фотоэлектрический эффект	$\leq 1,5$ МэВ уравнение Скофилда [10] $> 1,5$ MeV Полуэмпирическое уравнение, рассчитанное Праттом
Образование пар	Теория Бете-Гайтлера [11]

В последние несколько десятилетий ряд вычислительных методов, таких как алгоритм Монте-Карло, стали незаменимым инструментом для разработки материалов радиационной защиты для ядерных приложений. Самый продвинутый вычислительный пакет Монте Карло-МСНР – от Лос-Аламосской национальной лаборатории. Это очень гибкий пакет, который можно использовать во многих приложениях, включая анализ экранирования.

МСНР-5 – это универсальный транспортный код Монте-Карло, связанный с непрерывной энергией, обобщенной геометрией, зависящий от времени, связанный нейтрон, фотон и электрон, разработан Лос-Аламосской национальной лабораторией. Его можно использовать в нескольких режимах переноса: только нейтрон, только фотон, только электрон, комбинированный перенос нейтрона / фотона, где фотоны образуются в результате взаимодействия нейтронов; фотон; электрон или электрон/фотон. Диапазон энергий нейтронов составляет от 10 – 11 МэВ до 20 МэВ для всех изотопов и до 150 МэВ для некоторых изотопов. Диапазон энергий фотонов составляет от 1 кэВ до 100 ГэВ, а диапазон энергий электронов – от 1 кэВ до 1 ГэВ. Сначала пользователь должен создать входной файл. Единицы измерения, используемые во входном файле МСНР: см – для длины, МэВ – для энергии, 10^{-8} секунд – для временных колебаний, г/см³ – массовой плотности.

Результаты и их обсуждение

Для исследования радиационно-защитных свойств диатомитовой глины использовался программный пакет MCNP для моделирования с помощью метода Монте-Карло и программное обеспечение XCOM. MCNP позволяет при заданных параметрах концентраций и плотностей материала определять длину свободного пробега гамма-квантов. Далее рассчитывались линейные коэффициенты ослабления для образцов с различной степенью прессования и полученные результаты сравнивались с данными, полученными с помощью XCOM.

Линейный коэффициент ослабления равен

$$\mu = \frac{1}{\lambda},$$

где λ – это длина свободного пробега.

Линейный коэффициент ослабления μ зависит от энергии гамма-излучения, атомного номера Z и плотности ρ поглотителя. Гамма-кванты взаимодействуют, в основном, с атомными электронами, следовательно, коэффициент ослабления должен быть пропорционален плотности электронов P , которая пропорциональна объемной плотности поглощающего материала.

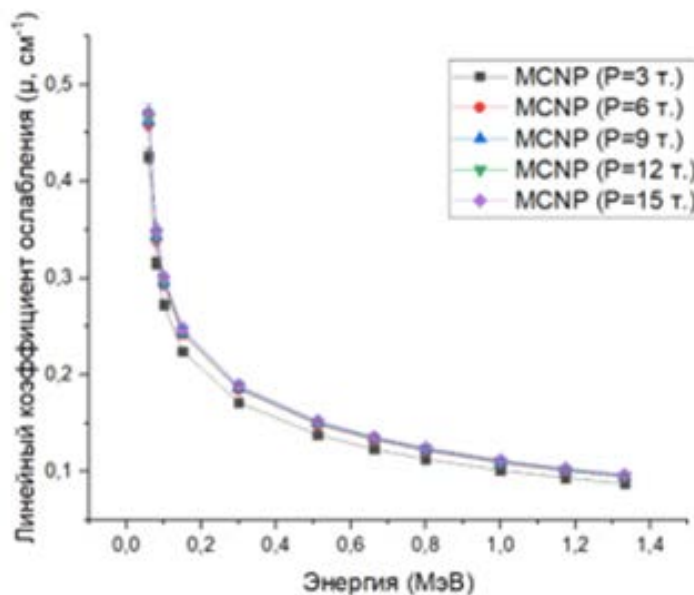


Рисунок 4. Зависимость линейного коэффициента ослабления от энергии, полученная с помощью MCNP

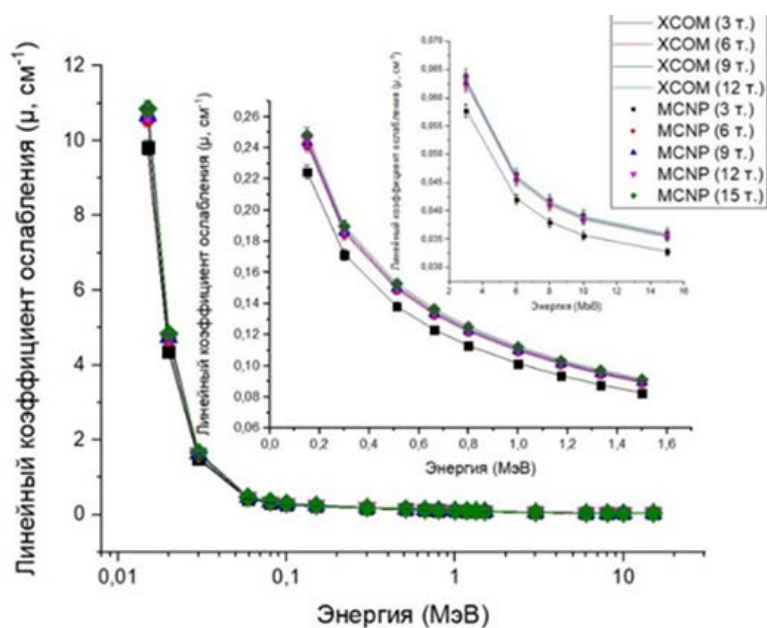


Рисунок 5. Сравнение линейных коэффициентов ослабления MCNP и XCOM

Стоит также отметить, что одной из важных характеристик защитных материалов является толщина половинного ослабления $x_{1/2}$, см. Данная характеристика показывает, какая должна быть толщина слоя ослабляющего материала, чтобы обеспечить снижение интенсивности гамма-излучения в два раза.

Слой половинного ослабления (см) по формуле:

$$x_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\mu}$$

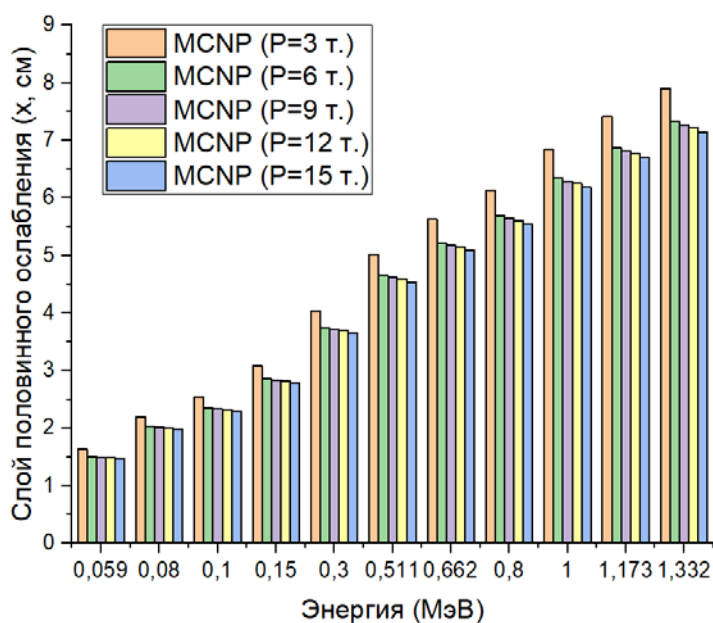


Рисунок 6. Зависимость слоя половинного ослабления от энергии, рассчитанная в MCNP

Результаты и обсуждения

1. На первом этапе прессования небольшое повышение давления вызывает значительное увеличение плотности образцов, а при дальнейшем увеличении давления повышение плотности незначительно. Замедление обуславливается повышением твердости материала, увеличением межатомных сил отталкивания частиц.

2. При максимальной приложенной нагрузке 15 тонн плотность увеличивается в 3 раза и составляет 1,756 кг/м³.

3. Линейный коэффициент ослабления повышается на 110 % с повышением давления прессования до 15 тонн (для энергии излучения ⁶⁰Со и ¹³⁷Cz).

4. Для энергии излучения ⁶⁰Со толщина слоя половинного ослабления диатомита при максимально приложенном давлении прессования составляет 6,9 см, а для бетона – 6,4 см.

5. Сравнение результатов, полученных с помощью MCNP и XCOM, показало хорошую сходимость. Различие результатов составляет не более 1 %.

Список литературы:

1. Публикация 103 Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ). Пер с англ. / Под общей ред. М. Ф. Киселёва и Н. К. Шандалы. – М. : Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. – 344 с. – Текст : непосредственный.
2. Sayyed, M. I., Mahmoud, K. A., Tashlykov, O. L., Khandaker, M. U., Faruque, M. (2021) Enhancement of the Shielding Capability of Soda–Lime Glasses with Sb₂O₃ Dopant: A Potential Material for Radiation Safety in Nuclear Installations. *Applied Sciences (Switzerland)*. 11 (1), 1-15.
3. Русских, И. М. Экспериментально-теоретическое исследование органометаллических радиационно-защитных материалов, адаптированных к источникам излучения со сложным изотопным составом / И. М. Русских, Е. Н. Селезнев, О. Л. Ташлыков, С. Е. Щеклеин. – Текст : непосредственный // Ядерная физика и инжиниринг. – 2014. – Том 5. – № 5. – с. 449-455.
4. Смирнов, П. В. Диатомовые глины Шадринского месторождения (Курганская область) / П. В. Смирнов, А. О. Константинов. – Текст : непосредственный // Георесурсы. – 2016. – Т. 18. – № 3. 4. 2. – С. 240-244. DOI: 10.18599/grs.18.3.16
5. Ташлыков, О. Л., Щеклеин, С. Е., Булатов, В. И., Шастин, А. Г. О проблеме снижения дозовых затрат персонала АЭС / О. Л. Ташлыков, С. Е. Щеклеин, В. И. Булатов, А. Г. Шастин. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2011. – № 1. – С. 55-60.
6. Кропачев, Ю. А. Оптимизация радиационной защиты на этапе вывода энергоблоков АЭС из эксплуатации / Ю. А. Кропачев, О. Л. Ташлыков, С. Е. Щеклеин. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2019. – № 1. – С.119-130.
7. Носов, Ю. В. Особенности вывода из эксплуатации быстрых реакторов БН-350, -600 / Ю. В. Носов, А. В. Ровнейко, О. Л. Ташлыков, С. Е. Щеклеин. – Текст : непосредственный // Атомная энергия. – 2018. – Т. 125. – № 4. – С. 195-199.
8. Hubbell, J. H., Veigele, Wm. J., Briggs, E. A., Brown, R. T., Cromer, D. T., Howerton, R. J. (1975) Atomic form factors, incoherent scattering functions, and

- photon scattering cross sections. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*. 4 (3), 471-538.
9. Hubbell, J. H., Verbo, I. O. (1979) Relativistic atomic form factors and photon coherent scattering cross sections. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*. 8 (1), 69-106.
10. Scofield, J. H. (1973) Physics Theoretical Photoionization Cross Sections from 1 to 1500 keV (UCRL-51326). *Livermore, California*.
11. Hubbell, J. H., Gimm, H. A., Verbo, I. O. (1980) Pair, Triplet, and Total Atomic Cross Sections (and Mass Attenuation Coefficients) for 1 MeV-100 GeV Photons in Elements $Z = 1$ to 100. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*. 9 (4), 1023-1148.

© Широина А. М., Воронин И. П., Махмуд К. Г., Ташлыкков О. Л., 2023

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБОВ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И СЕТЯХ

студент **Елфутин Максим Денисович**,
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент
Гибадуллин Рамил Рифатович,
Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. В работе произведена попытка рассмотрения способа улучшения процесса регулирования параметров сети путем применения современных способов компенсации, схем устройств, применяемых в промышленности для компенсации реактивной мощности, а именно посредством применения тиристорных преобразователей, запираемых тиристоров и IGBT транзисторов. Приведены автоматизированные регуляторы, основанные на точной микропроцессорной электронике.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, компенсация реактивной мощности, тиристорные преобразователи, IGBT транзисторы.

APPLICATION OF MODERN METHODS OF REACTIVE POWER COMPENSATION IN ELECTRIC POWER SYSTEMS AND NETWORKS

Student **Yelfutin Maksim Denisovich**,
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor
Gibadullin Ramil Rifatovich,
Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russian Federation

Abstract. The paper attempts to consider a way to improve the process of regulating network parameters by using modern compensation methods, device circuits used in industry for reactive power compensation, namely through the use of thyristor converters, gated thyristors and IGBT transistors. Automated controllers based on precise microprocessor electronics are presented.

Keywords: electric power system, reactive power compensation, thyristor converters, IGBT transistors.

Для нормальной работы всей электроэнергетической системы в целом необходим постоянный контроль за уровнем напряжения. Электроприемники различного назначения, обладающие различными характеристиками, служат основой для существования немалого количества средств компенсации реактивной мощности [1].

С каждым годом количество потребителей электрической энергии возрастает, вследствие чего возрастают потери при ее передаче. Но процесс замены старого оборудования, который является одним из основных мероприятий по модернизации электроэнергетических систем, далеко не краткосрочный, а уменьшить потери энергии необходимо уже сегодня. Ввод в эксплуатацию установок, компенсирующих реактивную мощность, – процесс достаточно мобильный.

На многих металлургических предприятиях, использующих двигатели постоянного тока, до 2011 года использовались тиристорные преобразователи, предназначенные для питания электрических машин [2]. Применение данных элементов было связано с необходимостью широкого диапазона регулирования частоты вращения, а во время проектирования отсутствовали преобразователи переменного тока со схожими техническими характеристиками. В таком случае в роли компенсирующего устройства должна была выступить система, включающая регулирование индуктивности в составе тиристорно-реакторной группы и группы фильтров 5, 7, 11, 13 гармоник. Однако основанием нереализованного проектного решения послужило отсутствие необходимых конденсаторов в то время [3].

Современные элементы силовой электроники дают возможность использовать новые источники реактивной мощности. Наряду с вышесказанным появился еще один метод компенсации реактивной мощности на шинах 10 кВ. Он заключался в использовании фильтров, выполняемых на базе статических компенсаторов. Компенсация происходит путем изменения напряжения на конденсаторе относительно напряжения сети: увеличивая напряжение на конденсаторе, получают генерацию реактивной мощности, уменьшая, наоборот, – потребление.

В дальнейшем начали проектировать схемы с использованием мощных запираемых тиристоров или IGBT транзисторов [4]. Данные компенсаторы со временем совершенствовались, и технически реализовать их можно было несколькими способами. Для обеспечения пульсности тока можно использовать запираемые тиристоры, отличаются они рабочей шириной частот в 500 Гц. В схеме для повышения напряжения и минимизации высших гармоник тока применялись последовательно соединенные многофазные трансформаторы с различными вариантами комбинирования вторичных обмоток. Данная схема отличается своей компактностью, потому что в ней используются отдельные идентичные модули из GTO тиристоров, что является неоспоримым достоинством ее применения.

В отличие от запираемых транзисторов IGBT, транзисторы имеют рабочий диапазон частот в несколько килогерц. Отличие же схем состоит в том, что для достижения необходимых характеристик и качеств тока используют вместо многофазных трансформаторов широтноимпульсную модуляцию. Высокочастотная область содержит в себе весь спектр генерируемых гармоник, что является особенностью широтноимпульсной модуляции. Однако для подавления высших гармоник тока в схеме должен применяться широкополосный фильтр, который подключен с компенсатором параллельно –

это один из способов, второй заключается в использовании трансформатора, двух трехфазных мостов, параллельно подключенных к общему конденсатору. При втором подходе к решению Т-образный фильтр с дополнительными реактором, индуктивностью и емкостью локализует на себе высшие гармоники, а напряжение удваивается.

При сравнении двух вышеприведенных решений можно сделать вывод о перспективе запираемых тиристоров, поскольку схема с их использованием, во-первых, менее затратная, во-вторых, обещает более надежную эксплуатацию устройства в условиях несинусоидального напряжения. К тому же можно добавить о возникновении нежелательных последствий в работе преобразователя при высоких частотах коммутации тиристоров.

Вместе с необходимостью установки самих компенсирующих устройств возникает необходимость и в автоматизации управления коммутационными процессами в реальном времени, причем система регулирования параметров должны быть единой для достижения повышенной эффективности.

Как известно, компенсация реактивной мощности осуществляется путем плавного или ступенчатого переключения компенсационных ресурсов, и для этой цели используется множество моделей регуляторов.

Так, автоматический регулятор модели PROPNI возглавляет список лидирующих современных многофункциональных разработок, применяемых в низковольтных сетях для изменения коэффициента мощности. Отличительной его способностью является возможность выведения на дисплей практически всех параметров регулируемой сети, а также возможность дистанционного регулирования с применением компьютерной техники.

Защиту сети от снижения до критического значения $\cos \phi$ осуществляет представитель самых мощных многофункциональных устройств – DCRJ. Микропроцессорное устройство оснащено цифровым программированием, отдельным входом измерения напряжения, контролем состояния конденсаторных установок, сохранением в памяти процессов и истории событий. Устройство способно производить обмен данными через сеть Интернета, GSM-канал, и пригодно для эксплуатации в системах с классами напряжения 6, 10, 35 кВ.

Автоматический регулятор реактивной мощности PR.3D является автопрограммируемым, т. е. не требует ручного программирования, потому что все параметры сети и конденсаторных установок контролируются самим устройством. Для работы используется ток одной из фаз и показания напряжений со всех фаз [5].

Учитывая разность графиков нагрузок разных потребителей, к каждому из них необходимо применить индивидуальное компенсирующее устройство со схемой, построенной непосредственно под самого потребителя. Для повышения надежности и точности процесса компенсации реактивной мощности все оборудование должно находиться под контролем автоматизированного регулятора, основанного на микропроцессорной технологии. Однако моделей регуляторов тоже существует немалое количество, и у каждой модели характеристики и функционал индивидуально заточены под ту или иную

систему электроснабжения. Таким образом, было бы эффективным объединение всех регулировочных систем в единую систему, контролируемую головным центром или несколькими головными центрами, анализирующими и учитывающими все процессы, посылающими команды на регуляторы.

Список литературы:

1. Регуляторы для компенсации реактивной мощности: [сайт]. – 2023. – URL: <https://www.pea.ru/docs/equipment/reactive-power-compensation/regulatory-kontrollery/> (дата обращения: 01.05.2023). – Текст : электронный.
2. Виды компенсирующих устройств и их применение: [сайт]. – 2015. – URL: <https://studfile.net/preview/4614341/page:10/> (дата обращения: 01.05.2023). – Текст : электронный.
3. Деркач, Н. С. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий / Н. С. Деркач. – Курган : Издательство «Курганского государственного университета», 2016. – 3 с. – Текст : непосредственный.
4. Корнилов, Г. П. Современные способы компенсации реактивной мощности крупных металлургических приводов / Г. П. Корнилов, Т. Р. Храмшин, А. Н. Шеметов, Ю. П. Журавлёв, А. А. Мурзинов. – Текст : непосредственный // Материалы «Известий высших учебных заведений. Электромеханика». – Новочеркасск : Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М. И. Платова, 2009. – С. 28-31.
5. Крысанов, В. Н. Возможности использования в автоматизированной системе управления электроснабжением промышленных предприятий тиристорных конденсаторных установок для компенсации реактивной мощности / В. Н. Крысанов, К. В. Иванов. – Текст : непосредственный // Материалы «Вестника воронежского государственного технического университета». – Воронеж : Воронежский государственный технический университет, 2017. – С. 40-45.

© Елфутин М. Д., 2023

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

студент **Юсупова Диляра Айратовна**,
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент
Шарипов Ильнар Ильдарович,
Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. Современный искусственный интеллект широко используется в различных отраслях, включая создание трехмерных объектов. В статье рассмотрены аспекты использования искусственного интеллекта в 3D-прототипировании, а также проблемы использования когнитивного программирования в аддитивных технологиях.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-моделирование, 3D-печать, искусственный интеллект, когнитивное программирование, 3D-прототипирование.

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ADDITIVE TECHNOLOGIES

Student **Yusupova Dilyara Ayratovna**,
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor
Sharipov Inar Ildarovich,
Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russian Federation

Abstract. Modern artificial intelligence is widely used in various industries, including the creation of three-dimensional objects. The article considers aspects of the use of artificial intelligence in 3D prototyping, as well as the problems of using cognitive programming in additive technologies.

Keywords: additive technologies, 3D modeling, 3D printing, artificial intelligence, cognitive programming, 3D prototyping.

Искусственный интеллект (ИИ), технологии управления интеллектуальными устройствами и аддитивные технологии (АТ) являются ключевыми в цифровой сфере благодаря своему высокому уровню развития. Они предоставляют современные программно-аппаратные средства для моделирования устройств с использованием когнитивных технологий [1].

Когнитивные особенности сознания, такие как распознавание образов, анализ и сравнение данных, помогают искусственному интеллекту более точно и быстро обрабатывать трехмерные данные в процессе 3D-прототипирования.

Кроме того, искусственный интеллект позволяет автоматизировать процессы создания 3D-моделей, что сокращает время и затраты на их разработку.

Однако использование когнитивного программирования в аддитивных технологиях также может вызвать некоторые проблемы, например, недостаточную точность обработки данных и возможность ошибок в создании 3D-моделей. Также может возникнуть вопрос о том, какой уровень автономии следует предоставить искусственному интеллекту в процессе разработки 3D-моделей.

Тем не менее, использование искусственного интеллекта в 3D-прототипировании уже доказало свою эффективность и продолжает развиваться, что может привести к более точному и быстрому процессу создания 3D-моделей, а также к новым возможностям в области аддитивных технологий. Когнитивно-программируемые технологии имеют огромное значение для эффективного копирования и распространения цифровых копий продуктов через коммуникационные сети.

Создание трехмерной формы цифровой копии изделия (ЦКИ) основано на когнитивной разработке эскиза и создании цифрового изображения проекта. В отличие от классических методов программирования, которые используют специфические формальные языки, когнитивное программирование опирается на веб-дизайн приложений и сервисов, что позволяет перевести творческий процесс в электронную форму. Таким образом, когнитивное программирование представляет собой цифровую симуляцию творческого процесса.

Этот подход также актуален при разработке аддитивных технологий (АТ) в контексте создания и развития продукта. Когнитивно-программируемые технологии позволяют создавать программируемые средства управления конструкционным материалом в среде 3D-инструментов, что особенно полезно в быстром прототипировании (RP-технологиях) [2].

В результате быстрого прототипирования можно значительно сократить время и затраты на производство новых изделий, ускорить процесс их тестирования и оптимизировать производственный процесс в целом [3].

Кроме технических сложностей, использование когнитивно-программируемых технологий в процессе 3D-прототипирования может также столкнуться с этическими и правовыми вопросами. Например, возможность создания точных копий объектов может привести к нарушению авторских прав и интеллектуальной собственности. Также использование когнитивных технологий может вызвать обеспокоенность по поводу конфиденциальности и защиты данных. Эти вопросы требуют серьезного рассмотрения и разработки соответствующих механизмов защиты и контроля.

3D Systems Sinterstation HiQ+HS – это промышленное оборудование, созданное на основе технологии селективного лазерного спекания (SLS), которое используется для изготовления прочных деталей из пластика и металла, трехмерных инструментов и литейных моделей на основе файлов в формате 3D CAD. Одним из преимуществ данного оборудования является экономия времени и ресурсов, так как процессы механической обработки, шлифовки и литья исключаются. Данный метод автоматически создает функциональные детали,

литейные модели и инструменты, что повышает эффективность и удобство производства [4]. Кроме того, система 3D Systems Sinterstation HiQ+HS имеет еще несколько преимуществ. Она имеет низкую стоимость эксплуатации, что позволяет сэкономить средства. Также она способствует сокращению отходов и обеспечивает возможность вторичного использования материалов, что является экологически эффективным решением. Система позволяет создавать сложные запчасти и прототипы из полиамида и стекловолокна. Она способна производить сложные инструменты, запасные части и прототипы. Кроме того, система способна воспроизводить сложные шаблоны на литейных моделях, что делает ее универсальным инструментом для многих отраслей промышленности. Все эти преимущества делают систему Sinterstation HiQ+HS выгодным выбором для промышленных производств и предприятий, которые нуждаются в быстром и точном производстве функциональных деталей и прототипов. Это также означает, что система может существенно снизить затраты на производство, уменьшить количество отходов и ускорить процесс разработки новых продуктов. [5]. Таким образом, искусственный интеллект и когнитивное программирование даёт перспективу воспроизведения сложнейших пространственных форм, объектов и инженерных конструкций, механизмов.

Список литературы:

1. Дружинина, О. В. Методы анализа устойчивости динамических систем интеллектуального управления / О. В. Дружинина, О. Н. Масина. – М. : ЛЕНАНД, 2016. – С. 12-14. – Текст : непосредственный.
2. Александров, В. В. Цифровые программируемые технологии / В. В. Александров, В. А. Сарычев. – Текст : непосредственный // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2010. – Т. 8. – № 11. – С. 3-9.
3. Ван, П., Лю, К., Догерти, К. Концепции искусственного интеллекта и сингулярности / П. Ван, К. Лю, К. Догерти. – Текст : непосредственный // Информация. – 2018. – № 9. – С. 67-75.
4. Кушнир, А. П. Классификация технологий 3D печати / А. П. Кушнир, В. Б. Лившиц. – Текст : непосредственный // Дизайн. Теория и практика. – 2014. – № 18. – С. 74-84.
5. Масина, О. Н. Моделирование и анализ устойчивости некоторых классов систем управления / О. Н. Масина, О. В. Дружинина. – М. : ВЦ РАН, 2011. – 164 с. – Текст : непосредственный.

© Юсупова Д. А., 2023

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПОДСИСТЕМЫ ДОЗИРОВКИ КОРМА В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ КОРМУШКАХ ДЛЯ ДОМАШНИХ ЖИВОТНЫХ

студент **Колесников Вадим Александрович**,
преподаватель **Венчаков Павел Вячеславович**,
Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева,
г. Саранск, Российская Федерация

Аннотация. В статье затрагивается проблема дозировки сухого корма в автоматических кормушках для домашних животных. Составлены и рассмотрены алгоритмы логики работы подобных систем. Рассмотрены варианты контроля дозировки сухого корма. Результаты статьи могут быть применены при проектировании или улучшении существующих моделей автоматических кормушек для домашних животных.

Ключевые слова: алгоритм, автоматическая кормушка, датчик веса, ультразвуковой датчик, умный дом.

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR THE SUBSYSTEM OF FEED DOSAGE IN AUTOMATED FEEDERS FOR PETS

Student **Kolesnikov Vadim Aleksandrovich**,
Lecturer **Venchakov Pavel Vyacheslavovich**,
Ogarev Mordovia State University,
Saransk, Russian Federation

Abstract. The article touches upon the problem of the dosage of dry food in automatic feeders for pets. Algorithms of logic of operation of such systems are compiled and considered. Options for controlling the dosage of dry food are considered. The results of the article can be applied to the design or improvement of existing models of automatic feeders for pets.

Keywords: algorithm, automatic feeder, weight sensor, ultrasonic sensor, smart home.

Автоматизированные системы уже давно стали неотъемлемой частью повседневной жизни человека. Автоматизированная система представляет собой организационно-техническую систему, обеспечивающую выработку решений на основе автоматизации информационных процессов в различных сферах деятельности или их сочетаниях [1]. Исходя из определения, к этому виду технический устройств можно отнести самые простые, домашние устройства: таймер для электрической печи на кухне, электронные часы, «умная» ночная подсветка, которая реагирует на присутствие человека или животного. Более сложные системы имеют прямое отношение к «умному дому» – система

домашних устройств, способных выполнять действия и решать определённые повседневные задачи без участия человека [2]. В пример можно привести: тёплый пол, включение/отключения освещения, сигнализация.

Каждое приведенное выше устройство объединяет то, что все они работают согласно заданному алгоритму. Алгоритм работы устройства (системы) – совокупность предписаний, ведущих к правильному выполнению технического (технологического) процесса в каком-либо устройстве или в совокупности устройств (системе) [3].

Владельцы домашних животных рано или поздно сталкиваются с проблемой правильного кормления животных: режим питания должен соблюдаться для всех. Автоматические кормушки для животных могут использовать несколько различных методов для определения количества корма в миске.

Одним из наиболее распространенных методов является использование датчика измерения веса, который располагается под миской. Дозировка корма происходит с учетом веса миски. После того, как домашний питомец опустошит миску – система будет досыпать корм в соответствии с графиком приема пищи [4].



Рисунок 1. Внешний вид датчика измерения веса

Другой метод основан на ультразвуковом эффекте. Датчик представляет собой источник и приемник ультразвукового сигнала и располагается над миской. Во время насыпания корма датчик проводит несколько измерений и при фиксировании верхнего порога высоты корма – отключает механизм подачи корма.



Рисунок 2. Внешний вид ультразвукового датчика

В целом, автоматические кормушки используют различные технологии для определения уровня корма в миске, и производители могут использовать

комбинацию этих технологий для достижения максимальной точности в определении, когда в миске недостаточно корма.

Рассмотрим алгоритмы работы некоторых распространенных типов существующих автоматических кормушек [5, 6, 7, 8].

1. Механические кормушки. Самыми простыми, разумеется, являются недорогие механические варианты кормушек для кошек. Такие устройства отличаются незамысловатой, но очень надежной конструкцией. В таком изделии надо наполнить емкость сразу после того, как домашнее животное поест. Вывод: режим питания в таких кормушках не учитывается, так как животное может питаться по необходимости.

2. Модели кормушек с несколькими отсеками. У таких типов кормушек корм заранее засыпается в отсеки и закрываются автоматической крышкой. Такие устройства могут работать от сети или аккумулятора. В конкретное настроенное время в таких мисках раскрывается отсек с пищей. Разрешается применять не только для простых сухих, но и для влажных кормов (можно засыпать и натуральную пищу при желании). В один из отсеков таких моделей можно заложить лед, что позволит некоторое время обеспечить температуру хранения скоропортящегося корма.

3. Модели кормушек с таймером. Такое устройство является очень удобным и полезным, о чем говорят потребители, купившие его для своих любимцев. В таких кормушках отсеки с пищей открываются поочередно в заранее запрограммированное время. Существуют разные модели для сухого корма, а также для жидких и смешанных кормов.

На рисунке 3 приведены алгоритмы работы каждого вида кормушек.

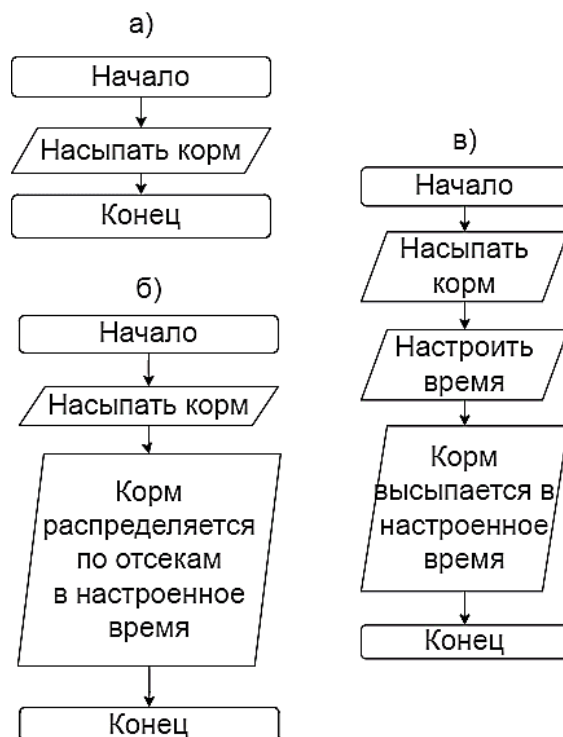


Рисунок 3. Алгоритм работы кормушек: а – механическая, б – кормушка с несколькими отсеками, в – кормушка с таймером

Из приведенных алгоритмов на рисунке 3 можно сделать вывод, что каждый алгоритм по-своему хорош, но и недостатки тоже присутствуют. С применением механизмов автоматизации и датчиков контроля корма можно оптимизировать подсистему дозирования корма. Составим алгоритм подсистемы дозирования сухого корма.

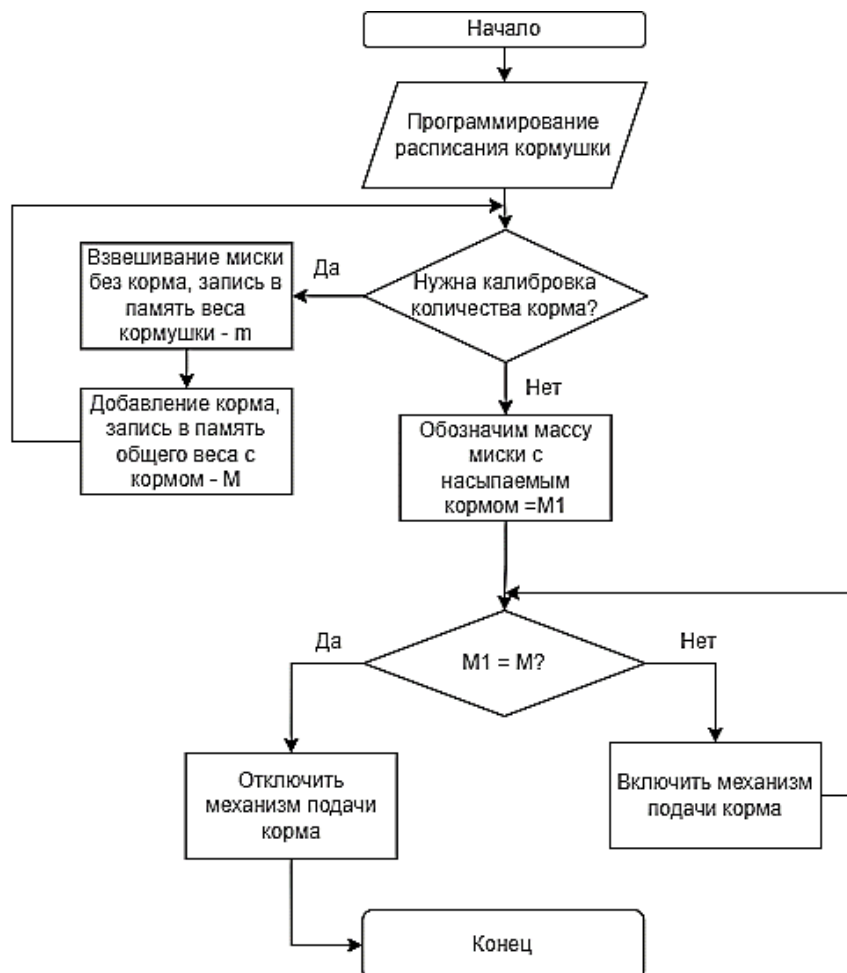


Рисунок 4. Алгоритм работы подсистемы дозирования сухого корма

Приведенный на рисунке 4 алгоритм справедлив для любого вида корма, дозировку которого будет определять датчик веса. Такой же алгоритм можно применить при использовании ультразвукового датчика (рисунок 2), только сравниваться будет не масса, а расстояние от источника излучения до верхней границы корма.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что развитие в данном направлении зависит от потребностей владельцев домашних животных, стоимости комплектующих и стоимости готового изделия.

Список литературы:

1. Автоматизированная система: [сайт]. – 2023. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Автоматизированная_система (дата обращения: 06.05.2023). – Текст : электронный.

2. Колесников, В. А. Обзор и Сравнение существующих автоматизированных систем питания для домашних животных / В. А. Колесников, П. В. Венчаков. – Текст : непосредственный // Наука и практика – 2022 : Материалы Всероссийской междисциплинарной научной конференции, Астрахань, 10–15 октября 2022 года. – Астрахань : Астраханский государственный технический университет, 2022. – С. 220-223. – EDN ELJJZE.
3. Теория автоматического управления: [сайт]. – 2018. – URL: <https://studfile.net/preview/7074315/> (дата обращения: 06.05.2023). – Текст : электронный.
4. Автоматические кормушки для кошек: виды, правила выбора и изготовление: [сайт]. – 2022. – URL: https://vplate.ru/koshki/avtomaticheskie-kormushki/#h2_400816 (дата обращения: 06.05.2023). – Текст : электронный.
5. Автоматическая кормушка для сухого корма: [сайт]. – 2019. – URL: <https://blitzpet.ru/article/avtomaticheskaya-kormushka-dlya-suhogo-korma/> (дата обращения: 14.03.2023). – Текст : электронный.
6. Домашняя автоматизация: [сайт]. – 2023. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Домашняя_автоматизация (дата обращения: 06.05.2023). – Текст : электронный.
7. В чем плюсы и минусы автоматической кормушки для кошек?: [сайт]. – 2022. – URL: <https://www.royalcanin.com/ru/cats/tips/tips/question-v-chem-plyusy-i-minusy-avtomaticheskoy-kormushki-dlya-koshek> (дата обращения: 14.03.2023). – Текст : электронный.
8. Сравнение 10 автоматических кормушек для кошек: [сайт]. – 2019. – URL: <https://wilbo.ru/articles/sravnenie-10-avtomaticheskikh-kormushek-dlya-koshek/> (дата обращения: 14.03.2023). – Текст : электронный.

© Колесников В. А., Венчаков П. В., 2023

АККУМУЛИРОВАНИЕ ГОРЯЧЕЙ ВОДЫ В МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМАХ

студент **Сайфутдинов Фирад Фатихович**,
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент
Ляпин Александр Игоревич,
Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. Работа посвящена вопросам аккумулирования горячей воды в многоквартирных домах. Рассмотрены эффективные решения и способы аккумулирования горячей воды для улучшения комфорта жильцов и экономии затрат на содержание систем отопления и водоснабжения. Описаны различные модели аккумуляторов горячей воды, принцип их работы, особенности конструкций.

Ключевые слова: аккумулирование горячей воды, горячее водоснабжение, жилищно-коммунальное хозяйство, системы отопления.

HOT WATER STORAGE IN APARTMENT BUILDINGS

Student **Sayfutdinov Firad Fatikhovich**,
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor
Lyapin Alexandr Igorevich
Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russian Federation

Abstract. The work is devoted to the problems of hot water accumulation in apartment buildings. Conclusions and decisions on water storage were made to improve the efficiency of residents and save costs for maintaining heating and water consumption systems. Various models of hot water accumulators, the rationale for their work, and design features are described.

Keywords: hot water storage, hot water supply, housing and communal services, heating systems.

Аккумулирование горячей воды в многоквартирных домах – это процесс сохранения нагретой воды в специальных резервуарах, которые позволяют использовать воду для различных бытовых нужд. Одной из главных задач такого аккумулирования является обеспечение жильцов горячей водой в любое время суток. Использование аккумуляторов горячей воды в системах горячего водоснабжения берет свое начало в начале XX века. Применение систем аккумулирования горячего водоснабжения позволяет решить проблему неравномерной загрузки и использования горячей воды в жилых многоквартирных домах. Сегодня аккумуляторы горячей воды являются

основным элементом систем теплоснабжения потребителей с установками горячего водоснабжения многоквартирных домов.

Использование аккумуляционных систем горячего водоснабжения в многоквартирных домах имеет большую актуальность в связи с непрерывным ростом тарифов на коммунальные услуги и необходимостью сокращения затрат на энергоресурсы и снижения негативного воздействия на окружающую среду. При разработке, проектировании и совершенствовании существующих систем необходима оценка режимов работы систем, оптимизация параметров, оценка технического состояния, а также эффективности использования аккумуляторов горячей воды в многоквартирных домах.

Использование аккумуляционных систем горячего водоснабжения обеспечивает равновесие между потреблением и производством горячей воды, что позволяет значительно снизить затраты на ее нагрев. Применение аккумуляционных систем горячего водоснабжения позволяет более равномерно распределять нагрузку на систему, что способствует сокращению количества пиковых нагрузок на тепловые сети и повышению эффективности работы системы в целом. Кроме того, аккумуляционные системы горячего водоснабжения обладают значительным потенциалом для экономии ресурсов и снижению неблагоприятных экологических последствий, таких как выбросы парниковых газов.

Аккумуляирование горячей воды в многоквартирных домах происходит с помощью специальных емкостей, называемых бойлерами или аккумуляторами. Обычно они устанавливаются на крыше (верхней отметке здания) или в подвальном (цокольной части здания) помещении дома. Накопительная система характеризуется наличием емкости, в которой заблаговременно нагревается вода для последующего расхода. Такая система способна справляться с пиками потребления за счет накопленного запаса горячей воды. Скорость, с которой израсходованный запас будет восстановлен, зависит от объема емкости и мощности нагревательного элемента [1].

В периоды максимального суточного водопотребления жителями многоквартирного дома горячая вода подается из аккумулятора через водопроводные трубы в их квартиры. Благодаря такому подходу, горячая вода доступна в любое время дня и ночи, не требует дополнительного нагрева на месте, что экономит энергию и предотвращает перегрузку центральных систем горячего водоснабжения. Однако аккумуляторы горячей воды требуют регулярного технического обслуживания, в том числе проверки на наличие бактерий на поверхности бака, а также очистки от накипи или других отложений, чтобы поддерживать высокое качество горячей воды.

В многоквартирных домах аккумуляционные системы горячего водоснабжения обладают следующими особенностями: они позволяют экономить ресурсы, так как не требуют непрерывного нагрева воды. Благодаря этому можно снизить затраты на энергоресурсы. Такие системы равномерно распределяют нагрузку, избавляя от пиковых нагрузок. Это снижает количество аварий и повышает надежность системы. Аккумуляционная система горячего

водоснабжения обеспечивает непрерывность горячего водоснабжения, что улучшает качество водоснабжения жильцов, а также качество обслуживания.

Различают несколько разновидностей аккумуляционных систем горячего водоснабжения. Система на накопительных баках – наиболее простая система. Горячая вода накапливается в баках и по мере необходимости подается на потребление. В системе с производством горячей воды в баке, в котором хранится горячая вода, обеспечивая непрерывность горячего водоснабжения. К современным и прогрессивным техническим решениям можно отнести систему с прямым выходом горячей воды из бойлера. Эта система предполагает установку резервуара для нагретой воды сразу после бойлера. Этот резервуар обеспечивает выравнивание давления и температуры горячей воды и сокращение времени ожидания, пока горячая вода достигнет места потребления [2, 3].

Можно выделить два вида размещения систем аккумуляирования горячей воды – на верхних и на нижних этажах. Преимущества систем с размещением аккумуляторов на верхних этажах включают высокое давление горячей воды в кранах, уменьшенную вероятность образования накипи в трубах и оборудовании и меньшую вероятность образования опасных бактерий, поскольку вода постоянно обновляется и движется. Плюсы систем аккумуляирования горячего водоснабжения на нижних этажах включают низкое давление воды, что делает ее мягче и более пригодной для использования, и более экономичное использование тепла, благодаря тому, что горячая вода не должна подниматься на высокие этажи. Одним из недостатков размещения систем на верхних этажах является большое расстояние, которое вода должна пройти, чтобы достигнуть нижних этажей, что может привести к потере тепла от трубопроводов и необходимости его дополнительного подогрева. Кроме того, избыток давления на верхних этажах может привести к повреждению труб и оборудования, а также к потере воды. Минусы систем на нижних этажах включают возможное образование накипи на трубах и оборудовании из-за пролива воды с верхних этажей и опасность образования опасных бактерий, так как вода на нижних этажах может содержать больше минералов и других отложений.

Модель системы аккумуляирования горячей воды для многоквартирных домов на основе анализа потребностей жильцов и оптимального использования ресурсов включает в себя контейнер для хранения и нагрева воды в определенное время суток, а также систему забора и распределения воды по квартирам.

Аккумуляирование горячей воды в многоквартирных домах имеет множество преимуществ: удобство использования, при этом жильцы могут в любой момент использовать горячую воду и не ждать ее нагрева. Одним из преимуществ является экономия электроэнергии, такое аккумуляирование позволяет использовать электрические котлы в периоды с низкой тарифной ставкой, что экономит электроэнергию. А также за счет аккумуляирования горячей воды снижается нагрузка на котельные, что увеличивает их ресурс [4, 5].

Аккумуляирование горячей воды в многоквартирных домах имеет и недостатки: ограниченный объем аккумулятора может привести к недостаточности горячей воды для жильцов и выходу ее из строя. Необходимость технического обслуживания аккумуляторов требует регулярного ухода, чтобы

сохранить их работоспособность. В том случае, если аккумуляторы не обслуживаются долгое время, появляется возможность образования опасных бактерий, если аккумуляторы не обслуживаются правильно. Эти бактерии могут вызывать заболеваний у потребителей горячей воды.

Применение систем аккумулирования горячей воды в многоквартирных домах является эффективным и экономически выгодным в условиях повышенного спроса на тепловые ресурсы. Системы могут использоваться в комбинации с другими технологиями для создания современной и удобной системы горячего водоснабжения и отопления абонентов жилищно-коммунального хозяйства.

Нужно понимать, что использование аккумуляционных систем горячего водоснабжения имеет определенные риски, включающие: высокую стоимость установки и обслуживания системы, возможность риска аварийного разряда баков, возможность снижения качества горячей воды из-за возможных отложений на теплообменных поверхностях [6, 7].

Следует учитывать, что при введении аккумуляционных систем горячего водоснабжения в эксплуатацию необходимо производить оценку экономической целесообразности, включая расчет инвестиционных затрат, стоимости эксплуатации, экономического эффекта и сроков окупаемости. Также, необходимо проводить техническую оценку возможности внедрения системы и ее соответствия существующей инфраструктуре и нормативным требованиям.

Анализ эффективности применения систем горячего водоснабжения на основе аккумуляции горячей воды в многоквартирных домах показывает, что такие системы могут значительно сократить расходы на отопление и горячую воду, что является важным фактором для экономической эффективности. Оценка экономической целесообразности использования аккумуляционных систем показывает, что во многих случаях они могут окупаться за несколько лет и приводить к значительной экономии энергоресурсов.

Таким образом, использование аккумуляционных систем горячего водоснабжения в многоквартирных домах является эффективным и экономически выгодным решением, которое позволяет оптимизировать расход ресурсов и повысить уровень комфорта для жильцов. Для достижения максимального результата при проектировании и установке таких систем необходимо учитывать особенности потребления воды в разные часы дня, а также зонировать систему для оптимального распределения горячей воды по всему дому.

Возможным путем эффективного применения аккумуляционных систем горячего водоснабжения является их использование в комбинации с другими технологиями, такими как использование возобновляемых источников энергии, геотермальное отопление, тепловые насосы и другие. Такой подход позволит создать современную, экологически чистую и энергоэффективную систему водоснабжения, которая будет соответствовать современным требованиям и потребностям жильцов.

Список литературы:

1. Современные решения для децентрализованного ГВС. – Текст : электронный // Журнал «Аква-Терм». Отопление. Водоснабжение. Водоподготовка. Кондиционирование. – 2010. – № 5. – URL: https://aqua-therm.ru/articles/articles_114.html (дата обращения: 23.04.2023).
2. Липатов, М. С. Подбор оборудования для покрытия тепловых нагрузок частного жилого дома / М. С. Липатов, Я. В. Максимов. – Текст : электронный // International Journal of Professional Science. – 2022. – № 9. – С. 113-121. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49868551> (дата обращения: 23.04.2023). – DOI 10.54092/25421085_2022_9_113. – EDN WZILQC.
3. Устройство бака аккумулятора в системах отопления – простота и удобство установки: [сайт]. – URL: <https://makipa.ru/stati/kotly/ustrojstvo-baka-akkumulyatora-v-sistemax-otopleniya-prostota-i-udobstvo-ustanovki/> (дата обращения: 22.04.2023).
4. Lashina, E. N. Prospects for improvement in CHPP performance on the example of the CHPPs in Saint-Petersburg, Russia / E. N. Lashina. – Текст : электронный // Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2023. – No. 34. – P. 35-40. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50332643> (дата обращения: 23.04.2023). – DOI 10.26160/2474-5901-2023-34-35-40. – EDN IFWBNL.
5. Павлов, А. Проектирование отопительных систем многоквартирных домов / А. Павлов, В. Сушков, А. Лукоянов. – Издательство ГУП «Жилкомсервис», 2011. – Текст : непосредственный.
6. Филиппов, Е. Тепловые агрегаты и системы. Руководство по проектированию и эксплуатации» / Е. Филиппов, А. Баранов, А. Дунаев, А. Ильиных. – Издательство БХВ-Петербург, 2018. – Текст : непосредственный.
7. Швецов, С. К. Энергосбережение в тепловых сетях и системах» / С. К. Швецов, И. А. Федосеев, Ю. В. Смирнов. – Издательство МГТУ им. Баумана, 2018. – Текст : непосредственный.

© Сайфутдинов Ф. Ф., 2023

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ СПОСОБ УТИЛИЗАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННОЙ МОРСКОЙ ВОДЫ НА АЭС «ФУКУСИМА-1»

студент **Касков Дмитрий Олегович**,
студент **Воложенинов Тимофей Павлович**,
студент **Юзбашиева Карина Шамседдин-кызы**,
науч. руководитель: доктор техн. наук, доцент
Ташлыков Олег Леонидович,
Уральский Федеральный университет
имени первого президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Российская Федерация

Аннотация. В статье предлагается способ утилизации радиоактивной воды, накопившейся на АЭС «Фукусима» после аварии, путем использования ее для изготовления бетонных конструкций различного назначения, в качестве альтернативы сбросу этой воды в океан.

Ключевые слова: Авария на АЭС «Фукусима», радиационная защита, гамма-излучение, метод Монте-Карло, селективная сорбция.

ALTERNATIVE METHOD OF DISPOSAL OF POLLUTED SEAWATER AT THE FUKUSHIMA-1 NUCLEAR POWER PLANT

Student **Kaskov Dmitry Olegovich**,
Student **Volozheninov Timofey Pavlovich**,
Student **Iuzbashieva Karina Shamseddin-kizy**,
Academic Advisor: Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
Tashlykov Oleg Leonidovich,
Ural Federal University
named after the First President of Russia B. N. Yeltsin,
Yekaterinburg, Russian Federation

Abstract. The paper proposes a method for the disposal of radioactive water accumulated at the Fukushima nuclear power plant after the accident, by using it for the manufacture of concrete structures for various purposes, as an alternative to dumping this water into the ocean.

Keywords: Fukushima nuclear accident, radiation shielding, gamma radiation, Monte-Carlo computer modeling, selective sorption.

Введение

Инцидент на Фукусиме, произошедший в 2011 году, является одной из крупнейших радиационных аварий, зарегистрированных со времен Чернобыля. В первые 6 недель после катастрофы выброс цезия на Фукусиме был эквивалентен 42 % от общего количества, выброшенного Чернобылем, а выброс

радиоактивного ксенона достиг самого высокого уровня в истории человечества. Почти 2000 работников были поражены дозой радиации, превышающей 100 миллизивертов (мЗв), а некоторые результаты тестов составили даже от 309 до 678 мЗв.

Для охлаждения топливных стержней и предотвращения их расплавления Япония решила постоянно закачивать тонны воды в реакторы «Фукусима Дайти». Однако это привело к новой чрезвычайной ситуации, когда загрязненную радиоактивными изотопами воду необходимо было герметично хранить, что связано с большими экономическими затратами [1]. На сегодняшний день более 1,25 млн тонн радиоактивной воды хранится в резервуарах на территории АЭС «Фукусима» (рисунок 1), и их объем продолжает увеличиваться.

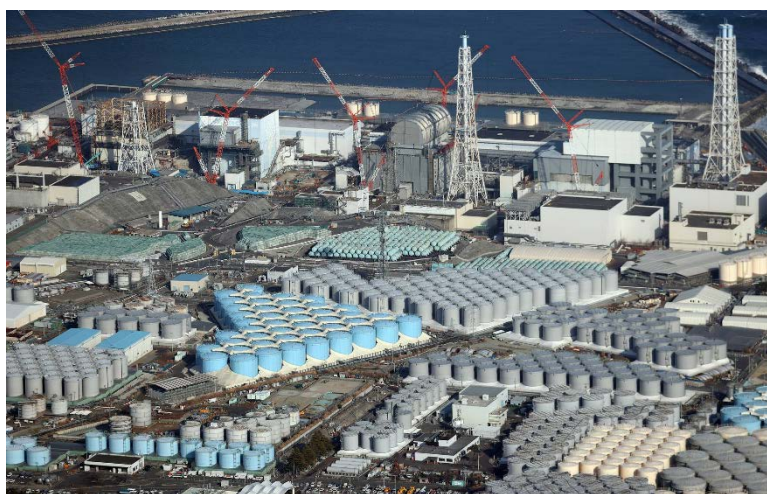


Рисунок 1. Резервуары для хранения радиоактивной воды на территории АЭС «Фукусима»

13 апреля 2021 года Кабинет министров Японии принял законопроект о сбросе воды с АЭС «Фукусима» в Тихий океан – Япония не нашла технического решения для полной дезактивации воды, содержащей тритий [2]. Как было прокомментировано группой экспертов Министерства экономики, торговли и промышленности Японии, вариант сброса воды в Тихий океан – «наиболее практичный» и «занимает наименьшее время и требует наименьших затрат» [2].

Это решение последовательно вызывало обеспокоенность или протесты со стороны соседних стран, включая Китай, Республику Корея и Филиппины, а также крупных международных организаций, например, Форума Тихоокеанских островов [1].

В настоящей работе предложен и проанализирован способ очистки загрязненной воды путем ионоселективной сорбции и кондиционирования при помощи технологии COREBRICK, разработанной компанией ЭКСОРБ [3]. Затем очищенная вода используется для получения бетонных изделий необходимого качества, которые могут быть использованы для сооружения хранилищ и других зданий.

Предварительная дезактивация

Вода в резервуарах на территории АЭС «Фукусима» представляет собой смесь грунтовых вод и загрязненной радиоактивными изотопами воды, использованной для охлаждения аварийных реакторов. Собираемая на площадке после аварии вода подвергалась очистке с помощью процесса фильтрации через систему водоочистки (ALPS), в которой используется серия химических реакций для удаления из воды 62 радионуклидов. Однако ALPS не позволила удалить из загрязненной воды тритий [4]. Общая активность трития, содержащегося в резервуарах, составляет около 1 ПБк (ПБк = 10^{15} Бк) [4, 5].

Тритий относительно слабо опасен, поскольку он испускает β -частицы, которые хорошо задерживаются даже одеждой, однако представляет опасность при проникновении в тело человека с пищей и водой. Согласно нормам Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ), безопасным считается уровень содержания трития, при котором радиоактивность составляет 60 000 Бк/литр. Данному пороговому значению не удовлетворяет ни один резервуар с хранящейся радиоактивной водой.

Кроме того, до 70 % запасов воды нуждаются в дополнительной очистке от радионуклидов [5]. Вода все еще содержит нестабильные изотопы, период полураспада которых сравнительно велик, такие как углерод-14 (период полураспада 5730 лет), рутений-106 (период полураспада 373,59 дня), кобальт-60 (период полураспада 5,26 года), стронций-90 (период полураспада 28,79 лет). Также такие изотопы как I-129 и C-14 имеют большое биологическое влияние на тело человека при проникновении внутрь.

Метод очистки жидких радиоактивных отходов (ЖРО) с помощью сорбентов получает более широкое распространение. Основная активность переходит из жидкости в сорбент, тем самым увеличивая удельную активность сорбента.

Компания «ЭКСОРБ» разработала технологию COREBRICK™, позволяющую осуществлять кондиционирование ЖРО, а затем безопасно хранить полученные твердые отходы.



Рисунок 2. Технология COREBRICK, разработанная компанией ЭКСОРБ

Для достижения указанного технического результата предлагается способ последовательной дезактивации радиоактивных растворов, включающий удаление из растворов радионуклидов с применением селективных сорбентов (рисунок 2). Радиоактивный раствор, находящийся в баке хранилища ЖРО, перекачивают в емкость, содержащую один или несколько селективных сорбентов. При взаимодействии с сорбентами радионуклиды переходят в твердую фазу, а очищенный раствор возвращают обратно, причем эту процедуру повторяют последовательно, несколько раз, до насыщения селективных сорбентов радионуклидами.

Организованный таким образом технологический процесс последовательной дезактивации позволяет быстро снизить активность ЖРО, находящихся в баках хранилища, в 200–500 раз и более [3].

Утилизация тритий-содержащих вод АЭС

Радиоактивный раствор после дезактивации и кондиционирования состава можно использовать в качестве воды затворения для получения бетонов необходимого качества с соблюдением санитарных норм и правил (содержание трития в материале – 100 000 Бк/кг) [6]. Это может выступать альтернативой сброса воды в океан или дополнением к нему. Таким образом, часть радиоактивной воды пойдет на создание бетона, который, в свою очередь, будет использоваться на самой площадке АЭС «Фукусима». Принципиальная схема обращения с такой водой представлена на рисунке 3.



Рисунок 3. Схема использования загрязненной воды для производства бетонных смесей

В результате использования такой технологии будет образоваться значительное количество растворов, пригодных для производства бетонов различных марок. Полученный бетон можно использовать для строительства промышленных объектов, пунктов захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО), промышленных площадок. Отдельно можно выделить вариант использования бетона как заполнителя в контейнере хранения отработавших сорбентов,

представляющих из себя твердые радиоактивные отходы (ТРО) [7], [8]. На АЭС Фукусима уже накоплено более 12 млн м³ ТРО.

Эффективность предложенного метода

Для первичной оценки количества воды, пригодной для получения бетонной смеси, был произведен оценочный расчет. В качестве конечного продукта выбран бетон М400 – тяжелый конструкционный бетон. Состав бетона указан в таблице.

Таблица – Состав 1 м³ бетона М400

Марка цемента	Цемент, кг	Песок, кг	Щебень, кг	Вода, л	Масса кубометра после отверждения, кг
ЦЕМ I 32,5Н ПЦ (М400)	420	625	1085	190	2315

Расчет пороговой удельной активности бетона по тритию проводился по формуле:

$$A = \frac{A_6 \cdot m_6}{V} = \frac{100000 \frac{\text{Бк}}{\text{кг}} \cdot 2315 \text{ кг}}{190 \text{ л}} = 1218421 \frac{\text{Бк}}{\text{л}},$$

где A_6 – нормы МАГАТЭ по активности трития в материале;

m_6 – масса 1 м³ бетона; V – содержание воды в бетонном растворе.

Опираясь на данные организации ТЕРСО [5], эксплуатирующей станцию, для приготовления бетонных растворов, удовлетворяющих стандартам безопасности МАГАТЭ по тритию, пригоден 91 % хранящихся запасов загрязненной воды. Оставшиеся 9 % необходимо разбавлять нерадиоактивной водой в целях соблюдения норм.

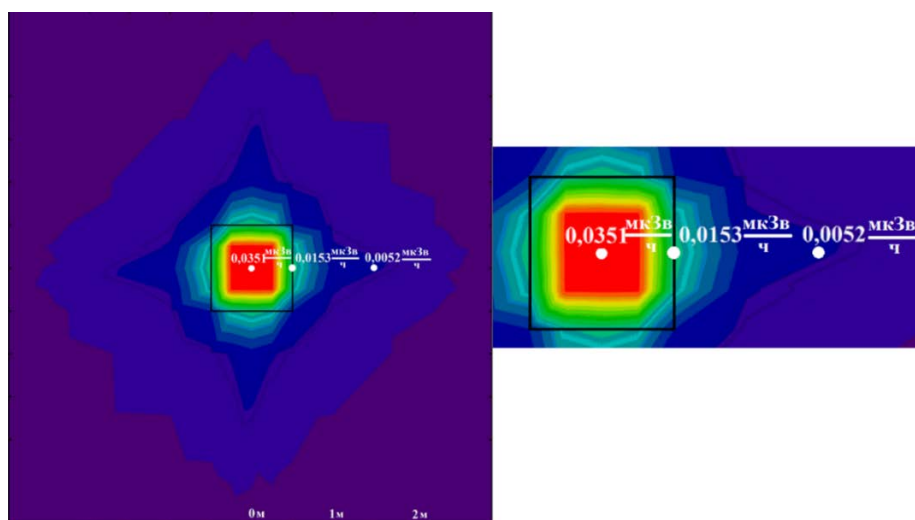


Рисунок 4. Линии уровня мощности дозы излучения кубометра бетона с радиоактивной водой

Для определения безопасности бетонных изделий по гамма-излучению был смоделирован кубометр бетонной смеси и проведен компьютерный расчет методом Монте-Карло для замера мощности доз на различных расстояниях. Основной вклад в дозовую нагрузку вносят изотопы Cs-134, Cs-137, Co-60. По результатам построен график линий уровня (рисунок 4), показывающий мощность дозы излучения как внутри куба, так и за его пределами. Мощность дозы на расстоянии 1 м от заполненного контейнера не должна превышать 100 мкЗв/ч для транспортной упаковки III категории в соответствии с п.3.4 СанПиН 2.6.1.1281-03. Как видно из графика, данные показатели соблюдены.

Контейнеры под ТРО для облегчения производства планируется создавать с использованием стальных бочек емкостью 200 л (ГОСТ 13950-91).

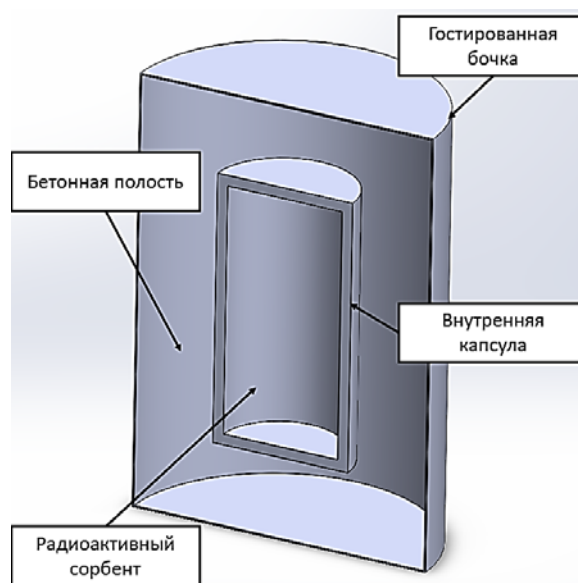


Рисунок 5. Схема контейнера для радиоактивных отходов

Каждый контейнер представляет из себя стальную бочку, внутрь которой заливается тритиевый бетон и помещается капсула с отработанным сорбентом или иными радиоактивными отходами (рисунок 5). После застывания бетонной смеси бочка транспортируется к месту захоронения.

Данная геометрия также была смоделирована и просчитана методом Монте-Карло в целях выяснения максимальной безопасной удельной активности радиоактивных отходов, помещенных в данный контейнер. Расчет также проводился для изотопов Cs-134, Cs-137, Co-60. Соотношение активностей бралось аналогичным данным ТЕРСО $A_{Co-60}:A_{Cs-137}:A_{Cs-134}=4:4:1$ [5]. Результаты моделирования показали максимальную безопасную удельную активность радиоактивных отходов в $1,6 * 10^6 \frac{Бк}{кг}$, что соответствует средне-активной категории отходов.

Заключение

Предложенный метод обращения с зараженной водой АЭС «Фукусима-1» является эффективным дополнением к утилизации в Тихом океане, а в перспективе может стать и полной ее альтернативой. Это позволит значительно снизить риск загрязнения биосферы и, как следствие, больших экономических

потерь не только в самой Японии, но и в странах, находящихся в непосредственной близости – в частности, Китае, Республике Корея, Российской Федерации, странам Филиппинского архипелага. Кроме того, полученный в результате утилизационных мероприятий бетон может быть использован в создании контейнеров для хранения отработанного сорбента и других твердых РАО, а также для многих гражданских и промышленных задач.

Список литературы:

1. Chen, X., Xu, Q. (2022) Reflections on international dispute settlement mechanisms for the Fukushima contaminated water discharge. *Ocean & Coastal Management*. 226.
2. Обновление информации о выводе из эксплуатации и реконструкции АЭС «Фукусима-Дайити» в 2021 году: [сайт]. – URL: https://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/decommissioning/pdf/02_meti_sideevent.pdf (дата обращения: 05.04.2023). – Текст : электронный.
3. Патент № 2706019 С1 Российская Федерация, МПК G21F 9/04. Способ переработки жидких радиоактивных отходов, содержащих, в том числе, изотопы трития: № 2018133705; заявл. 21.09.2018; опубл. 13.11.2019 / В. П. Ремез. – Текст : непосредственный.
4. Buessler, K. O. (2020) Opening the floodgates at Fukushima. *Science*. 369 (6504), 621-622.
5. Оценки концентрации радиации для каждой зоны резервуаров (по состоянию на 31 марта 2020 года): [сайт]. – URL: https://www4.tepco.co.jp/en/sp/decommission/progress/watertreatment/images/tankarea_en.pdf. (дата обращения: 05.04.2023). – Текст : электронный.
6. Guide, S. S. (2018) Radiation protection and safety in medical uses of ionizing radiation. *IAEA safety standards series*. SSG-46.
7. Ташлыков, О. Л. Оптимизация радиационной защиты контейнеров для отвержденных жидких радиоактивных отходов / О. Л. Ташлыков, К. А. Махмуд, В. Ю. Литовченко, Н. А. Васютин, Т.П. Воложенинов, Д.О. Касков, К. Ш. Юзбашиева. – Текст : непосредственный // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – 2023. – № 2 (407). – С. 54-63.
8. Tashlykov, O. L., Litovchenko, Y., Vasutin, N. A., Khandaker, M. U., Mahmoud, K. A. (2022) Improvement in the design of shielding containers for intermediate-level radioactive waste. *Radiation Physics and Chemistry*. 200.

© Касков Д. О., Воложенинов Т. П., Юзбашиева К. Ш., 2023

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ В СРЕДСТВАХ ПЕРСОНАЛЬНОЙ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

студент **Воложенинов Тимофей Павлович**,
студент **Касков Дмитрий Олегович**,
студент **Юзбашиева Карина Шамседдин-кызы**,
науч. руководитель: доктор техн. наук, доцент
Ташлыков Олег Леонидович,
Уральский Федеральный университет
имени первого президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Российская Федерация

Аннотация. В работе исследованы радиационно-защитные свойства полимерных композитов на основе полиуретановой матрицы с наполнителями из оксида свинца и оксида висмута в различных концентрациях, созданы опытные образцы. При помощи компьютерного моделирования методом Монте-Карло определены радиационно-защитные свойства каждого образца для спектра энергий изотопов, проведен сравнительный анализ с другими исследованиями. На базе радиационно-защитного комплекта (РЗК) МЧС РФ предложен концепт радиационно-защитных элементов экипировки для ликвидаторов последствий аварий на радиационно-опасных объектах.

Ключевые слова: радиационная защита, полимерные композиты, гамма-излучение, персональная защита, оксид висмута, оксид свинца, метод Монте-Карло.

THE USE OF POLYMER COMPOSITES IN PERSONAL RADIATION PROTECTION EQUIPMENT

Student **Volozheninov Timofey Pavlovich**,
Student **Kaskov Dmitry Olegovich**,
Student **Iuzbashieva Karina Shamseddin-kizy**,
Academic Advisor: Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
Tashlykov Oleg Leonidovich,
Ural Federal University
named after the First President of Russia B. N. Yeltsin,
Yekaterinburg, Russian Federation

Abstract. In this study, the radiation-protective properties of polymer composites based on a polyurethane matrix with fillers of lead oxide (PbO) and bismuth oxide (Bi₂O₃) in various concentrations have been investigated, samples have been created. Using Monte-Carlo computer modeling, the radiation-protective properties of each sample for the isotope energy spectrum were determined, and a comparative analysis with other studies was carried out. On the basis of the radiation

protection kit (RPK) of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation, a concept of radiation-protective elements of equipment for liquidators of the consequences of accidents at radiation-hazardous objects has been proposed.

Keywords: radiation shielding, polymer composites, gamma radiation, personal radiation protection, bismuth oxide, lead oxide, Monte Carlo method.

Введение

Ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций на АЭС и других радиационно-опасных объектах неизбежно связана с работой человека в условиях комбинированного радиационного излучения. Для индивидуальной комплексной защиты человека при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ в зоне сочетанного бета-гамма облучения, в том числе при пожарах и авариях на ядерных реакторах в настоящее время используется радиационно-защитный комплект для пожарных (РЗК) [1].

В последнее время учеными многих стран исследуются альтернативные радиационно-защитные материалы, в частности, полимерные композиты. Они имеют ряд преимуществ перед традиционными экранирующими материалами (например, свинцом), в частности, гибкость, легкость, дешевизна и возможность варьирования концентрации наполнителя [2, 3]. Вышеперечисленные свойства обуславливают их возможное применение в области индивидуальной радиационной защиты, в частности, от гамма-излучения, представляющего наибольшую опасность для здоровья человека в силу большей проникающей способности, чем у альфа- и бета-излучения.

В данной работе исследованы полимерные композиты на основе коммерческого полиуретана, в качестве наполнителя выбран оксид свинца (PbO) и оксид висмута III (Bi_2O_3) в различных концентрациях. Далее на основе РЗК МЧС России предложены варианты радиационно-защитной экипировки для ликвидаторов последствий аварий на ядерных объектах, а также кратковременной работы в зонах с наличием гамма-излучения.

Материалы и методы

Для изготовления образца с помощью микровесов измерялись необходимые пропорции наполнителя (порошка PbO/ Bi_2O_3), основы и отвердителя, затем наполнитель добавлялся в основу и перемешивался в течение 90 секунд. В полученную смесь добавлялся отвердитель, после чего жидкий полимер перемешивался на протяжении 30 секунд и заливался в форму до отвердевания. Готовые образцы (рисунок 1) помещались в электронный денсиметр для определения плотности. Параметры каждого образца указаны в таблице.

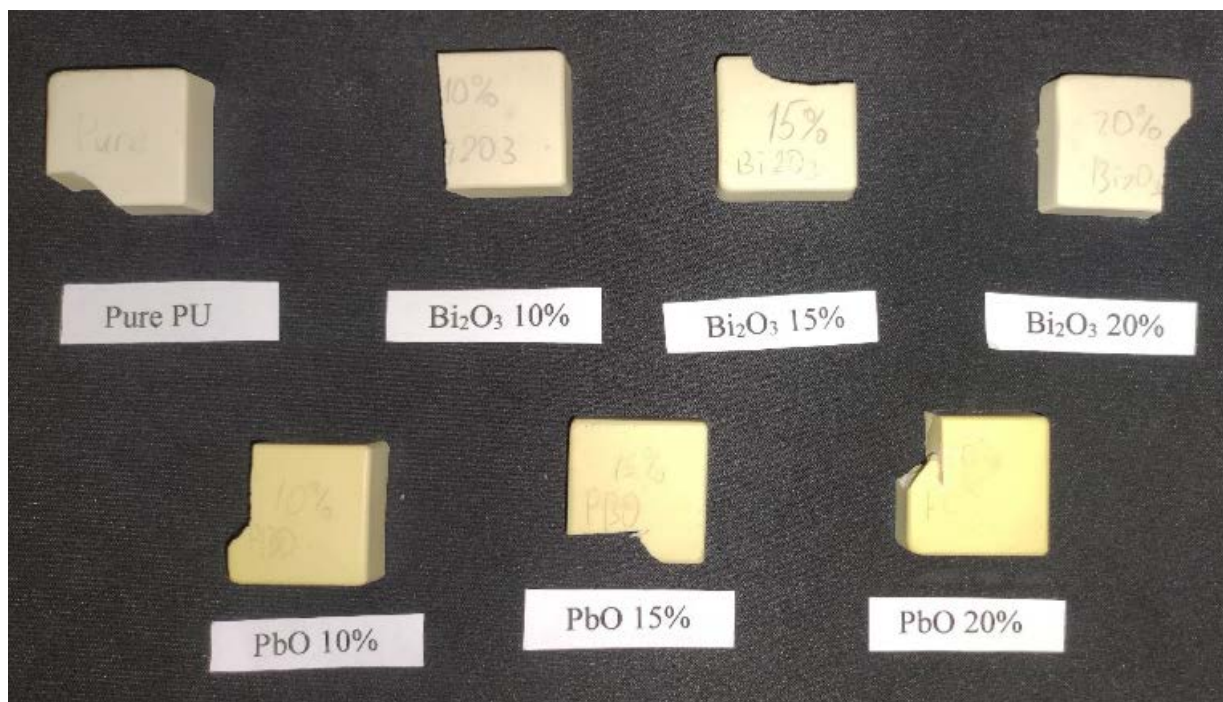


Рисунок 1. Изготовленные образцы полимерных композитов

Таблица – Химические составы PU/PbO, PU/Bi₂O₃

Образец	Элементный состав (массовая доля)	Плотность, г/см ³
100 C ₂₇ H ₃₆ N ₂ O ₁₀	H(0.066144), C(0.591146), O(0.291646), N(0.051064)	1.06
90 C ₂₇ H ₃₆ N ₂ O ₁₀ + 10 Bi ₂ O ₃	H(0.059530), C(0.532031), O(0.272782), N(0.045958), Bi(0.089699)	1.148
85 C ₂₇ H ₃₆ N ₂ O ₁₀ + 15 Bi ₂ O ₃	H(0.056222), C(0.502474), O(0.263351), N(0.043404), Bi(0.134548)	1.206
80 C ₂₇ H ₃₆ N ₂ O ₁₀ + 20 Bi ₂ O ₃	H(0.052915), C(0.472917), O(0.253919), N(0.040851), Bi(0.179398)	1.276
90 C ₂₇ H ₃₆ N ₂ O ₁₀ + 10 PbO	H(0.059530), C(0.532031), O(0.269650), N(0.045958), Pb(0.092832)	1.131
85 C ₂₇ H ₃₆ N ₂ O ₁₀ + 15 PbO	H(0.056222), C(0.502474), O(0.258651), N(0.043404), Pb(0.139248)	1.141
80 C ₂₇ H ₃₆ N ₂ O ₁₀ + 20 PbO	H(0.052915), C(0.472917), O(0.247653), N(0.040851), Pb(0.185664)	1.231

Поверхность каждого из образцов была изучена при помощи оптического микроскопа в увеличении 10х (рисунок 2а, рисунок 2б). В образце с добавлением оксида свинца (рисунок 2а) отчетливо видны частицы наполнителя и пузырьки воздуха, возникшие из-за интенсивного процесса перемешивания полимера в процессе создания. Кроме того, в поперечном сечении образцов PU + PbO наблюдается расслоение наполнителя и матрицы (рисунок 1). Образец PU + Bi_2O_3 имеет более однородную структуру и в нем не наблюдаются частицы порошка оксида, что может быть объяснено более мелкой фракцией наполнителя.

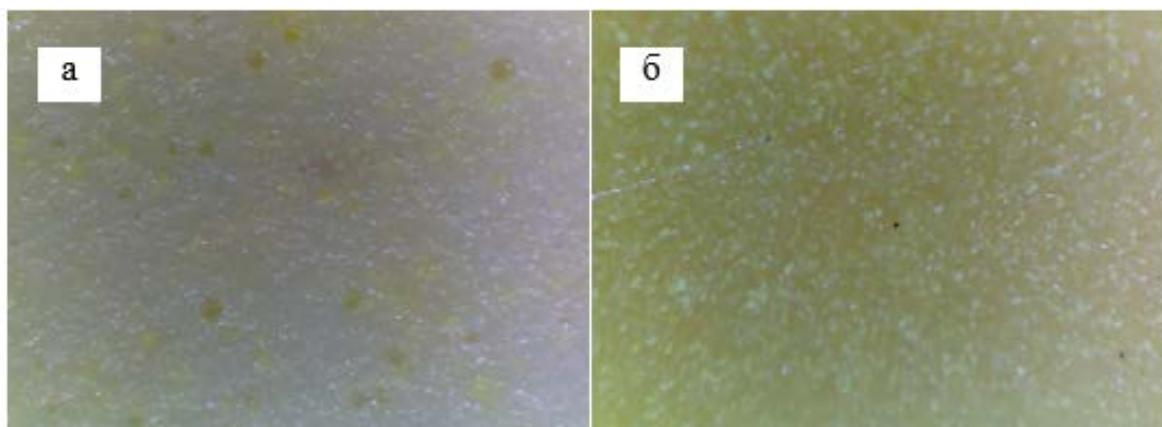


Рисунок 2. Поверхность среза образцов полимерных композитов в увеличении 10 х: а) PU/PbO; б) PU/ Bi_2O_3

Для определения способности образцов к ослаблению гамма-излучения был рассчитан линейный коэффициент ослабления (μ) при помощи компьютерного моделирования методом Монте-Карло в программном пакете MCNP5. Для расчетов выбраны энергии излучения изотопов ^{24}Na , ^{57}Co , ^{60}Co , ^{89}Sr , ^{131}I , ^{137}Cs , моделирование проведено как для каждой отдельно взятой энергии, так и для сочетанного излучения.

Важным параметром для экранирующих материалов является слой половинного ослабления ($\Delta 1/2$) – это толщина вещества, при которой интенсивность падающего излучения уменьшается в два раза. Для вычисления значений (в см) используется следующее уравнение [4]:

$$\Delta 1/2 = \frac{\ln 2}{\mu}$$

Результаты

На рисунке 3а, рисунке 3б представлены графики зависимости линейного коэффициента ослабления от энергии падающего излучения. Для каждого образца наблюдается тенденция уменьшения μ с ростом энергии излучения. Следует отметить, что значения коэффициента для различных концентраций имеют существенный разброс в низкоэнергетическом спектре, однако в процессе роста энергий разница становится все более несущественной, и в зоне излучений от 1,5 МэВ значения μ для всех материалов практически совпадают.

На рисунке 4а представлен график зависимости μ от концентрации наполнителя в матрице для мульти-энергетического излучения (сразу от всех изотопов). Помимо преобладания значений μ у висмутовых образцов, на графике наблюдается неравномерная зависимость линейного коэффициента ослабления у PU + PbO. Вероятно, такое отклонение связано с ранее упомянутым эффектом расслоения в образцах с оксидом свинца.

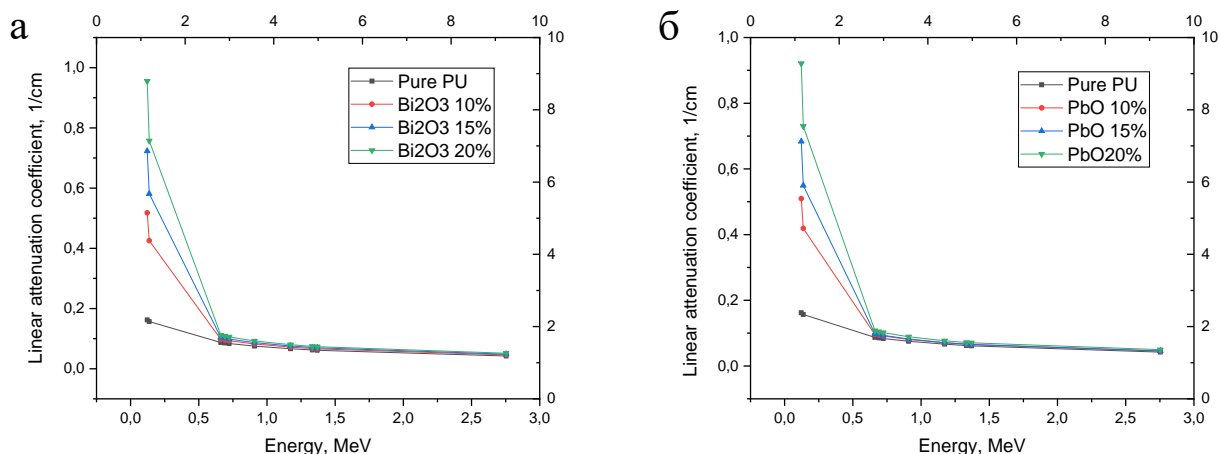


Рисунок 3. Результаты расчета линейного коэффициента ослабления:
а) PU/Bi₂O₃; б) PU/PbO

Для более точной оценки полученных результатов был проведен сравнительный анализ с ближайшими по составу полимерными композитами, исследованными другими учеными ранее (рисунок 4б).

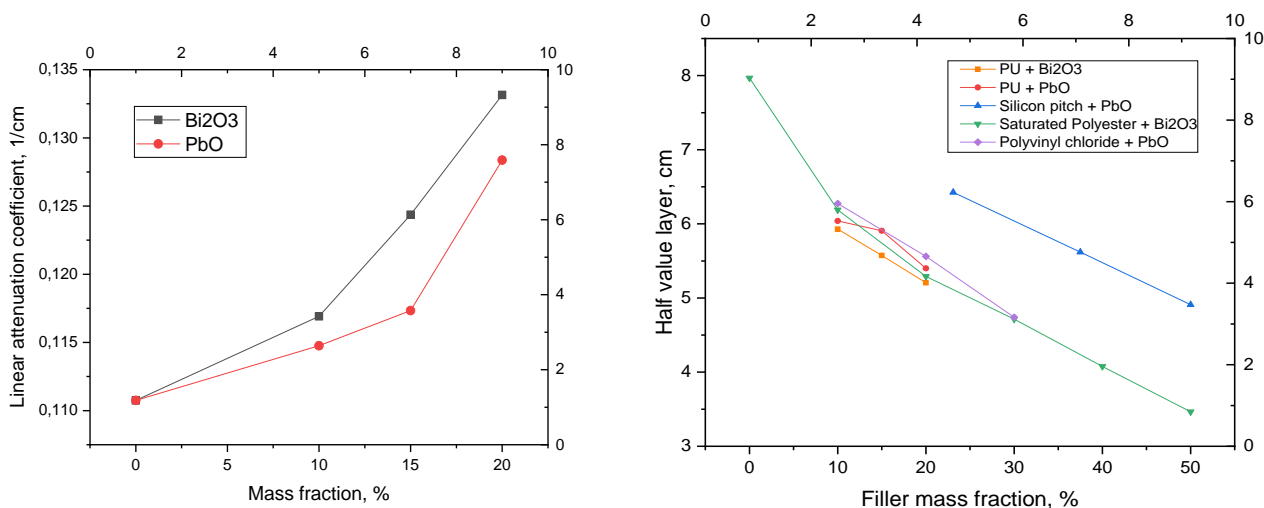


Рисунок 4. График зависимости μ от концентрации наполнителя (а);
сравнительный анализ $\Delta 1/2$ у разных полимерных композитов (б)

Были выбраны следующие материалы: силиконовая смола + PbO (silicon pitch + PbO) [5], ненасыщенный полиэфир + Bi₂O₃ (UP + Bi₂O₃) [6], эпоксидная смола + Bi₂O₃ (epoxy resin + Bi₂O₃) [7]. Анализ проводился в зоне энергии изотопа

^{137}Cs (0.662 МэВ) для различных концентраций наполнителей в полимерной матрице.

По данным графика (рисунок 4б) наблюдается превосходство результатов полиуретана с добавлением оксида висмута – данные образцы обладают наилучшими радиационно-защитными свойствами среди рассмотренных композитов при равных концентрациях наполнителя.

Исследованные образцы ввиду малой плотности и конкурентоспособных экранирующих свойств могут быть использованы в качестве радиационно-защитных элементов в экипировке работников зон контролируемого доступа и ликвидаторов последствий аварий на объектах атомной промышленности. На основе РЗК МЧС России и данных о наиболее подверженных губительному действию радиации органах человеческого организма [8] предложен вариант комплекта, защищающего от гамма-излучения.

Комплект состоит из жилета и шорт, надеваемых поверх радиационно-защитного комбинезона РЗК и служащих промежуточным звеном между внешним скафандром и нательными экранирующими элементами.

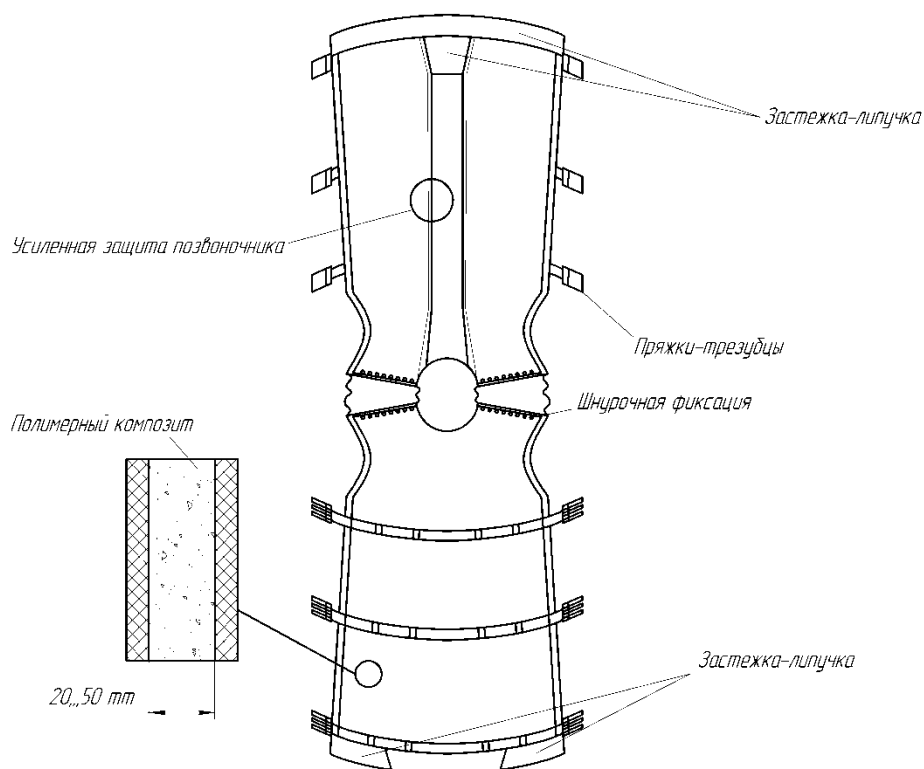


Рисунок 5. Эскизная схема радиационно-защитного жилета

Жилет (рисунок 5) представляет собой структуру, состоящую из фронтальной защиты и защиты спины. Внутри прочной резиновой оболочки вкладывается полимерная пластина толщиной от 20 до 50 мм, что связано с удобством ношения и габаритами. Вдоль позвоночника для дополнительной защиты спинного мозга проложена специальная экранирующая пластина, состоящая из полимера с повышенной концентрацией наполнителя. Надевание осуществляется через голову, затем с помощью пряжек-трезубцев жилет

надежно фиксируется вокруг туловища, шнурочной фиксацией – в плечах. В нижней части предусмотрены застежки-липучки для соединения с шортами.

Шорты (рисунок 6) состоят из защитной раковины для тазобедренного отдела и двух пластин защиты верхней части ног. Толщина защитных пластин аналогично жилету варьируется от 20 до 50 мм. Шорты снабжены специальной «юбкой» для защиты сочленений во время передвижения и выполнения работ.

В верхней части предусмотрены два ремня с пряжками-трезубцами, а также застежка-липучка для соединения с жилетом и специальный выступ для соединения с позвоночными защитными пластинами.

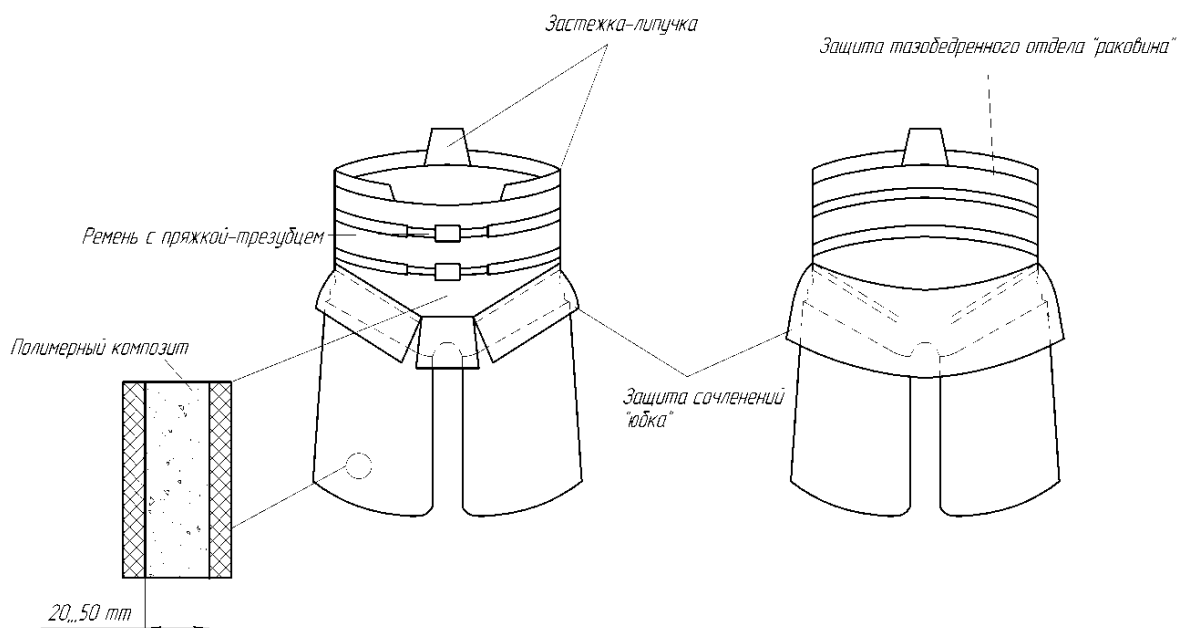


Рисунок 7. Эскизная схема радиационно-защитных шорт

Данный комплект теоретически может быть использован как дополнение к РЗК МЧС России, так и в качестве самостоятельной радиационно-защитной экипировки.

Выводы

В результате исследования и сравнительного анализа можно сделать следующие выводы:

– Лучшие экранирующие свойства демонстрируют полимерные композиты с высокими концентрациями наполнителей PU+20 % Bi_2O_3 , PU+20 % PbO). Возможно дальнейшее повышение концентрации оксида висмута в полимере в виду однородной структуры материала и отсутствия расслоения.

– По сравнению с аналогичными полимерными композитами образец PU+ Bi_2O_3 демонстрирует лучшие параметры радиационной защиты при равных концентрациях – в среднем слой половинного ослабления в этом материале короче на 4,65 %.

– Предложенный концепт радиационно-защитных элементов одежды может быть интегрирован в РЗК либо быть использован как самостоятельный комплект для работы в зонах с наличием гамма-излучения.

Список литературы:

1. Радиационно-защитный комплект для пожарных РЗК. Руководство по эксплуатации, техническое описание, паспорт РЭ 8570-047-38996367-2004. – Текст : непосредственный.
2. Русских, И. М. Экспериментально-теоретическое исследование органометаллических радиационно-защитных материалов, адаптированных к источникам излучения со сложным изотопным составом / И. М. Русских, Е. Н. Селезнев, О. Л. Ташлыков, С. Е. Щеклеин. – Текст : непосредственный // Ядерная физика и инжиниринг. – 2014. – Том 5. – № 5. – С. 449-455.
3. Ташлыков, О. Л. Оптимизация состава радиационной защиты / О. Л. Ташлыков, С. Е. Щеклеин, В. Ю. Лукьяненко, А. Ф. Михайлова, И. М. Русских, Е. Н. Селезнев, А. В. Козлов. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. – 2015. – № 4. – С. 36-42.
4. Машкович, В. П. Защита от ионизирующих излучений: справочник. 4е изд., перераб. и доп. / В. П. Машкович, А. В. Кудрявцева. – Москва : Энергоатомиздат, 1995, – 496 с. – Текст : непосредственный.
5. Verdipoor, K., Alemi, A., Mesbahi, A. (2018) Photon mass attenuation coefficients of a silicon resin loaded with WO₃, PbO, and Bi₂O₃ Micro and Nano-particles for radiation shielding. *Radiation Physics and Chemistry*. 147, 85-90.
6. Ambika, M. R., Nagaiah, N., Suman, S. K. (2018) Evaluation of gamma shielding parameters of bismuth oxide filled polymer composites. *Indian Journal of Pure & Applied Physics*. 56 (8), 604-608.
7. Muthamma, M. V. et al. (2021) Micro and nano Bi₂O₃ filled epoxy composites: Thermal, mechanical and γ -ray attenuation properties. *Applied Radiation and Isotopes*. 174.
8. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. / М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с. – Текст : непосредственный.

© Касков Д. О., Воложенинов Т.П., Юзбашиева К. Ш., 2023

ГИБРИДНЫЕ СИСТЕМЫ КОГЕНЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА

магистрант **Гайнутдинов Фарит Ринатович**,
науч. руководитель: канд. хим. наук, доцент
Гайнутдинова Диляра Фаритовна,
Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассмотрены различные варианты выработки энергии на водороде. Показано возможное схематическое решение гибридной энергоустановки на базе газовой турбины и твердооксидного топливного элемента. Изучены преимущества, недостатки, проблемы внедрения автономных систем электроснабжения.

Ключевые слова: гибридные системы, газовая турбина, топливный элемент, эксплуатационные параметры.

HYBRID ENERGY COGENERATION SYSTEMS USING HYDROGEN FUEL

Master Student **Gainutdinov Farit Rinatovich**,
Academic Advisor: PhD in Chemistry, Associate Professor
Gainutdinova Dilyara Faritovna,
Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russian Federation

Abstract. The article discusses various options for generating energy on hydrogen. A possible schematic solution of a hybrid power plant based on a gas turbine and a solid oxide fuel cell is shown. The advantages, disadvantages, and problems of implementing autonomous power supply systems have been studied.

Keywords: hybrid systems, gas turbine, fuel cell, operational parameters.

Инновационные технологии преобразования энергии привлекают внимание многих исследователей. Инженерами разрабатываются проекты различных вариантов выработки энергии на водороде. Не уточнены режимы работы ТОТЭ в гибридных циклах с ГТ, не определены уровни давления, диапазоны оптимальных температур. Мало экспериментальных данных по работоспособности гибридных энергоустановок, это связано с тем, что экспериментальные исследования резко ограничены стоимостью аппаратов и трудностями с масштабированием систем в лабораторных условиях. В России главной проблемой остается внедрение в практику лучших по КПД и экономической целесообразности разработанных энергоустановок, а также оценка их конкурентоспособности на энергетическом рынке [1, 2].

Энергосистемы твердооксидный топливный элемент (ТОТЭ) – газовая турбина (ГТ) вызывают особый интерес, так как при их использовании эффективность сочетается с экологичностью. Продуктом реакции при использовании водорода в качестве топлива является вода, при использовании синтез газа в качестве топлива – углекислый газ. В топливном процессоре углеводородное топливо, в случае его использования, преобразуется в водород или синтез газ. Образующееся тепло в результате химической реакции в ТЭ утилизируется в когенерационных и тригенерационных циклах для нужд теплофикации и хладогенерации. В случае применения высокотемпературных топливных элементов тепловой поток имеет высокий потенциал и используется в гибридных циклах с газотурбинными, паросиловыми, парогазовыми энергоустановками.

Тепловая эффективность ГТ имеет значительные потери, а при ее интеграции с ТОТЭ она варьируется в зависимости от компоновки гибридной системы. Наиболее оптимальны энергоустановки: микротурбина мощностью 30 кВт в сочетании с высокотемпературным ТОТЭ 10 кВт; рекуперированный ГТ, интегрированный с ТОТЭ; рекуперированный ГТ с промежуточным охлаждением воздуха от компрессора и двумя ТОТЭ. Архитектура данных гибридных систем ТОТЭ/ГТ включает следующие компоненты: воздушный компрессор, рекуператор, ТОТЭ, камеру сгорания, ГТ, силовую турбину. Важными эксплуатационными параметрами таких установок являются температура, давление, энтальпия, состав газа в каждом узле цикла.

Для достижения целевых показателей производительности необходимо более подробное изучение компоновки системы и устранения дисбаланса между подсистемами ТОТЭ и ГТ. Газовая турбина подключается к топливному элементу косвенным и прямым способом. В первом варианте камера сгорания ГТ заменяется теплообменником, в котором поступающий воздух нагревается выхлопом топливного элемента, поэтому подобная система работает при атмосферном давлении.

Результаты моделирования интеграции ТОТЭ/ГТ показывают снижение электрической эффективности в установках высокого давления, что приводит к более высокой концентрации продуктов в анодном отсеке водородного топливного элемента [3]. Целью большинства конструкций установок, описанных в литературе, является поддержание коэффициента использования топлива на высоком уровне.

Очевидность применения в гибридных энергоустановках микротурбин объясняется низкой стоимостью, что имеет значение для серийного производства, а также низкое давление на выходе из рабочего контура.

Прежде чем делать окончательный выбор в пользу той или иной установки, необходим анализ рабочих условий среды на объекте, разработать программу испытаний.

В некоторых экспериментальных исследованиях эффективность гибридных систем ТОТЭ/ГТ оказалась ниже, чем ожидалось, примерно 50-55% вместо ожидаемых. Это связано дисбалансом между подсистемами ТОТЭ и

ГТ. Для достижения целевых показателей производительности необходимо более подробное изучение компоновки системы.

Схематичное решение экспериментальной гибридной установки на основе микротурбины Capstone C30 и ТОТЭ (рисунок).

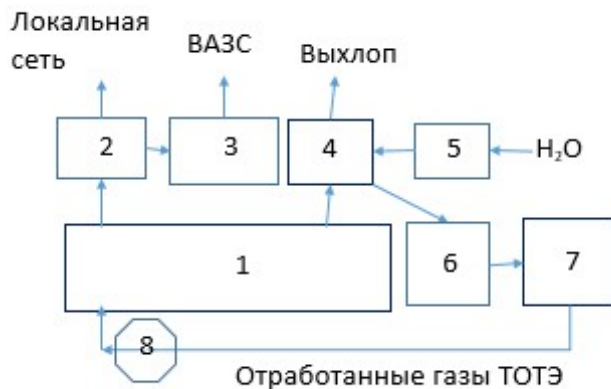


Рисунок. Схема гибридной энергоустановки на основе микротурбины:

- 1 – микротурбина; 2 – блок с силовой электроникой и управлением (БСЭ);
 3 – блок аккумуляторных батарей (АКБ) и контроллер; 4 – парогенератор;
 5 – водоподготовительное устройство; 6 – переформер 7 – твердооксидный топливный элемент; 8 – инвертор

Отработанные газы ТОТЭ наряду с топливным газом и воздухом используются для приведения в действие газовой микротурбины. Произведенная энергия через блок с силовой электроникой и управлением БСЭ (2) поступает в локальную сеть либо накапливается в аккумуляторных батареях (3) и может быть использована, например, на нужды водородной автозаправочной станции (ВАЗС). Продукты сгорания на выходе из газовой турбины отдают часть своей энергии и имеют высокую температуру и используются в парогенераторе (4). Образующейся пар поступает в узел гибридной энергоустановки – «переформер (где образуется водородсодержащая смесь) – твердооксидный топливный элемент (ТОТЭ)». Примерная программа испытаний лабораторной энергоустановки представлена в (Таблица).

Таблица – Программа испытаний экспериментальной лабораторной энергоустановки

№	Наименование работ
1.	Определение возможности и эффективности когенерации электрической и тепловой энергии на гибридные энергоустановки ТОТЭ/ГТ с использованием газообразных водородсодержащих отходов глубокой переработки нефти
2.	Показатели работы ГТ с применением различных водородсодержащих газовых смесей: КПД электрический, температуры в узловых точках, газовые потоки, давление

3.	Экспериментальная гибридная энергоустановка. Поставка узлов и комплектующих. Технические условия по размещению, подключению контейнера на производственной площадке. Монтаж и пуско-наладочные работы
4.	Исследование процессов при работе газовой микротурбины на различных видах газообразного топлива и влияния избытка воздуха
5	Исследование процесса прериформинга водородсодержащих газовых смесей сложного состава на малой установке прериформинга
6	Запуск системы ТОТЭ. Выбор оптимальных условий эксплуатации
7.	Функционирование гибридной установки в полном составе. Определение показателей надежности и эффективности работы
8	Составление технического руководства по эксплуатации гибридной энергоустановки

Отечественные исследовательские группы под руководством Липилина А. С., Бредихина С. И., Коровина Н. В. проводят работы по совершенствованию технологий ТОТЭ. Мировыми лидерами в области гибридных технологий созданы коммерческие энергоустановки на ТОТЭ с высокими эксплуатационными характеристиками [4].

Экспериментальные лабораторные исследования ограничены высокой стоимостью установок, в этом плане математическое моделирование процессов работы сокращает долю экспериментальной работы. Разработаны математические модели для трубчатой, планарной, монолитной ТОТЭ. Для производства высокотехнологичных ТОТЭ существуют проблемы, требующие решения: эффективность работы топливного элемента зависит от его конструкции, состава катализатора и твердого электролита, кинетических параметров электродных реакций. Модели описывают транспорт реагентов в зону электродных реакций, оптимизируют процессы на электродах, при этом учитываются структурные характеристики пористых электродов, увеличивающие реальную реагентную поверхность. Диффузионные процессы при подводе газообразных реагентов связаны с распределением плотности тока в электролите. Учет структурных факторов при моделировании работы ТОТЭ подтверждается реальными характеристиками ТОТЭ, получаемыми экспериментально.

Актуальные потребности рынка энергоснабжения ставят фундаментальные и прикладные задачи разработки пилотных технологий производства энергии с помощью гибридных систем ТОТЭ/ГТ, и перевод их в товарную продукцию. Экологически чистые источники энергии в качестве приводного двигателя используют модуль топливного элемента (50 кВт), включающий в себя батарею, собранную из унифицированных топливных элементов. Производство тепловой и электроэнергии будет экономически эффективным и конкурентоспособным с другими технологиями производства электроэнергии, если для прогнозирования энергетической эффективности использовать моделирование для расчета тепловых схем, позволяющих проводить комплексную оптимизацию структуры и параметров гибридных энергоустановок на водороде. Гибридные технологии ТОТЭ/ГТ найдут применение в электроснабжении жилищно-коммунального

хозяйства [5, 6]. В настоящее время они являются перспективной альтернативой и наиболее эффективным способом использования водородного топлива, особенно учитывая темпы развития водородной энергетики.

Список литературы:

1. Липилин, А. С. ТОТЭ и энергосистемы на их основе: состояние и перспективы / А. С. Липилин. – Текст : непосредственный // Электрохимическая энергетика. – 2007. – Т. 7. – № 2. – С. 61-72.
2. Коровин, Н. В. Топливные элементы и электрохимические энергоустановки / Н. В. Коровин. – Москва : Изд-во МЭИ, 2005. – 278 с. – Текст : непосредственный.
3. Осипов, М. И. Анализ схемных решений и оптимизация параметров комбинированных установок с высокотемпературными топливными элементами и газовыми турбинами / М. И. Осипов, А. В. Гасилов. – Текст : непосредственный // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Машиностроение. – 2010. – № 2. – С. 84-90.
4. Филиппов, С. П. Топливные элементы и водородная энергетика / С. П. Филиппов, А. Э. Голодницкий, А. М. Кашин. – Текст : непосредственный // Энергетическая политика. – 2020. – №11 (153). – С. 28-39.
5. Lashina, E. N. Feasibility of the Switching from hydrocarbons to hydrogen fuel / E. N. Lashina. – Текст : электронный // Оригинальные исследования. – 2021. – Vol. 11, No. 10. – P. 63-68. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47253885> (дата обращения: 21.04.2023). – EDN VTUUXR.
6. Гайнутдинова, Д. Ф. Способы оптимизации систем тригенерации гражданского и промышленного использования / Д. Ф. Гайнутдинова. – Текст : непосредственный // Развитие науки и практики в глобально меняющемся мире в условиях рисков : Сборник материалов XVI Международной научно-практической конференции (шифр-МКРПП), Москва, 15 февраля 2023 года. – Москва: Изд-во «АЛЕФ», 2023. – С. 143-145.

© Гайнутдинов Ф. Р., 2023

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ПАКЕТА SOLIDWORKS FLOW SIMULATION В ПРОЦЕССАХ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС

студент **Ревякина Полина Александровна**,
доктор техн. наук, доцент **Ташлыков Олег Леонидович**,
Уральский Федеральный университет
имени первого президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Российская Федерация

Аннотация. В данной работе проводится исследование гидродинамических свойств потока пара, проходящего из парообразующей области в область пароприемника. Было смоделировано течение пара через перфорированную поверхность подвешенного дырчатого листа (ПДЛ) парогенератора в вычислительном пакете Solidworks Flow Simulation.

Ключевые слова: парогенератор, подвешенный дырчатый лист, моделирование, Solidworks Flow Simulation, гидравлическое сопротивление.

USING THE SOLIDWORKS FLOW SIMULATION COMPUTING PACKAGE IN NPP EQUIPMENT PROCESSES

Student **Revyakina Polina Aleksandrovna**,
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
Tashlykov Oleg Leonidovich,
Ural Federal University
named after the First President of Russia B. N. Yeltsin,
Yekaterinburg, Russian Federation

Abstract. In this paper, the hydrodynamic properties of the steam flow passing from the steam-forming region to the steam receiver region are investigated. The flow of steam through the perforated surface of the suspended perforated sheet (SPS) of the steam generator was simulated in the Solidworks Flow Simulation computing package.

Keywords: steam generator, Suspended perforated sheet, modeling, Solidworks Flow Simulation, hydraulic resistance.

Введение

Курская АЭС-2 – это современная атомная электростанция (АЭС), расположенная в городе Курчатове в 40 км от города Курск. Курская АЭС-2 будет включать в себя 4 энергоблока типа ВВЭР-ТОИ по системе строительства 2+2. Ввод в эксплуатацию первых двух энергоблоков намечен на конец 2025 года и середину 2026 года соответственно. Суммарная установленная мощность двух блоков АЭС будет составлять 2510 МВт. Тепловая мощность одного реактора – 3312 МВт. Данный тип реактора считается типовым и в дальнейшем будет

использоваться для строительства новых блоков и блоков замещения по всей стране. Основные технические параметры энергоблока приведены в таблице.

Таблица – Основные технические характеристики реакторной установки типа ВВЭР ТОИ

<i>Характеристика</i>	<i>Значение</i>
Тепловая мощность реактора, МВт	3300
Электрическая мощность блока, МВт	1238
КПД	0,375
Температура теплоносителя, °С	
- на входе в реактор	297,2
- на выходе из реактора	328,8
Давление, МПа	
- в первом контуре	16,2
- генерируемого пара	7,0
Температура пара, °С	286
Среднелогарифмический температурный напор, °С	23,77
Минимальный температурный напор, °С	11,37
Теплообменная поверхность ПГ, м ³	6660x4=26640
Средний коэф. теплопередачи, Вт/м ³ К	5211

Первый контур энергоблока (рисунок 1) состоит из реактора (1), четырех главных циркуляционных насосных агрегатов (2), греющих частей четырех парогенераторов (3), одного парового компенсатора давления (4). Также на рисунке представлены гидроемкости 1, 2 и 3 ступеней (5, 6, 7) и теплообменники СПОТ (8).

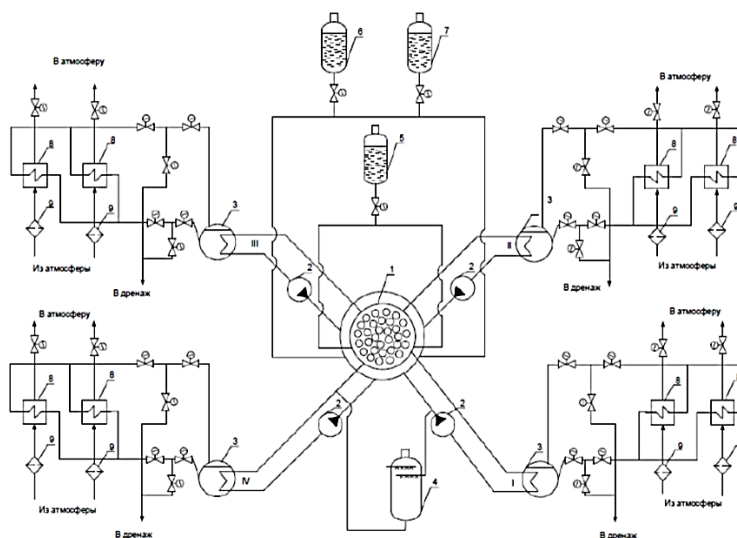


Рисунок 1. Схема первого контура реактора типа ВВЭР-ТОИ

В течение долгого периода эксплуатации реакторных установок, охлаждаемых водой, конструкция парогенератора претерпевала множество изменений. Основными направлениями развития парогенераторов являлись: увеличение единичной мощности; увеличение паропроизводительности; увеличение параметров рабочего тела. Подобные изменения приводили к повышению массово-габаритных характеристик и возрастанию числа и длины теплообменных труб. Так, для реактора типа ВВЭР ТОИ был разработан парогенератор ПГВ-1000МКО, созданный на основе ПГВ1000МКП с коридорной компоновкой труб в теплообменном пучке.

Парогенератор ПГВ-1000МКО

Парогенератор ПГВ-1000МКО предназначен для генерации сухого насыщенного пара за счёт отвода тепла от теплоносителя первого контура. В проекте используется тип парогенератора – горизонтальный однокорпусной с погруженной поверхностью теплообмена из горизонтально расположенных труб, системой раздачи основной и аварийной питательной воды, погруженным дырчатым листом и паровым коллектором. Внутри корпуса парогенератора размещены внутрикорпусные устройства, трубный пучок коридорной компоновки с двумя коллекторами первого контура. Конструкция парогенератора с восемью гидроамортизаторами разработана с учётом землетрясения до 9 баллов.

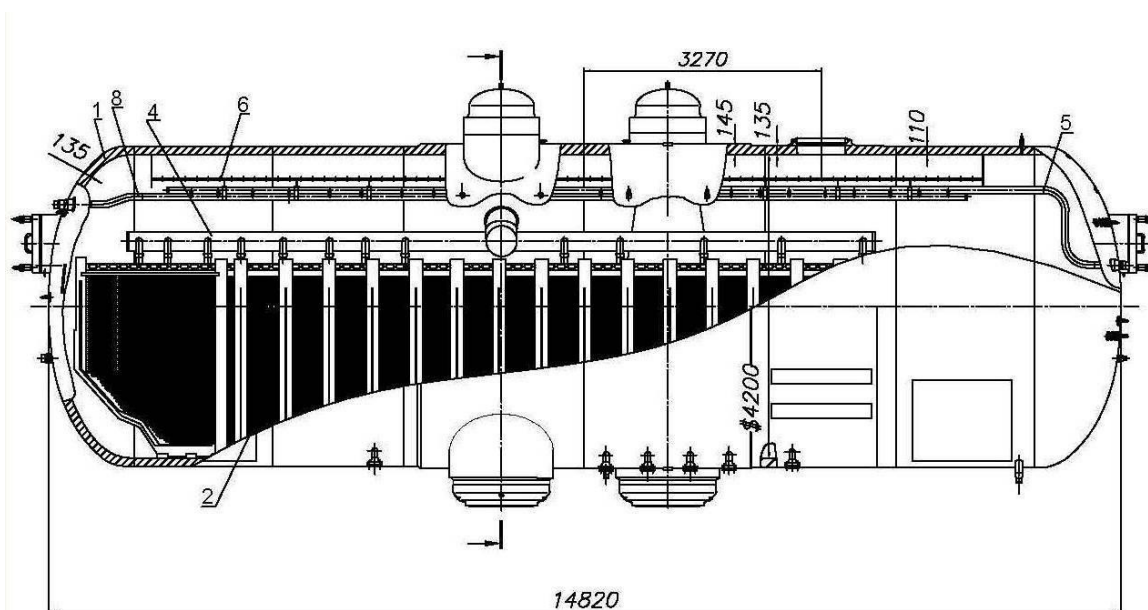


Рисунок 2. Парогенератор ПГВ-100МКО

К конструктивным особенностям ПГВ-1000МКО относится отсутствие сборочной единицы «Коллектор пара». Коллектор пара не предусмотрен конструкцией, соответственно, в корпусе парогенератора вместо 10 патрубков (Ду350) выхода пара устанавливается один патрубок (Ду660) выхода пара, который подключается непосредственно к паропроводу, а выравнивание парового потока происходит за счет различной степени перфорации по площади потолочного (пароприемного) дырчатого листа.

Длина парогенератора, а, следовательно, и всего трубного пучка погружного дырчатого листа и потолочного (пароприемного), увеличена на 1000 мм.

Изменена форма выгородок, устанавливаемых в потолочном листе для обеспечения герметичности вокруг коллекторов первого контура.

Построение модели в Solidworks Flow Simulation

Компьютерное моделирование позволяет представить многие теплогидродинамические процессы в оборудовании АЭС, оценить их эффективность и сократить затраты на изготовлении макетов и образцов, найти наиболее оптимальный вариант течения среды, что сократит время на проектирование оборудования АЭС [4, 5]. Моделирование гидродинамических процессов в вычислительном пакете Solidworks Flow Simulation позволяет вычислять такие гидродинамические характеристики, как сопротивление среды на входе в перфорированный участок и выходе из него, начальную и конечную скорость потока среды в заданной модели.

Точность модели напрямую зависит от выбора вычислительной сетки. При этом с увеличением сетки мы увеличиваем затраты времени на проведение вычислений. Для данной модели мы подбираем оптимальную сетку, удовлетворяющую качеству вычислений и их временным затратам.

В данном исследовании в качестве объекта моделирования был выбран участок трубы с отверстием $D=10$ мм, длина перфорированного участка $L=10$ мм (рисунок 2). Параметры среды на входе: скорость среды – 5 м/с; давление среды – 1 атм. Для сравнения было выбрано два метода вычисления гидродинамического сопротивления среды через ПДЛ. Первый – моделирование течения потока с использованием глобальной сетки, второй – с использованием локальной сетки.

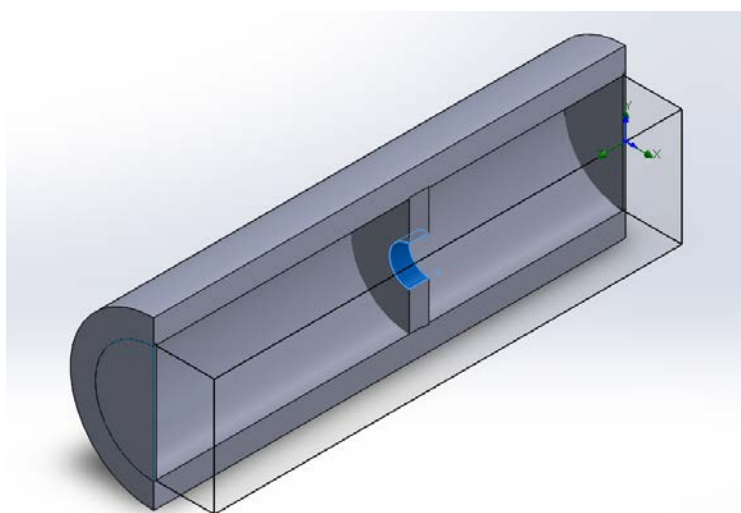


Рисунок 3. Изображение исследуемого участка трубы в Solidworks Flow Simulation

Расчет гидродинамического сопротивления с уровнем дробления глобальной сетки 6 показал результат, равный 1,876 МПа, максимальная скорость потока составила 51,351 м/с, время вычисления – 1,5 минуты.

Для моделирование локальной сетки был выбран уровень дробления глобальной сетки – 6, уровень дробления локальной сетки – 2 (рисунок 4).

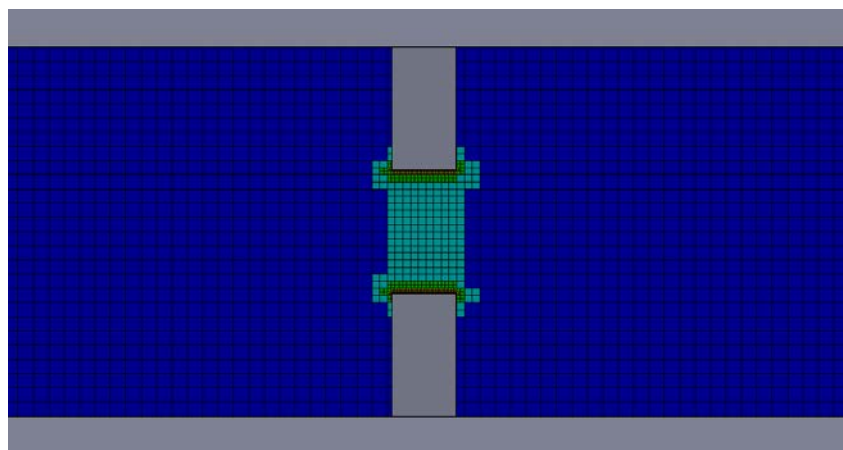


Рисунок 4. Дробление расчетной сетки

Гидродинамическое сопротивление при расчете через локальную сетку составило 1,852 МПа, максимальная скорость потока – 65,425 м/с, время вычисления – 4 минуты.

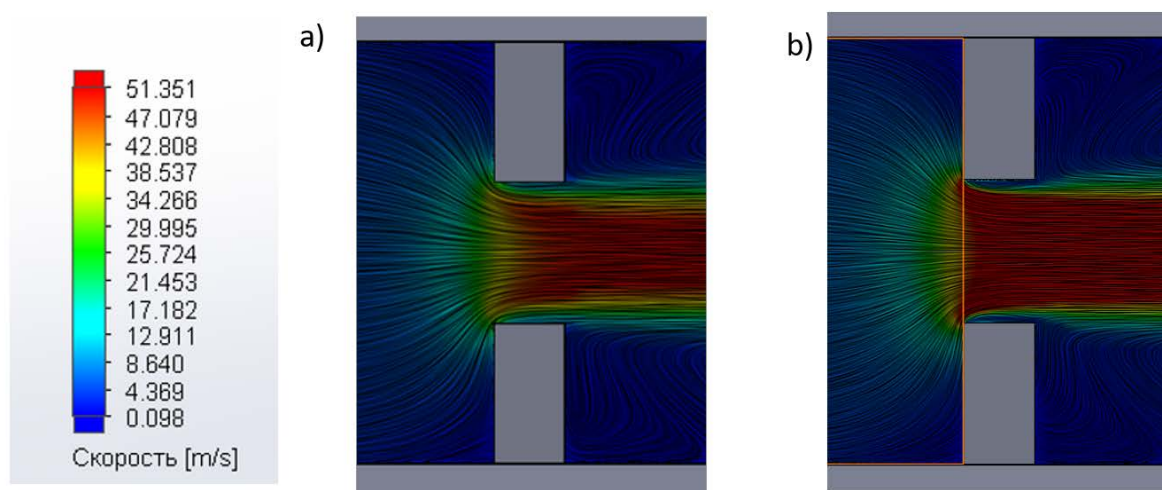


Рисунок 5. Поле скоростей потока: а) с использованием глобальной сетки; б) с использованием локальной сетки

Полученные в процессе моделирования результаты показали, что точность расчета гидравлического сопротивления при использовании локальной и глобальной сетки отличается на 24 кПа, разница между вычисленными максимальными скоростями составила 14,074 м/с. Затраты времени на расчет локальной сетки в 2,7 раз превышает время расчета через глобальную сетку. Представленное сравнение указывает на эффективность глобальной сетки при расчете гидравлического сопротивления для моделирования оборудования с большим количеством отверстий в связи с меньшими затратами времени на производство вычислений.

Список литературы:

1. Научно-технический сборник «Вопросы атомной науки и техники». Серия «Обеспечение безопасности АЭС»: сб.ст. / сост. А.С. Зубченко. – Подольск : ОАО ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 2012. – 114 с. – Текст : непосредственный. – ISSN 2224-0853.
2. Беркович, В. Я. Конструкция корпуса реактора для АЭС с ВВЭР-ТОИ. «АТОМЕКС 2012». Москва. Презентация. / В. Я. Беркович. – URL: <http://www.atomeks.ru/old/mediafiles/u/files/pr-at2012/Berkovich.pdf> (дата обращения: 25.04.2023). – Текст : электронный.
3. Бугаев, Д. В. Проект «ВВЭР-ТОИ»: Краткая характеристика основных технологических новаций. Проектно-конструкторский филиал ОАО «Концерн Росэнергоатом». Презентация / Д. В. Бугаев. – URL: http://atomsro.ru/wp-content/uploads/file/0PORTAL/AtomStroyStandart-2014/Bugaev_PRO_Conf.pdf (дата обращения: 02.04.2023). – Текст : электронный.
4. Ташлыков, О. Л. Расчетно-экспериментальные исследования гидродинамических условий работы фильтров-контейнеров для ионоселективной очистки / О. Л. Ташлыков, И. А. Бессонов, А. Д. Лезов, С. В. Чалпанов, М. С. Смыков, Г. И. Скворцов, В. А. Климова. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2022. – № 2. – С. 62-72.
5. Kurteev, A. V., Klimova, V. A., Sevastyanov, M. M., Tashlykov, O. L. (2019) Numerical simulation of residual heat removal from the spent fuel assemblies storage pit. *December. AIP Conference Proceedings*. 2174 (1).
6. Программный пакет COMSOL Multiphysics – проектирование, прогнозирование // Сайт «COMSOL Multiphysics»: [сайт]. – URL: <https://www.comsol.ru/comsol-multiphysics> (дата обращения: 27.04.2023). – Текст : электронный.

© Ревякина П. А., Ташлыков О. Л., 2023

К ВОПРОСУ О МОДЕРНИЗАЦИИ КОТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

магистрант **Чурилов Константин Евгеньевич**,
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент
Долгова Анастасия Николаевна,
Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. В статье приведено несколько вариантов модернизации котельного оборудования для генерации тепловой энергии. Рассматривается внедрение вытяжной вентиляции с рециркуляцией, внедрение приточной установки, включающей в себя промышленный вентилятор и калорифер с ПИД-регулированием, а также внедрение моделированных горелок. Показаны результаты предложенных мероприятий в отдельности и в совокупности для всей котельной.

Ключевые слова: повышение эффективности, котельное оборудование, автоматизированная система управления, вентиляция, ПИД-регулирование, горелка.

ON THE ISSUE OF MODERNIZATION OF BOILER EQUIPMENT

Master Student **Churilov Konstantin Evgenievich**,
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor
Dolgova Anastasia Nikolaevna,
Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russian Federation

Abstract. The article presents several options for upgrading boiler equipment for generating thermal energy. The introduction of exhaust ventilation with recirculation, the introduction of a supply unit including an industrial fan and a heater with PID control, as well as the introduction of simulated burners are considered. The results of the proposed measures are shown individually and collectively for the entire boiler room.

Keywords: efficiency improvement, boiler equipment, automated control system, software and logic controller, ventilation, PID regulation, recirculation.

Интенсивное развитие производства тепловой энергии направлено на минимизацию участия человека в управлении технологическими процессами и увеличение доли автоматического регулирования различных технологических операций.

Автоматизированная котельная – это котельная, предназначенная для выработки тепловой энергии, работа которой в основном осуществляется за счет

программно-логического контролера (ПЛК) и подключенными к нему всех измерительных и исполнительных устройств [1].

Любой объект, в том числе и котельная, нуждается в модернизации, с целью повышения эффективности по экономическим и техническим показателям, а также надежности и безопасности работы [2]. Рассмотрено 3 варианта модернизации котельного оборудования, способствующих стабилизации работы оборудования и снижению энергетических затрат при производстве тепловой энергии.

Первый рассматриваемый вариант модернизации котельного оборудования заключается во внедрении вытяжной вентиляции с рециркуляцией. Работа предложенной установки заключается в следующем. Для забора воздуха из котельной используется промышленный вентилятор. Фильтр предназначен для очистки воздуха, который направляется в окружающую среду и в подвальные помещения. Также в эту систему входят 3 воздушных клапана (клапан 1.1, клапан 1.2 и клапан 2) и 2 гермоклапана (гермоклапан 1 и гермоклапан 2) [3]. Управление вытяжной вентиляцией осуществляется программно-логический контролером. В случае режима «Рециркуляция» вентилятор вытягивает воздух через клапан 2 и гермоклапан 1 в окружающую среду, а в случае режима «Циркуляция» вентилятор вытягивает воздух через клапан 1.1 и клапан 1.2 и гермоклапан 2 в подвальные помещения (рисунок 1).

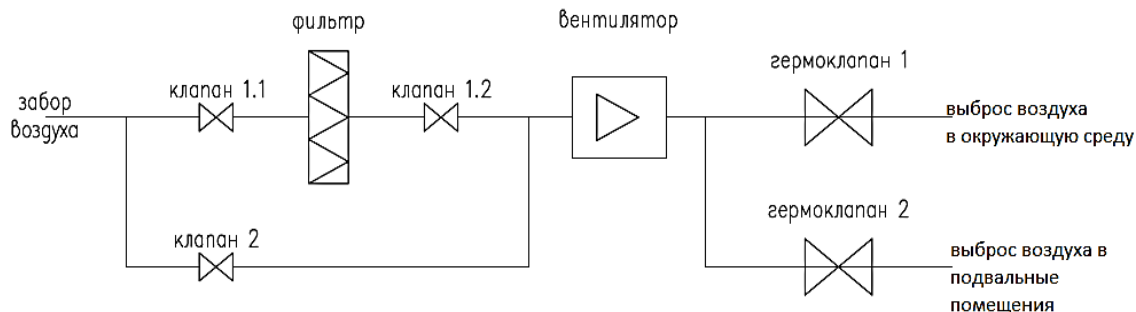


Рисунок 1. Схема вытяжной вентиляции с рециркуляцией

Результат работы данной системы заключается в обновлении воздуха в котельной для работы оборудования без загрязнения, что увеличит срок службы оборудования, а также безопасности здоровья работников котельной.

Вторым вариантом модернизации и повышения эффективности котельного оборудования является внедрение приточной установки, включающей в себя промышленный вентилятор и калорифер с ПИД-регулированием (пропорционально-интегрально-дифференцирующее регулирование).

Для подачи воздуха в помещение котельной используется промышленный вентилятор. Калорифер предназначен для нагревания воздуха, который направляется в помещение. Также калорифер будет иметь ПИД-регулирование, которое заключается в том, что происходит плавное нагревание или охлаждение

приточного воздуха [4]. Управление приточной установкой осуществляется программно-логический контролером. Также к ПЛК присоединен датчик температуры воздуха в помещении [5]. Именно значение температуры данного датчика влияет на работу калорифера. Для этого при программировании ПЛК разработан блок ПИД-регулирования (рисунок 2).

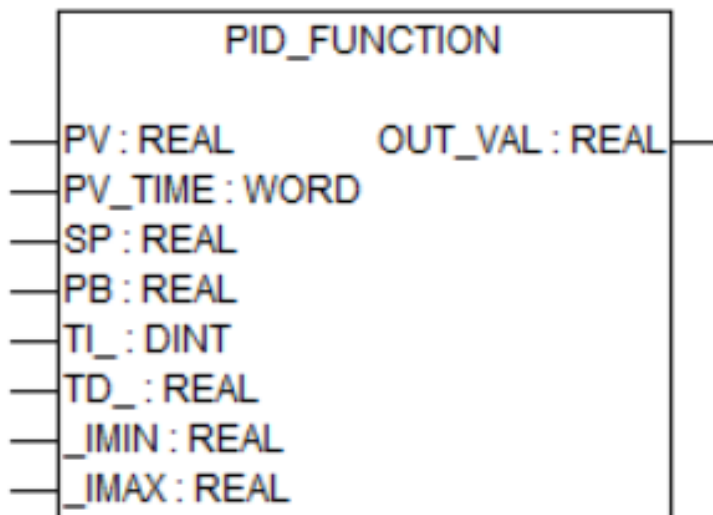


Рисунок 2. Блок ПИД-регулятора

Для работы данного блока необходимо назначить ему вход и выход:

- PV – значение температуры в помещении;
- PV_TIME – время получения значения температуры в помещении;
- SP – уставка (необходимое значение температуры);
- PB, TI, TD – постоянные пропорциональности, интегрирования, дифференцирования;
- IMIN, IMAX – минимум и максимум интегральной составляющей [6].

Результат работы приточной установки заключается в поддержании необходимой температуры воздуха в котельной для работы в нормальных условиях вспомогательного оборудования, что увеличит срок службы оборудования, а также комфортные условия работы для работников котельной [7].

В качестве третьего варианта модернизации котельной предложено внедрение моделированных горелок в водогрейные котлы.

Моделированные горелки – это горелки, мощность которых плавно изменяется в автоматическом режиме [8]. Изменение мощности горелки осуществляется за счет ПЛК, к которому помимо данной горелки подключен датчик температуры наружного воздуха (таблица). Изменение температуры наружного воздуха подает сигнал на ПЛК, который меняет мощность согласно графику зависимости, для температурного режима «95-70 (°C)» (рисунок 3).

Повышение эффективности котельного оборудования при применении данного способа заключается в следующем:

- механизм плавного регулирования мощности позволяет свести цикличность включения-выключения котлов к минимуму, что значительно

снижает механические напряжения на стенках и в узлах котла, а значит, продлевает его срок службы;

- экономия топлива при этом составляет не менее 5 %, а при грамотной настройке можно добиться 15 % и выше;

- установка модулируемых горелок не требует замены дорогостоящих котлов, если они исправно функционируют, при этом повышается коэффициент полезного действия (КПД) котла.

Таблица – Значения относительной мощности горелки и температуры в подающем трубопроводе в зависимости от температуры наружного воздуха

Температура наружного воздуха, С	Температура в подающем трубопроводе, С	Относительная мощность горелки, %
-30	+95	100
-10	+95	100
-8	+90	92
-5	+83	80
-2	+75	60
0	+65	51
+2	+62	44
+5	+57	30
+8	+47	18
+10	+44	4

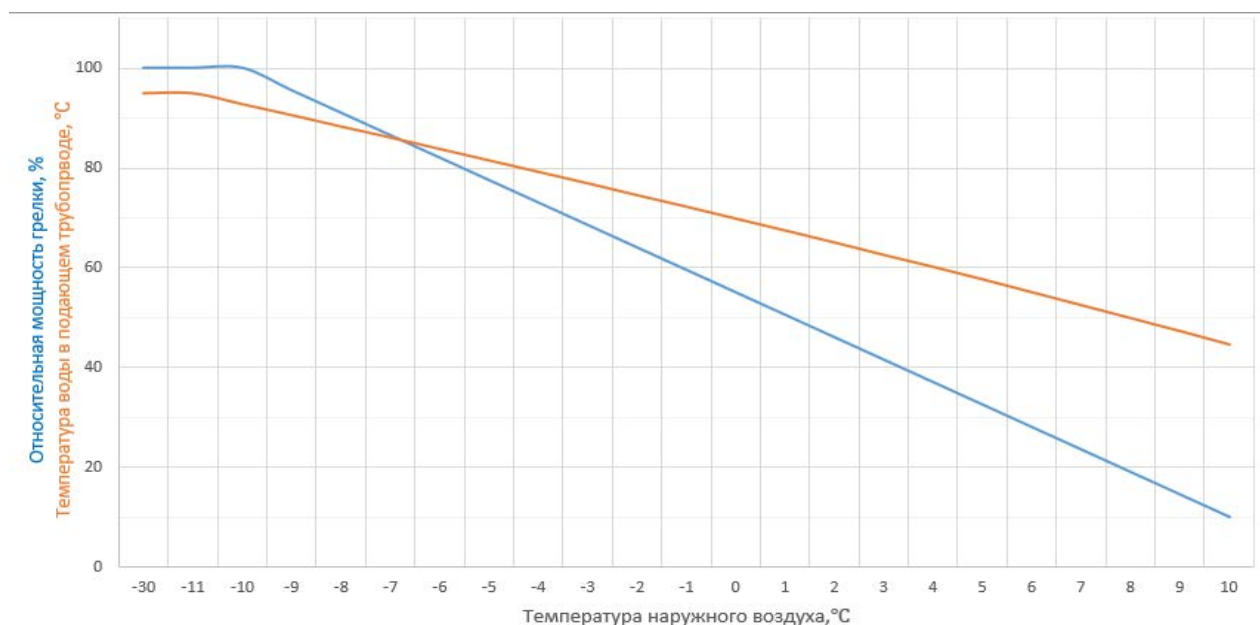


Рисунок 3. График зависимости относительной мощности горелки (Р) и температуры в подающем трубопроводе (t_п) от температуры наружного воздуха (t_н)

Таким образом, рассмотрено 3 варианта модернизации котельного оборудования для производства тепловой энергии, способствующие повышению эффективности ее работы. В совокупности они позволяют увеличить срок службы оборудования, достичь более комфортных условий труда, снизить потребление энергоресурсов на 5-15 %.

Список литературы:

1. Системы управления автоматизированными котельными: [сайт]. – 2020. – URL: <https://owen.ru/project/upravlenie-modulnoj-kotelnoj> (дата обращения: 21.04.2023). – Текст : электронный.
2. Повышение эффективности работы котельной: [сайт]. – 2022. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-raboty-kotelnyh-dlya-proi> (дата обращения: 02.05.2023). – Текст : электронный.
3. Приточно-вытяжная вентиляция: [сайт]. – 2022. – URL: https://www.equinet.ru/articles/tech/tech_54704.html (дата обращения: 01.05.2023). – Текст : электронный.
4. Введение в ПЛК: [сайт]. – 2022. – URL: <https://www.compel.ru/lib/95591> (дата обращения: 17.04.2023). – Текст : электронный.
5. Вытяжная система вентиляции: [сайт]. – 2021. – URL: <https://rushoros.ru/blog/tekhno/vytyazhnaya-sistema-ventilyatsii> (дата обращения: 17.04.2023). – Текст : электронный.
6. ПИД-регулирование: [сайт]. – 2021. – URL: <https://alexgyver.ru/lessons/pid/> (дата обращения: 01.05.2023). – Текст : электронный.
7. Липатов, М. С. Повышение эффективности источников теплоснабжения / М. С. Липатов. – Текст : непосредственный // Энергетика и автоматизация в современном обществе : Материалы II Всероссийской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 06 ноября 2018 года / Под ред. Т. Ю. Коротковой. Вып. 2. – Санкт-Петербург : ВШТЭ СПбГУПТД, 2018. – С. 81-83. – EDN JTBGK.
8. Долгова, А. Н., Чурилов, К. Е. Повышение эффективности при производстве тепловой энергии в котельном оборудовании / А. Н. Долгова, К. Е. Чурилов. – Текст : непосредственный // Материалы международной научно-практической конференции «Технические и технологические системы 2022». – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2022. – С. 231-234.

© Чурилов К. Е., 2023

О ПОВЫШЕНИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОНОМНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

магистрант **Васильев Альберт Валерьевич**,
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент
Ширiev Равиль Рафисович,
Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. В данной статье рассматриваются параметры, влияющие на эффективность выработки и передачи энергии фотоэлектрическими установками, а также выявляются направления, по которым ведутся исследования ФЭС на данный момент в области нововведений. Кроме того, предлагается вариант улучшения существующих фотоэлектрических систем.

Ключевые слова: энергоэффективность, фотоэлектрические установки, солнечный трекер, передача энергии, оптимизация работы.

ON INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF AUTONOMOUS PHOTOVOLTAIC INSTALLATIONS

Master Student **Vasilyev Albert Valeryevich**,
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor
Shiriev Ravil Rafisovich,
Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russian Federation

Abstract. This article considers parameters influencing on efficiency of generation and transfer of energy by photovoltaic installations, and also reveals directions on which researches FES are conducted at present in the field of innovations. In addition, an option for improving existing photovoltaic systems is proposed.

Keywords: energy efficiency, photovoltaic installations, solar tracker, energy transmission, optimization of operation.

В современном мире возрастает потребность в чистой, возобновляемой и доступной энергии для обеспечения устойчивого развития и снижения воздействия на окружающую среду. Фотоэлектрические установки (ФЭУ) являются одним из наиболее перспективных источников возобновляемой энергии, так как они преобразуют солнечное излучение в электрическую энергию без загрязнения окружающей среды и значительных эксплуатационных затрат. Однако существующие фотоэлектрические системы все еще имеют недостатки, такие как ограниченная эффективность преобразования, высокая стоимость и зависимость от погодных условий.

Исходя из этого, рассмотрим параметры, влияющие на эффективность ФЭС. Они могут быть разделены на несколько категорий: характеристики солнечных панелей, системы трекинга и инверторы.

Рассмотрены следующие характеристики солнечных панелей. Коэффициент заполнения характеризует отношение максимальной мощности панели к произведению открытого напряжения и короткозамкнутого тока. Высокий коэффициент заполнения указывает на лучшую эффективность панели.

Эффективность солнечных панелей уменьшается с увеличением температуры. Температурный коэффициент определяет, насколько сильно изменяется производительность панели при изменении температуры. Меньший температурный коэффициент указывает на меньшее снижение производительности с увеличением температуры [6].

Степень поверхностного отражения характеризует количество света, отраженного от поверхности солнечной панели. Чем меньше света отражается, тем больше энергии поглощается панелью. Антибликовые покрытия и текстурирование поверхности позволяют уменьшить потери света из-за отражения.

Качество материалов и технология изготовления влияет на эффективность солнечных панелей. На данный момент основными материалами являются кремний, кадмиевый теллурид и солнечные панели на основе перовскитов [1], каждый из которых имеет свои особенности и эффективность.

Системы трекинга позволяют автоматически поворачивать солнечные панели для максимального использования солнечной энергии. Одноосевые системы трекинга изменяют положение панелей по одной оси (например, с востока на запад), а двухосевые системы трекинга изменяют положение панелей по двум осям (например, север-юг и восток-запад), обеспечивая оптимальное позиционирование панелей к солнцу в течение дня (рисунок 1). Благодаря этому повышается эффективность ФЭС. Выбор правильной системы трекинга в зависимости от географического положения и климатических условий также влияет на общую эффективность системы.



Рисунок 1. Одноосевые и двухосевые системы трекинга (соответственно)

Инверторы играют важную роль в эффективности ФЭС, так как они преобразуют постоянный ток, вырабатываемый солнечными панелями, в переменный ток, который можно использовать для питания электрических устройств или передачи в электрическую сеть. Основные параметры, влияющие на эффективность инверторов, включают: коэффициент полезного действия, надежность, совместимость с солнечными панелями и системами трекинга.

Коэффициент полезного действия характеризует отношение выходной мощности инвертора к его входной мощности. Чем выше КПД, тем меньше потери энергии при преобразовании тока.

Надежность инвертора важна для обеспечения стабильной работы ФЭС и предотвращения преждевременных отказов. Выбор качественных инверторов с длительным сроком службы повышает эффективность и надежность системы.

Совместимость с солнечными панелями и системами трекинга имеет очень важную роль. Инвертор должен быть совместим с характеристиками солнечных панелей (например, мощностью и вольтажом) и системами трекинга, чтобы обеспечить оптимальное взаимодействие всех компонентов системы.

В последние годы проводится множество исследований и разработок, направленных на повышение эффективности, надёжности и снижение стоимости солнечной энергии. Основные направления исследований включают: разработку новых материалов и структур для солнечных панелей, улучшение систем трекинга.

В настоящее время ведется разработка новых материалов и структур для солнечных панелей. Перовскиты являются одним из самых перспективных материалов для солнечных панелей благодаря их высокому КПД и возможности нанесения на различные поверхности. Примеры результатов исследований включают создание гибких и полупрозрачных перовскитовых солнечных панелей с КПД более 20 %.

Квантовые точки – это наночастицы полупроводниковых материалов, которые могут быть использованы в солнечных панелях для повышения эффективности поглощения света. Некоторые исследования демонстрируют КПД более 15 % для солнечных элементов на основе квантовых точек.

Тандемные элементы состоят из нескольких слоев различных материалов, что позволяет эффективно использовать широкий спектр солнечного излучения. Например, комбинация перовскитовых и кремниевых слоев может привести к КПД более 30 %.

Ведутся улучшения систем трекинга. Исследования в области двухосевых систем трекинга направлены на оптимизацию конструкций и алгоритмов управления для обеспечения максимальной эффективности солнечных панелей. Результаты показывают, что двухосевые системы трекинга могут увеличить производительность ФЭУ на 20-45 % по сравнению с фиксированными установками [2].

Интеллектуальные системы трекинга позволяют менять положение солнечных панелей относительно солнца без вмешательства со стороны человека. Разработка алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта позволяет создавать интеллектуальные системы трекинга, которые

способны адаптироваться к изменениям погодных условий и оптимизировать положение солнечных панелей для максимального сбора солнечной энергии. Интеллектуальные системы трекинга обещают значительное повышение эффективности солнечных установок [2].

Внедряются инновации в инверторы и системы управления. Исследования в области инверторов фокусируются на создании модульных и многоуровневых систем, которые улучшают эффективность преобразования тока и надежность работы. Модульные инверторы позволяют легко заменять отказавшие компоненты, в то время как многоуровневые инверторы снижают электрические потери и гармонические искажения.

Разработка алгоритмов и программного обеспечения для прогнозирования производительности ФЭС и оптимизации их работы позволяет увеличить эффективность системы и снизить затраты на обслуживание. Это достигается за счет применения машинного обучения и анализа больших данных для предсказания погодных условий и потребления электроэнергии.

Ведутся также исследования в области интеграции солнечных установок в здания и инфраструктуру. Исследования в области интеграции ФЭУ в здания направлены на создание полупрозрачных и цветных фотовольтаических стекол и фасадов, которые могут генерировать энергию, не ухудшая внешний вид зданий. Некоторые результаты включают разработку перовскитовых и органических солнечных элементов, интегрированных в стекла и фасады [3].

В последние годы проводятся исследования и разработки для интеграции ФЭУ в дорожное покрытие и тротуары (рисунок 2). Примеры включают разработку устойчивых к нагрузке и износу солнечных панелей, которые могут быть интегрированы в дороги для генерации электроэнергии [3].



Рисунок 2. Солнечные дорожные панели с нагревательными элементами и светодиодами

Хранение и передача энергии являются особыми направлениями изучения информационных и коммуникационных сетей в энергетике. Исследования в области энергетического хранения направлены на создание высокоэффективных, компактных и долговечных аккумуляторов, которые позволят солнечным установкам работать независимо от изменчивости погоды и солнечного излучения. Примеры включают разработку литий-ионных, кислотно-оловянных и твердотельных аккумуляторов с высоким энергетическим уровнем и долгим сроком службы.

Развитие смарт-гридов (умных электрических сетей) позволяет оптимизировать генерацию, распределение и потребление электроэнергии, обеспечивая лучшую интеграцию возобновляемых источников энергии, таких как ФЭС. Исследования в этой области включают разработку алгоритмов и программного обеспечения для управления смарт-гридами, а также создание технологий и инфраструктуры для обмена энергией между различными участниками электрической сети [4].

Исходя из перечисленных направлений исследований, вариант улучшения существующих фотоэлектрических систем заключается в интеграции ряда инноваций, которые в совокупности максимизируют эффективность и доступность солнечной энергии. Для этого необходимо интегрировать новые материалы и технологии в фотоэлектрические системы, такие как перовскитовые, квантовые точки или тандемные солнечные элементы, а также установить интеллектуальные системы трекинга для оптимизации положения солнечных панелей. Обновление инверторов и систем управления, включая модульные и многоуровневые инверторы и использование программного обеспечения и алгоритмов, также помогут повысить эффективность и надежность работы [5, 6]. Интеграция фотоэлектрических систем в здания и инфраструктуру, такие как фотовольтаические стекла, фасады, дороги и тротуары, поможет расширить применение солнечной энергии. Наконец, нужно развивать системы энергетического хранения, включая высокоэффективные аккумуляторы, и интегрировать смарт-гриды для оптимизации генерации, распределения и потребления электроэнергии и облегчения интеграции возобновляемых источников энергии.

В заключение, существующие фотоэлектрические системы имеют большой потенциал для улучшения, и интеграция инноваций и передовых технологий может существенно повысить их эффективность и доступность. Развитие перечисленных направлений является многообещающим подходом к повышению энергоэффективности автономных фотоэлектрических установок. Реализация такого комплексного подхода способствует устойчивому развитию энергетической отрасли и снижению воздействия на окружающую среду, предоставляя доступ к чистой и возобновляемой солнечной энергии для широкого круга потребителей.

Список литературы:

1. Иванов, А. А. Перспективы применения перовскитовых солнечных элементов / А. А. Иванов, В. В. Смирнов. – Текст : непосредственный // Вестник альтернативной энергетики. – 2022. – № 3. – С. 25-32.
2. Делин, К. Оценка оптимальных конфигураций системы фотовольтаического трекинга для различных регионов США / К. Делин, Б. Марион, Д. Майерс, С. Руммель. – Текст : непосредственный // Солнечная энергия. – 2015. – № 112. – С. 16-28.
3. Кузнецова, Е. П. Интеграция фотовольтаических элементов в городскую инфраструктуру / Е. П. Кузнецова. – Текст : непосредственный // Архитектура и солнечная энергетика. – 2020. – № 5. – С. 17-23.

4. Григорьев, Д. В. Развитие систем энергетического хранения и смарт-гридов для оптимизации работы фотоэлектрических установок / Д. В. Григорьев, В. Н. Лебедев. – Текст : непосредственный // Вестник энергетической экологии. – 2022. – № 1. – С. 11-18.
5. Lashina, E. N. Economic feasibility of using solar power plants in the realities of the United States / E. N. Lashina, S. A. O. Sabzalyev. – Текст : электронный // Оригинальные исследования. – 2020. – Vol. 10. – No. 9. – P. 37-42. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44069305> (дата обращения: 22.04.2023). – EDN VMDDFO.
6. Грин, М. А. Таблицы КПД солнечных элементов (версия 48) / М. А. Грин, К. Эмери, Й. Хисикава, У. Уарта, Э. Д. Данлоп. – Текст : непосредственный // Прогресс в фотовольтаике: исследования и приложения. – 2016. – № 24 (7). – С. 905-913.

© Васильев А. В., 2023

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

аспирант **Корнилов Семён Владимирович**,
магистрант **Симонов Иван Владимирович**,
науч. руководитель: доктор техн. наук, профессор
Зверева Эльвира Рафиковна,
Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация,
Национальный исследовательский университет ИТМО,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассматриваются энергетические системы для транспортных средств на основе водородного электрохимического генератора. Предложена математическая модель, разработанная в программе Simcenter Amesim, на основе которой были определены оптимальная мощность электрохимического генератора, которая составила 41 кВт, и оптимальная энергоёмкость тяговых аккумуляторных батарей, которая составила 71.31 кВт*ч. Данные параметры обеспечивают минимальные массовые показатели энергетических систем (ЭС) для выбранного транспортного средства.

Ключевые слова: водород, водородный транспорт, водородные топливные элементы, водородные энергетические системы.

RESEARCH OF HYDROGEN FUEL CELL ENERGY SYSTEMS FOR VEHICLES

PhD Student **Kornilov Semyon Vladimirovich**,
Master Student **Simonov Ivan Vladimirovich**,
Academic Advisor: Doctor of Technical Sciences, Professor
Zvereva Elvira Rafikovna,
Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russian Federation,
ITMO University,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. The paper considers energy systems for vehicles based on a hydrogen electrochemical generator. A mathematical model developed in the Simcenter Amesim program is proposed, on the basis of which the optimal power of an electro-chemical generator was determined, which amounted to 41 kW and the optimal power consumption of traction batteries, which amounted to 71.31 kWh. These parameters provide the minimum mass indicators of energy systems (ES) for the selected vehicle.

Keywords: hydrogen, hydrogen transport, hydrogen fuel cells, hydrogen energy systems.

Конфигурации автомобильных систем на электрической тяге

Движение по пути декарбонизации транспортной промышленности вызвало разнообразие низкоуглеродных и безуглеродных транспортных средств (ТС). На сегодняшний день имеется несколько терминологий, используемых для обозначения транспортных средств, которые содержат в конструкции трансмиссии, электромеханический преобразователь энергии, предназначенный для приведения в движение ТС. Выделяют несколько типов:

- Гибридное ТС, приводимое в движение двигателем внутреннего сгорания (ДВС) и тяговым электродвигателем (ТЭД), питающееся от тяговых аккумуляторных батарей (ТАБ), которые заряжаются только с помощью ДВС.

- Плагин-гибридные ТС, приводимые в движение ДВС и ТЭД, питающиеся от ТАБ, которые могут заряжаться от электросети.

- ТС с увеличенным запасом хода, приводимое в движение только ТЭД, питающееся от ТАБ, которые могут заряжаться как от электросети, так и от вспомогательного ДВС.

- ТС с ТАБ (чистый электромобиль), данный вид ТС не использует ДВС. Вся необходимая электроэнергия поставляется от ТАБ, заряжаемых от энергосети.

- ТС на топливных элементах (ТЭ), приводимый в движение тяговым электродвигателем. В качестве источника электроэнергии выступают топливные элементы, которые работают в собственной системе, называемой модулем топливных элементов (МТЭ).

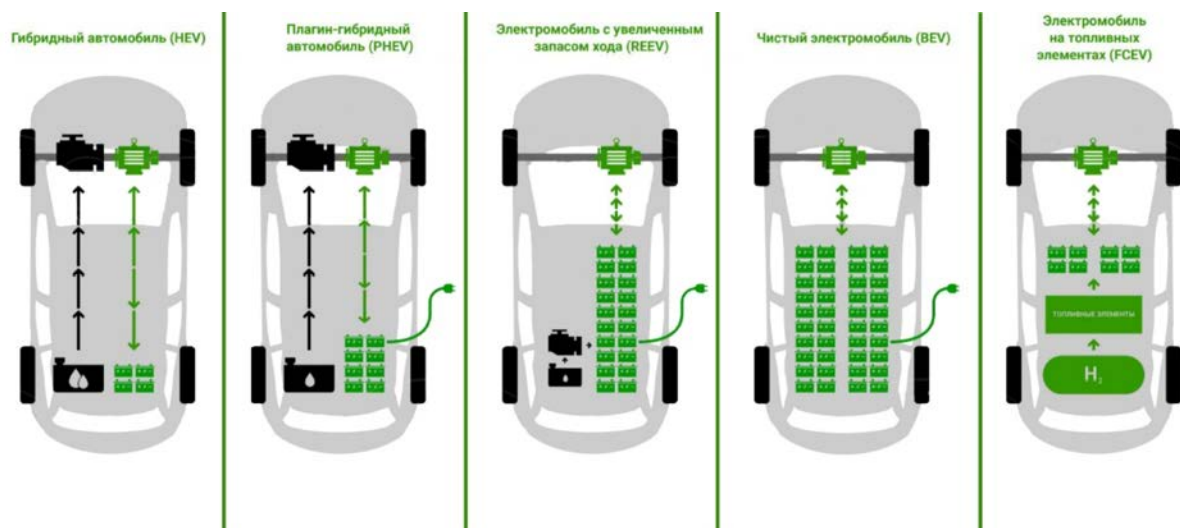


Рисунок 1. Принципиальные схемы ТС [1]

Наиболее перспективным безуглеродным транспортом при эксплуатации в холодных условиях (при температуре окружающей среды ниже 0°C) являются ТС на топливных элементах. Это связано с тем, что отрицательные температуры не влияют на запас топлива (водорода) для топливных элементов. Также согласно аналитической компании Deloitte [1, 2], ТС на топливных элементах являются наиболее перспективными для применения в будущем, вследствие минимального количества выбросов парниковых газов за весь жизненный цикл ТС, по сравнению с транспортными средствами на основе ТАБ и ДВС. Так, к

2040 году прогнозируется снижение стоимости ТС на ТЭ ниже стоимости ТС на ТАБ [3, 4].

Поэтому рассмотрим более детально ТС на основе модуля топливных элементов.

Конфигурации автомобильных систем на топливных элементах

Энергетическая система на топливных элементах может быть соединена с ТЭД несколькими способами:

1. МТЭ рассчитан на обеспечение мощности, необходимой для работы автомобиля. При этом ТАБ может присутствовать, но применяться только для запуска (например, батарея 12 В). Однако данная система с топливными элементами не будет иметь конкурентоспособных динамических характеристик.

2. МТЭ рассчитан на обеспечение только базовой нагрузки, а пиковая мощность для ускорения транспортного средства обеспечивается ТАБ или аналогичными пиковыми устройствами (например, ультраконденсаторами). Такую конфигурацию можно считать параллельной гибридной, поскольку топливный элемент и ТАБ работают параллельно: МТЭ обеспечивает крейсерскую мощность, а ТАБ поддерживает пиковую мощность (например, для ускорения). Наличие аккумуляторной батареи в системе позволяет гораздо быстрее реагировать на изменение нагрузки. Автомобиль можно запускать без предварительного прогрева модуля топливных элементов и продолжать эксплуатацию ТС. К недостаткам относят наличие ТАБ, что вызывает удорожание ТС и увеличение веса энергосистемы.

3. МТЭ рассчитан исключительно на подзарядку ТАБ. В этом случае тяговые батареи обеспечивают всю энергию, необходимую для работы. Такую конфигурацию можно считать последовательной гибридной (топливный элемент заряжает батарею, а батарея приводит в действие электродвигатель). При этом номинальная мощность МТЭ зависит от того, как быстро нужно будет заряжать тяговые батареи.

Определение оптимальной конфигурации ТС с МТЭ

Как было описано выше, существует несколько разновидностей конфигурации ТС с МТЭ. Для определения наиболее оптимального решения по мощности МТЭ и ТАБ необходимо провести расчёты. Данные расчёты проведем для пассажирского транспортного средства от компании «КАМАЗ» КАМАЗ-6290, городского исполнения.

В состав энергетической системы (ЭС) ТС входит ЭХГ, включающий перезаряжаемую систему хранения сжатого водорода (СХКВ) и МТЭ, и ТАБ.

Математическая модель ТС с ЭС

Для расчёта оптимальных характеристик ЭС была разработана математическая модель (ММ) в программном обеспечении Simcenter Amesim (рисунок 2). ММ была реализована с использованием физико-математических блоков, имитирующих компоненты реальной системы. Основные блоки ММ, использованные для расчётов: ТС, водитель, блок управления ТС (Vehicle Control Unit), трансмиссия, тяговый электродвигатель (ТЭД), СКХВ и МТЭ, ТАБ.

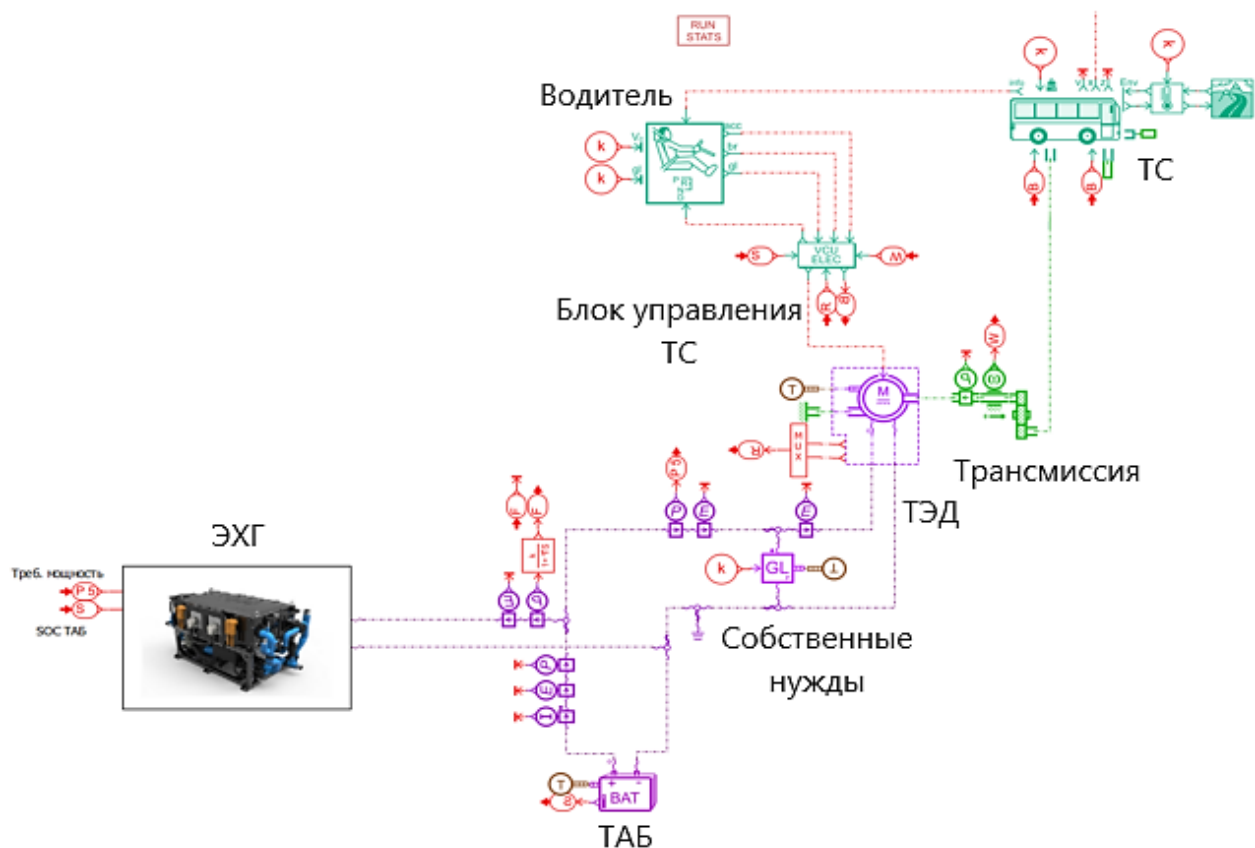


Рисунок 2. ММ ТС с ЭС

Разберем ключевые блоки. В блоке «Водитель» задаётся цикл движения ТС в функции скорости от времени. Сигнал об изменении скорости (ускорение или торможение) подаётся в «Блок управления ТС», в нём рассчитывается момент ТЭД, необходимый для движения по заданному циклу, и затем этот сигнал подаётся на ТЭД.

В блоке «ТЭД» задаются такие параметры, как тяговая характеристика ТЭД (зависимость момента от частоты вращения) и его карта эффективности (зависимость КПД от частоты вращения и момента). Сигнал, полученный от «блока управления ТС», сравнивается с тяговой характеристикой ТЭД, и с учётом карты эффективности рассчитывается требуемая электрическая мощность.

В таблице 1 представлены основные параметры ТАБ, используемые для расчётов [3, 5, 6].

Таблица 1 – Параметры исследуемых ТАБ

<i>Параметры</i>	<i>ТАБ №1</i>	<i>ТАБ №2</i>	<i>ТАБ №3</i>	<i>ТАБ №4</i>
Химия ячеек	LTO	NMC 523	NMC 622	LFP
Удельная энергоёмкость ТАБ, Вт*ч/кг	60	140	170	160
Ресурс ТАБ за 7,5 лет	10000 циклов	8000 циклов	5000 циклов	3500 циклов
Пиковый разрядный/зарядный ток	7С	4С	1,4С	3С/2С
Длительный разрядный/зарядный ток	4С	3,5С	1,16С/0,9С	1С

Для вариации и определения оптимальных параметров ЭХГ зададим единые характеристики ЭХГ, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики ЭХГ

<i>Параметры</i>	<i>Значения</i>
Удельная мощность, Вт/кг	500
Скорость нарастания мощности	10% от номинальной мощности
Скорость снижения мощности	20% от номинальной мощности
Минимальная мощность	40% от номинальной мощности
КПД DC/DC преобразователя	0,95
Удельный расход водородного топлива, кг/кВт*ч	0,069
Удельная масса хранения водородного топлива кг/кгH ₂	20

Для составления блока ТС были использованы параметры, аналогичные электрическому пассажирскому транспортному средству КАМАЗ-6282. Основные параметры ТС, используемые в расчётах, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры ТС

<i>Параметры</i>	<i>Значения</i>
Полная масса, кг	18000
Снаряжённая масса, кг	12200
Ширина, мм	2550
Высота, мм	3220
Коэффициент заполнения лобовой площади	0,99
Коэффициент обтекаемости	0,66
Шины	275/70R22,5

В таблице 4 приведены значения собственных нужд для среднестатистического режима эксплуатации, мощность собственных нужд, принятая для оптимизационных расчётов 8,24 кВт.

Таблица 4 – Собственные нужды для КАМАЗ-6290 городского исполнения

<i>Потребитель</i>	<i>Мощность потребителя, кВт</i>	<i>Движение по циклу (статистические данные), кВт</i>
Климатическая система (кондиционер)	11	3,54
Насос ГУР	4	0,42
Компрессор	4	0,53
TMS подогрев	7	0
TMS охлаждение	2,8	0,56
DC/DC преобразователи	12	3,19
ИТОГО:		8,24

Для расчётов использовался тяговый электропривод (ТЭП) с передаточным числом 22.66 и с максимальной мощностью 250 кВт. Характеристики используемого тягового электродвигателя (ТЭД) представлены на рисунке 3.

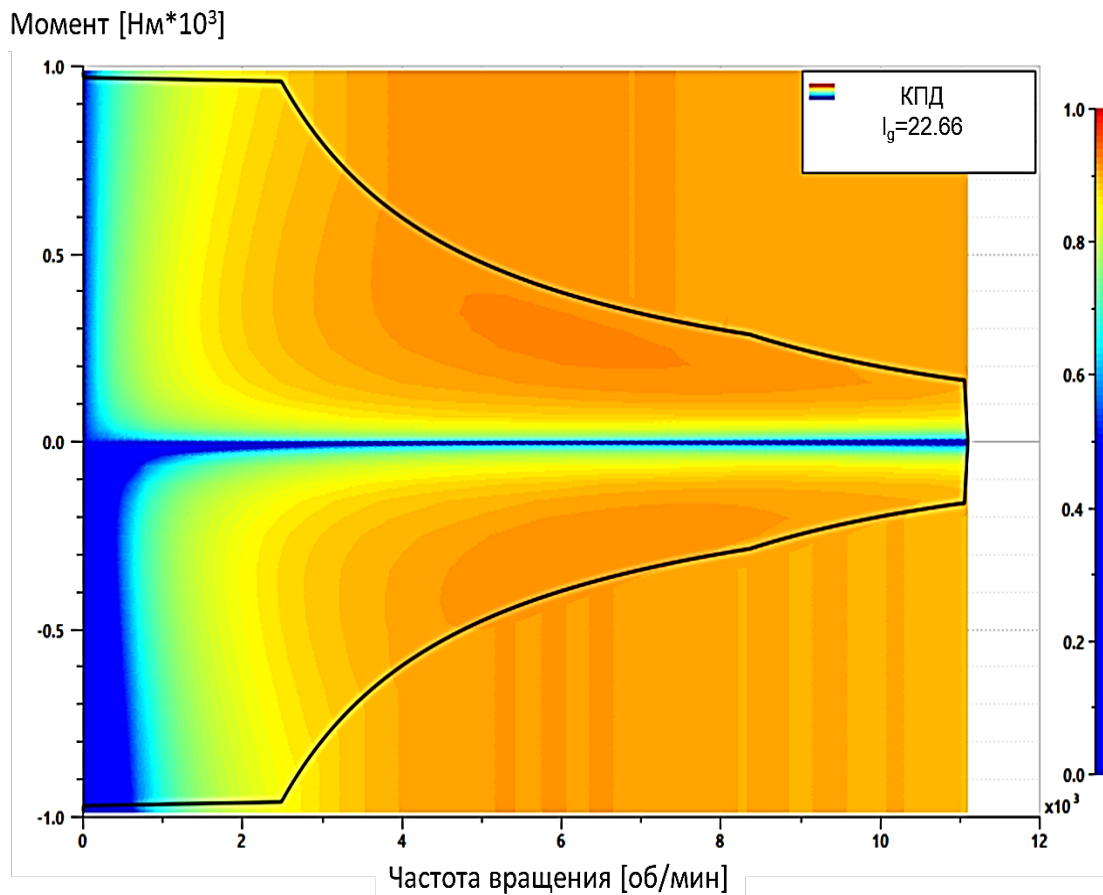


Рисунок 3. Характеристики ТЭД

Для оценки энергопотребления транспортного средства в городских условиях эксплуатации использовался автобусный городской цикл движения Orange County Bus (рисунок 4). Средняя загрузка ТС на маршруте составляет 35 %.

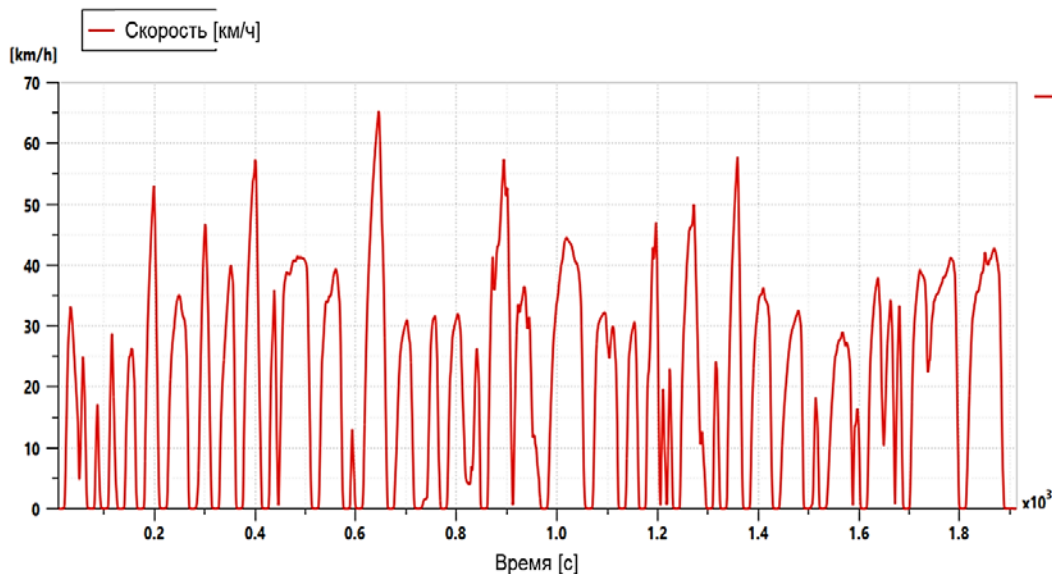


Рисунок 4. Цикл движения Orange County Bus

Для выбора оптимальной мощности ЭХГ и энергоёмкости ТАБ был проведён ряд оптимизационных расчётов с разной стратегией использования ЭХГ [7]:

1. ЭХГ как основной источник энергии. Стратегия заключается в том, что регулирование мощности производится в зависимости от требуемой разрядной мощности и степени заряженности (SOC) ТАБ.

2. ЭХГ как основной источник энергии с учётом тормозного резистора. Стратегия заключается в том, что регулирование мощности производится в зависимости от требуемой разрядной мощности и SOC ТАБ, а вся лишняя энергия рассеивается на резисторе.

3. ЭХГ без ограничения минимальной мощности. Стратегия заключается в том, что регулирование осуществляется по требуемой мощности и ЭХГ имеет возможность неограниченного количества отключений.

Результаты моделирования

В ходе проведения моделирования описанной модели были получены массивы данных, которые для наглядности свели в сравнительную таблицу.

В таблице 5 представлено сравнение произведенных расчётов.

В качестве оптимального варианта был выбран вариант ЭХГ как основной источник энергии (без резистора). В данном варианте обеспечивается наименьшее количество отключений МТЭ (и соответственно, больший ресурс МТЭ) и один из самых низких расходов водородного топлива.

Таблица 5 – Сравнение результатов расчётов

<i>Параметры</i>	<i>Без ограничения минимальной мощности ЭХГ</i>	<i>ЭХГ основной источник энергии</i>	<i>ЭХГ основной источник энергии (с резистором)</i>
Мощность ЭХГ, кВт	72	41	64
Масса ЭХГ, кг	144	81	127
Масса ТБ, кг	358	360	510
Пропускаемая энергия ТАБ за день, кВт*ч	140	204	171
Расход водородного топлива, кг	18,8	18,9	25,5
Влияние частоты отключений на ресурс ЭХГ	Значительное	Незначительное	Незначительное

Так же для выбранной мощности МТЭ были рассмотрены конфигурации ТАБ с различной химией ячеек (таблица 6). Исходя из рассмотренных вариантов, видно, что ТАБ NMC 523 имеет наименьшую массу и одно из самых низких значений пиковых токов, поэтому целесообразнее выбрать данную конфигурацию.

Таблица 6 – Различные конфигурации ТАБ

<i>Параметры</i>	<i>LTO</i>	<i>NMC 523</i>	<i>NMC 622</i>	<i>LFP</i>
Энергоёмкость, кВт*ч	58,65	73,31	117,3	167,57
Пиковая разрядная/зарядная мощность, кВт	410	290	160	500/335
Длительная разрядная/зарядная мощность, кВт	235	255	130/105	165
Масса ТАБ, кг	980	525	690	1050

На основе проведенных вычислений были определены оптимальная мощность ЭХГ (41 кВт) и требуемая энергоёмкость ТАБ (73.31 кВт*ч). Выбранный вариант был проверен при движении ТС без загрузки, с полной загрузкой и со среднестатистической пассажирской загрузкой. По результатам данной проверки была подтверждена достаточность данной конфигурации ЭС.

Выводы

В результате оптимизационных расчётов было найдено оптимальное соотношение параметров мощности ЭХГ и энергоёмкости ТАБ исходя из критериев оптимизации: минимизации массы, обеспечения наименьшего количества отключений МТЭ и обеспечения ресурса ТАБ.

Были произведены оптимизационные расчёты для различных способов использования ЭХГ: 1) «ЭХГ как основной источник энергии с резистором»; 2) «ЭХГ как основной источник энергии»; 3) «ЭХГ без ограничения минимальной мощности» (в таблице 5, представлено сравнение данных расчётов).

В результате сравнения данных расчётов было выявлено, что наиболее оптимальным вариантом с учётом выбранных критериев оптимизации является вариант «ЭХГ как основной источник энергии». С ТАБ NMC 523 энергоёмкостью 73,31 кВт*ч и мощностью ЭХГ 41 кВт.

Список литературы:

1. Бухарова, Д. Р., Чинская, И. А. Электромобиль. Какой выбрать? / Д. Р. Бухарова, И. А. Чинская. – Текст : электронный // Научные высказывания. – 2022. – № 14 (22). – С. 21-24. – URL: https://nvjournal.ru/article/Elektromobil_Kakoj_vybrat/ (дата обращения: 15.04.2023).

2. Ермоленко, Е. В. Электромобилизация как трудный путь к обеспечению экологичности окружающей среды / Е. В. Ермоленко, М. С. Липатов. – Текст : электронный // Теория и практика современной науки: взгляд молодежи : Материалы Всероссийской научно-практической конференции на английском языке. В 2-х частях, Санкт-Петербург, 25 ноября 2021 года. Часть II. – Санкт-Петербург: ВШТЭ СПбГУПТД, 2022. – С. 142-145. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48195692> (дата обращения: 18.04.2023). – EDN DFOBCF.
3. MacCharles, A. (2020) Fueling the Future of Mobility. *Deloitte*. 25-26. URL: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/cn/Documents/finance/deloitte-cn-fueling-the-future-of-mobility-en-200101.pdf> (date accessed: 21.04.2023).
4. Lashina, E. N. Fuel environmental standards / E. N. Lashina. – Текст : электронный // Оригинальные исследования. – 2021. – Vol. 11, No. 11. – P. 5-13. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47425223> (дата обращения: 20.04.2023). – EDN QLHRKL.
5. Morrison, G., Stevens, J., Joseck F. Relative economic competitiveness of light-duty battery electric and fuel cell electric vehicles. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 87, 183-196. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.01.005> (date accessed: 21.04.2023).
6. Kwon, S.-J.; Lee, S.-E., Lim, J.-H., Choi, J., Kim, J. (2018) Performance and Life Degradation Characteristics Analysis of NCM LIB for BESS. *Electronics*. 7, 406. URL: <https://doi.org/10.3390/electronics7120406> (date accessed: 22.04.2023).
7. Choi, J. H. (2014) Understanding Electric Energy Storage Devices (Lithium Secondary Battery). *Korea Electric Power Corporation Research Institute: Daejeon, Korea*. URL: <https://doi.org/10.3390/electronics7120406> (date accessed: 22.04.2023).

© Корнилов С. В., Симонов И. В., 2023

АНАЛИЗ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ГАЗООБРАЗНЫХ ТОПЛИВ В СРАВНЕНИИ С БИОГАЗОМ ПЕРЕМЕННОГО СОСТАВА

аспирант **Леонов Евгений Сергеевич**,
науч. руководитель: доктор техн. наук, доцент **Трубаев Павел Алексеевич**,
Белгородский государственный технологический
университет им. В. Г. Шухова,
г. Белгород, Российская Федерация

Аннотация. Для альтернативных видов газообразных топлив актуальной задачей является возможность их использования в качестве замены природного газа. В работе произведено сравнение природного газа, биогаза различного состава, и горючих газов с низкой теплотой сгорания по теплоте сгорания, числу Воббе, метановому числу. Из анализа взаимозаменяемости топлив можно заключить, что для котлопечных агрегатов для биогаза с низким содержанием метана могут использоваться горелки, разработанные для металлургических и искусственных газов. Биогаз различного состава, в отличие от других видов топлив с низкой теплотой сгорания, может быть использован в качестве газомоторного топлива.

Ключевые слова: число Воббе, метановое число, горение топлива, биогаз, местное топливо.

ANALYSIS OF THE INTERCHANGEABILITY OF DIFFERENT GASEOUS FUELS IN COMPARISON WITH BIOGAS OF VARIABLE COMPOSITION

PhD Student **Leonov Evgeny Sergeevich**,
Academic Advisor: Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
Trubaev Pavel Alekseevich,
Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov,
Belgorod, Russian Federation

Abstract. For alternative types of gaseous fuels, an urgent task is the possibility of their use as a replacement for natural gas. The paper compares natural gas, biogas of various compositions, and combustible gases with a low calorific value in terms of calorific value, Wobbe number, and methane number. From the analysis of the interchangeability of fuels, it can be concluded that burners designed for metallurgical and artificial gases can be used for boiler units for biogas with a low content of methane. Biogas of various compositions, unlike other types of fuels with a low calorific value, can be used as gas motor fuel.

Keywords: Wobbe number, methane number, fuel combustion, biogas, local fuels.

Введение

Для альтернативных видов газообразных топлив актуальной задачей является возможность их использования в качестве замены природного газа.

Эффективный способ правильной оценки качества топлива может способствовать более широкому использованию нетрадиционного топлива вместо ископаемого газа [1].

Хотя природный газ представляет собой преимущественно метан с меньшим количеством высших углеводородов и инертных газов, изменение состава газа (как в случае с другими газами, рассматриваемыми в работе) может существенно повлиять на работу оборудования и повлиять на конструктивные характеристик горелок [2].

Критерии оценки газов

Для оценки топлив используются теплота сгорания, число Воббе, метановое число.

Теплота сгорания является основным энергетическим показателем топлив и характеризует количество теплоты, выделившейся при полном сгорании. Низшая и высшая теплота сгорания топлива определяется по теплоте сгорания его компонентов, МДж/м³:

$$Q_H^p = 0,01 (35,82 \text{ CH}_4 + 63,75 \text{ C}_2\text{H}_6 + 91,30 \text{ C}_3\text{H}_8 + 118 \text{ C}_4\text{H}_{10} + 146 \text{ C}_5\text{H}_{12} + 12,64 \text{ CO} + 10,8 \text{ H}_2 + 23,65 \text{ H}_2\text{S}); \quad (1)$$

$$Q_B^p = 0,01 (39,63 \text{ CH}_4 + 69,75 \text{ C}_2\text{H}_6 + 99,30 \text{ C}_3\text{H}_8 + 128 \text{ C}_4\text{H}_{10} + 158,2 \text{ C}_5\text{H}_{12} + 12,58 \text{ CO} + 12,72 \text{ H}_2 + 25,85 \text{ H}_2\text{S}); \quad (2)$$

где CH₄, C₂H₆, C₃H₈, C₄H₁₀, C₅H₁₂, CO, H₂, H₂S – содержание компонентов в топливе, об. %.

Число Воббе применяется для оценки взаимозаменяемости различных газообразных топлив в котлопечных агрегатах и характеризует тепловую мощность газогорелочного устройства при постоянном давлении. В отличие от теплоты сгорания, число Воббе учитывает не только состав газа, но и перепад давления на горелочном устройстве. Если два топлива имеют одинаковое значения числа Воббе, то и количество выделяемой теплоты при одинаковом объемном расходе и давлении будет равным. Обычно допускаются отклонения до 5%, поскольку они не будут заметны потребителю [3]. Выражение для расчета низшего и высшего числа Воббе, МДж/м³, имеет вид:

$$W_H = \frac{q_H^p}{\sqrt{\rho_{\Gamma}/\rho_B}}; \quad W_B = \frac{q_B^p}{\sqrt{\rho_{\Gamma}/\rho_B}}, \quad (3)$$

где ρ_{Γ} и ρ_B – плотность газообразного топлива и воздуха, кг/м³.

При замене топлива в котлопечных агрегатах используют значение W_H , а при сравнении и оценке взаимозаменяемости газов без привязки к конкретному агрегату – значение W_B .

Метановое число (МЧ) характеризует детонационную стойкость газового топлива, оно аналогично октановому числу для жидкого топлива [4]. Оно используется для оценки взаимозаменяемости топлива в двигателях внутреннего сгорания и газопоршневых установках.

Чтобы установить показатель детонационной стойкости для газообразного топлива, в качестве эталонного стандарта с МЧ = 100 для самой высокой детонационной стойкости был выбран метан, а водород, из-за его хорошо известной склонности вызывать детонацию, служил противовесом метану с МЧ = 0 [5]. Значение МЧ зависит от содержания в газе иных компонентов, кроме метана. Из-за этого изменяется относительная плотность газа (соотношение ρ_T/ρ_B), что и приводит к снижению или увеличению МЧ.

Существует несколько методик определения метанового числа, в работе [6] рассматривались две наиболее распространённые, AVL и CARB, и отмечается, что результаты расчета по различным методикам заметно отличаются.

Характеристики газообразных топлив

Целью исследования было сравнение индекса Воббе для семи разных газов. Свойства биогаза сравнивались с природным газом, побочными продуктами металлургического производства и различными искусственными газами. Рассматривались следующие газы, представленные в таблице 1. Состав рассматриваемых газов представлен в таблице 2.

Таблица 1 – Рассматриваемые топлива

<i>Условное обозначение</i>	<i>Описание</i>	<i>Источник, где взят состав</i>
ПГ1, ПГ2, ПГ3	Природные газы с низкой, средней и высокой теплотой сгорания	[7, с. 288]
Б1	Биогаз, образующийся в условиях идеального анаэробного сбраживания	[8, с. 404-405]
Б2	Биогаз с низким содержанием метана, образующийся на полигоне твердых бытовых отходов «Стрелецкое» Белгородской области (результаты измерения атворов)	–
ДГ	Доменный газ – продукт неполного сгорания, образующийся во время выплавки чугуна в доменных печах	[9]
ГГ	Генераторный газ – искусственное топливо, получаемое при газификации твердого топлива путем взаимодействия его раскаленного слоя с воздухом	[10, с. 590]
ВГ	Водяной газ – искусственное топливо, получаемое при газификации твердого топлива путем	[11, с. 31]

	взаимодействия его раскаленного слоя с водяным паром	
СГ	Синтез-газ – сырье для химической промышленности, получаемое при конверсии или парциальном окислении метана или побочный продукт пиролиза метана	[12]
КГ	Коксовый газ – побочный продукт при производстве кокса	[13, с. 26092]

Таблица 2 – Состав газов, используемых в работе

Компонент	ПГ1	ПГ2	ПГ3	Б1	Б2	ДГ	ГГ	ВГ	СГ	КГ
CH ₄	93,8	98,24	86,51	57	35	–	0,6	6,4	7	27
C ₂ H ₆	2,0	0,29	3,9	–	–	–	–	–	–	–
C ₃ H ₈	0,8	0,2	1,72	–	–	–	–	–	0,2	–
C ₄ H ₁₀	0,3	0,09	0,87	–	–	–	–	–	–	–
C ₅ H ₁₂	0,1	0,04	0,3	–	–	–	–	–	–	–
CO ₂	0,4	0,14	0,01	38	30	25	6,0	7,7	15	–
N ₂	2,6	1	6,7	3,2	30	40	53,2	4,2	0,2	5
O ₂	–	–	–	1,8	5	–	0,2	0	–	–
CO	–	–	–	–	–	28	27	29,4	22,6	8
H ₂	–	–	–	–	–	7	13	52,3	55	60
Сумма	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Также рассматривался биогаз переменного состава с содержанием метана от 35 до 70 %. При содержании метана, равном 35 и 57 %, он задавался по данным (таблицы 2), для других значений – интерполяцией между этими значениями:

– при CH₄ ≥ 57%:

$$\text{CO}_2 = \frac{38(100 - \text{CH}_4)}{100 - 57} = 0,8837(100 - \text{CH}_4); \quad (4)$$

$$\text{N}_2 = 0,0744(100 - \text{CH}_4); \quad \text{O}_2 = 0,0419(100 - \text{CH}_4), \quad (5)$$

– при CH₄ = 35...57%:

$$\text{CO}_2 = 38 - \frac{(38 - 30)}{(57 - 35)}(57 - \text{CH}_4) = 17,27 + 0,3636 \cdot \text{CH}_4; \quad (6)$$

$$\text{N}_2 = 72,64 - 1,218 \cdot \text{CH}_4; \quad \text{O}_2 = 10,09 - 0,1455 \cdot \text{CH}_4. \quad (7)$$

Число Воббе различных топлив

Значения числа Воббе для рассматриваемых газов представлено на рисунке 1 и рисунке 2.

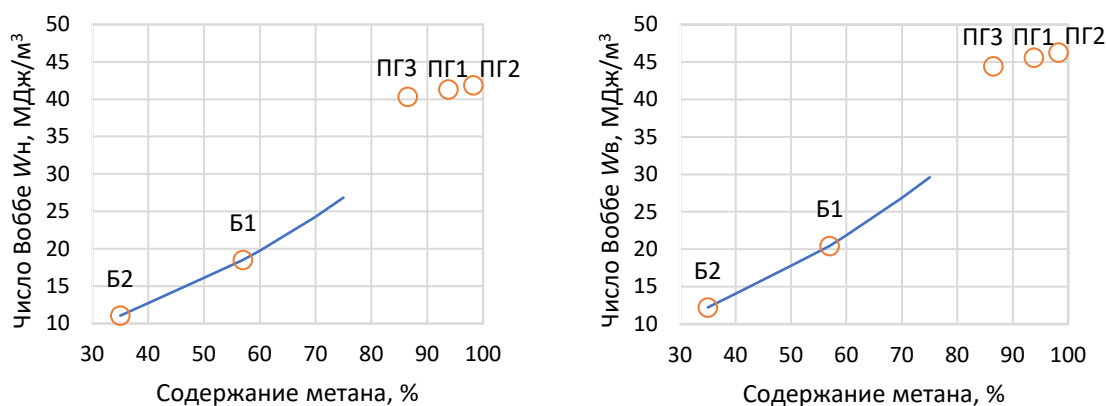


Рисунок 1. Зависимость индекса Воббе топлив от содержания метана

В сравнении с тремя составами природного газа биогаз как альтернативу без изменения конструктивных характеристик можно рассматривать только с высоким содержанием метана.

На рисунке 2 можно заметить, что водяной газ и синтез-газ соотносятся с биогазом с низким содержанием метана (35 %), а коксовый к биогазу со средним содержанием метана (60 %). Поэтому для сжигания биогаза могут применяться технические решения, используемые для этих горючих газов (конструкции горелок, режимы сжигания и т. д.).

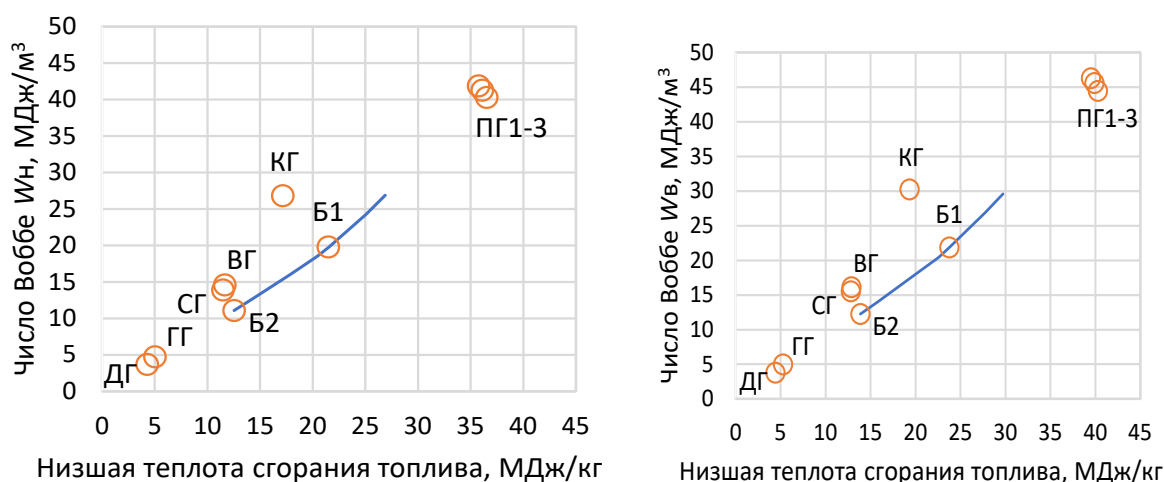


Рисунок 2. Зависимость индекса Воббе топлив от низшей теплоты сгорания топлива

Метановое число различных топлив

В работе для определения метанового числа использован онлайн калькулятор фирмы Cummins [14], разработанный на базе метода AVL.

Были построены зависимости метанового числа от содержания метана (рисунок 3) и от низшей теплотворной способности (рисунок 4).

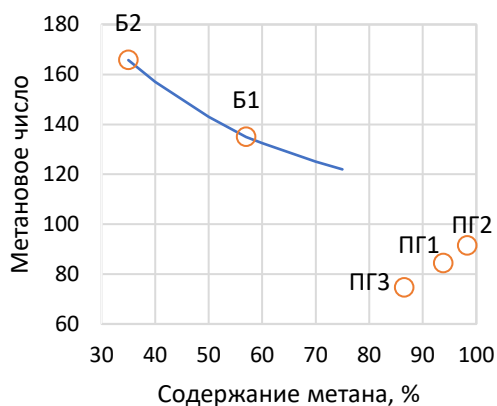


Рисунок 3. Зависимость индекса метанового числа от содержания метана

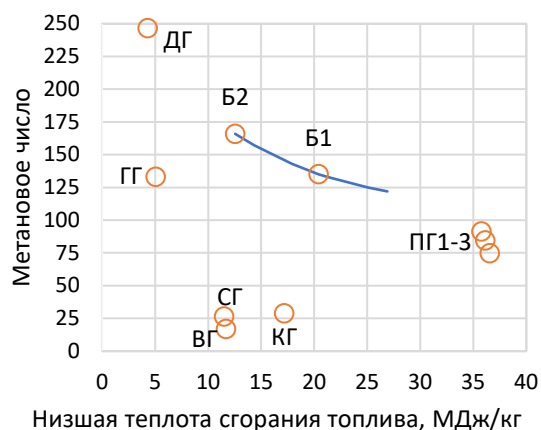


Рисунок 4. Зависимость метанового числа от низшей теплоты сгорания топлива

Из полученных данных можно заключить, что в отличие от других видов топлив с низкой теплотой сгорания, биогаз различного состава может быть использован в качестве газомоторного топлива. Большое значение метанового числа для доменного газа с большим количеством азота и СО и небольшим содержанием Н₂, низкое значение для искусственных газов и коксового газа – с высоким содержанием водорода.

Заключение

В таблице 3 приведены численные данные рассматриваемых характеристик.

Таблица 3 – Результаты расчетов

	ПГ1	ПГ2	ПГ3	Б1	Б2	ДГ	ГГ	ВГ	СГ	КГ
Q_H^p	36,13	35,77	36,54	20,43	12,55	4,30	5,03	11,66	11,49	17,17
Q_B^p	39,90	39,53	40,30	22,59	13,87	4,41	5,29	12,89	12,81	19,34
Q_B^p/Q_H^p	1,10	1,11	1,10	1,11	1,11	1,03	1,05	1,11	1,12	1,13
W_H	41,30	41,88	40,31	18,50	11,06	3,70	4,71	14,58	13,90	26,82
W_B	45,61	46,28	44,46	20,45	12,23	3,80	4,95	16,12	15,50	30,21
МЧ	84,5	91,5	74,8	137,5	165,8	246,8	133,2	17	26,6	29

Из анализа взаимозаменяемости топлив можно заключить, что для котлопечных агрегатов для биогаза с низким содержанием метана могут использоваться горелки, разработанные для металлургических и искусственных газов. Биогаз различного состава, в отличие от других видов топлив с низкой теплотой сгорания, может быть использован в качестве газомоторного топлива.

Список литературы:

1. Roy, P. S., Ryu, C., Park, C. S. (2018) Predicting Wobbe Index and methane number of a renewable natural gas by the measurement of simple physical properties. *Fuel*. 224, 121-127.

2. Slim, B. K., Darneveil, H. D., Gersen, S., Levinsky, H. B. (2011) The combustion behaviour of forced-draught industrial burners when fired within the EASEE-gas range of Wobbe Index. *J Nat Gas Sci Eng.* 3 (5), 642-645.
3. Pannucharoenwong, N. Worasaen, A. Benjapiyaporn, Ch. et al. (2017) Comparison of bio-methane gas Wobbe index in different animal manure substrate. *Energy Procedia.* 138, 273-277.
4. Дидманидзе, О. Н. Метановое число природного газа и его влияние на эффективность рабочего процесса газового двигателя / О. Н. Дидманидзе, А. С. Афанасьев, Р. Т. Хакимов. – Текст : непосредственный // Записки Горного института. – 2021. – Т. 251. – С. 730-737.
5. Bestel, D., Bayliff, S., Xu, H. et al. (2021) Investigation of the end-gas autoignition process in natural gas engines and evaluation of the methane number index. *Proceedings of the Combustion Institute.* 38 (4), 5839-5847.
6. Пылев, В. А. Шахтный газ – моторное топливо для двигателей внутреннего сгорания / В. А. Пылев, А. А. Прохоренко, С. А. Кравченко и др. – Текст : непосредственный // Общие проблемы двигателестроения. – 2007. – № 1. – С. 10-15.
7. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент : Справочник. 4-е изд., перераб. и доп. / Под общ. ред. А. В. Клименко и В. М. Зорина. – М. : Издательство МЭИ, 2007. – 561 с. – Текст : непосредственный.
8. Kararaju, P., Rintala, J. (2013) Generation of heat and power from biogas for stationary applications: boilers, gas engines and turbines, combined heat and power (CHP) plants and fuel cells. *The Biogas Handbook: Science.* – Sawston: Woodhead Publishing. 404-427.
9. Zheng, W., Pang, L., Liu, Y. et al. (2021) Effects of methane addition on laminar flame characteristics of premixed blast furnace gas/air mixtures. *Fuel.* 302.
10. Дубовиков, О. А. Направления и перспективы использования низкосортного технологического топлива в производстве глинозема / О. А. Дубовиков, В. Н. Бричкин. – Текст : непосредственный // Записки Горного института. – 2016. – Том 220. – С. 587-594.
11. Норкин, Н. Н. Исследование структуры пламени водяного газа / Н. Н. Норкин, Д. Г. Специ. – Текст : непосредственный // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 1948. – Том 66. – № 3. – С. 17-36.
12. Paykani, A. Chehrmonavari, H., Tsolakis, A. (2022) Synthesis gas as a fuel for internal combustion engines in transportation. *Prog Energy Combust Sci.* 90.
13. Amjad, A. K. Mahmoudi, S.M.S., Yari, M. (2022) Utilizing coke oven gases as a fuel for a cogeneration system based on high temperature proton exchange membrane fuel cell; energy, exergy and economic assessment. *Int J Hydrogen Energy.* 47 (62), 26091-26113.
14. Fuel quality calculator: [сайт]. – 2023. – URL: <https://www.cummins.com/engines/natural-gas/fuel-quality-calculator> (дата обращения: 06.05.2023). – Текст : электронный.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОСЕТЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ОПРЕДЕЛЕНИИ ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ДВУХСЛОЙНЫМ РОТОРОМ

старший преподаватель **Нагирняк Александр Анатольевич**,
Севастопольский государственный университет,
Севастополь, Российская Федерация

Аннотация. Статья посвящена анализу перспектив использования нейросетей для проектирования определения и расчёта оптимальных параметров асинхронных двигателей с двухслойным ротором: определение толщины внешнего слоя, определение оптимальных рабочих режимов и типов нагрузок. Специфика работы асинхронных двигателей с двухслойным ротором предполагает большую часть времени работы электродвигателя при «вентиляторной» нагрузке, частых пусках и реверсах, в связи с чем возникает необходимость подбора конструктивных параметров, обеспечивающих наибольшую эффективность в каждом конкретном приводе [1]. Помимо этого, нейросети могут помочь определить эффективную продолжительность работы, а также число пусков асинхронных двигателей с двухслойным ротором.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, двухслойный ротор, пусковой момент, пусковой ток, нейросети, параметры.

PROSPECTS FOR THE USE OF NEURAL NETWORKS IN THE DESIGN AND DETERMINATION OF THE PARAMETERS OF ASYNCHRONOUS MOTORS WITH A TWO-LAYER ROTOR

Senior Lecturer **Nagirnyak Alexander Anatolyevich**,
Sevastopol State University,
Sevastopol, Russian Federation

Abstract. The article is devoted to the analysis of the prospects for using neural networks for designing the determination and calculation of the optimal parameters of asynchronous motors with a two-layer rotor: determining the thickness of the outer layer, determining the optimal operating modes and types of loads. The specifics of the operation of the asynchronous motors with a two-layer rotor assumes that most of the time the electric motor is operated with a «fan» load, frequent starts and reverses, and therefore it becomes necessary to select design parameters that provide the greatest efficiency in each specific drive [1]. In addition, neural networks can help determine the effective duration of work, as well as the number of launches of the asynchronous motors with a two-layer rotor.

Keywords: asynchronous motor, two-layer rotor, starting torque, inrush current, neuroweb, parameters.

Асинхронные двигатели с двухслойными роторами (АДДР) широко используются в различных отраслях промышленности, включая нефтегазовую, электроэнергетическую, металлургическую, химическую и другие. Это связано с их высокими техническими характеристиками и надежностью работы, а также с высокой энергоэффективностью в режимах работы, предполагающих частые пуски и реверсы [2, с. 96].

Асинхронный двигатель с двухслойным ротором имеет два слоя проводников на своем роторе. Это позволяет улучшить его электрические характеристики, такие как коэффициент мощности и КПД. Двухслойный ротор (рисунок) также обеспечивает более высокую надежность работы двигателя и уменьшение потерь в железе ротора. Он используется в различных промышленных приводах, таких как насосы, вентиляторы и компрессоры [3].

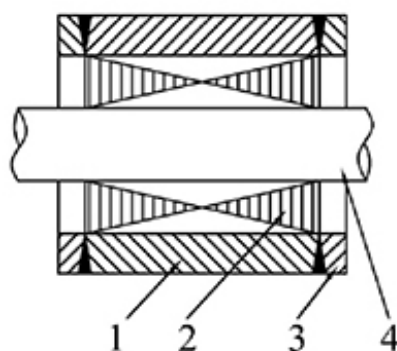


Рисунок. Конструкция ротора асинхронного двигателя с двухслойным ротором:
1 – рабочий цилиндр; 2 – шихтованный сердечник; 3 – короткозамыкающее кольцо; 4 – вал

Нейросети могут быть использованы для оптимизации проектирования асинхронных двигателей с двухслойным ротором. Например, можно использовать нейронную сеть для обучения модели, которая будет предсказывать характеристики двигателя на основе его геометрических параметров и материалов, используемых в его конструкции.

Для реализации алгоритмов нейросети необходимо собрать данные о различных асинхронных двигателях с двухслойным ротором, включая их геометрические параметры и характеристики. Затем эти данные могут быть использованы для обучения нейронной сети, которая будет предсказывать характеристики новых двигателей на основе их параметров.

Также нейросети могут использоваться для оптимизации дизайна двигателя. Например, можно использовать нейронную сеть для поиска оптимальных значений для геометрических и конструктивных параметров двигателя, в т. ч. оптимальной величины внешнего слоя, чтобы получить наилучшие характеристики эффективности и мощности.

В целом, использование нейросетей при проектировании асинхронных двигателей с двухслойным ротором может помочь ускорить и улучшить процесс проектирования, а также повысить эффективность и надежность получаемых двигателей [4].

Существует множество нейросетей, которые могут быть использованы для оптимизации параметров асинхронных двигателей с двухслойным ротором. Некоторые из них:

1. Сверточные нейронные сети (CNN) – эффективно работают с изображениями и другими типами данных, которые имеют пространственную структуру.

2. Рекуррентные нейронные сети (RNN) – хорошо подходят для работы с последовательными данными, такими как временные ряды.

3. Глубокие нейронные сети (DNN) – могут быть использованы для обучения на больших объемах данных и решения сложных задач.

4. Генеративно-состязательные сети (GAN) – могут использоваться для создания новых моделей двигателей на основе имеющихся данных.

5. Автоэнкодеры (AE) – могут использоваться для извлечения признаков из данных и оптимизации параметров двигателя. Это только некоторые из возможных вариантов. Выбор конкретной нейросети зависит от задачи и доступных данных.

Для определения оптимальных параметров асинхронного двигателя с двухслойным ротором при помощи нейросети можно использовать различные методы расчёта.

Один из возможных методов – это метод генетических алгоритмов, который позволяет искать оптимальные значения параметров АДДР, опираясь на заданные критерии эффективности и мощности.

Другой метод – это метод градиентного спуска, который позволяет оптимизировать значения параметров АДДР путем пошагового изменения их значений в направлении уменьшения функционала качества (например, потерь или ошибки).

Также можно использовать методы, основанные на теории оптимизации, такие как методы многомерной оптимизации или методы искусственного интеллекта, например, методы обучения с подкреплением или методы обучения с учителем.

В любом случае, для использования нейросети при определении оптимальных параметров АДДР необходимо подготовить набор данных, содержащий информацию о свойствах и характеристиках АДДР с различными комбинациями параметров, а также задать целевую функцию, которую необходимо оптимизировать.

Ранее для расчёта оптимальных параметров слоёв ротора АДДР использовались дорогостоящие программные пакеты, такие как ANSYS Maxwell, Abaqus, COMSOL и другие. Использование нейросетей позволит снизить стоимость подобных расчётов. В том числе, подобные программные пакеты в будущем можно будет использовать для учёта магнитной анизотропии.

Магнитная анизотропия (неоднородность) в роторе АДДР связана с направленностью магнитных свойств материала, из которого он изготовлен.

В зависимости от ориентации кристаллических осей, магнитные свойства могут быть различными в разных направлениях. Это может повлиять на эффективность работы двигателя и его мощность.

Для учёта магнитной анизотропии в расчётах АДДР при помощи нейросетей можно использовать уже применяемые специальные модели и методы, которые учитывают направленность магнитных свойств материала ротора:

1. Модель гиперболического синуса (HS). Эта модель используется для описания зависимости магнитной индукции от напряженности магнитного поля в материалах с магнитной анизотропией. Позволяет учитывать не только направленность магнитных свойств, но и их изменение с учётом колебаний температуры, в том числе вызванных токами, индуцируемыми в роторе.

Формула для расчёта магнитной индукции в материале с магнитной анизотропией при помощи модели гиперболического синуса:

$$B = B_{sat} \cdot \sinh(K * H / H_k),$$

где B – магнитная индукция, B_{sat} – насыщенная магнитная индукция, K – коэффициент гиперболического синуса, H – напряженность магнитного поля, H_k – коэрцитивная сила материала.

Для расчёта коэффициента гиперболического синуса используется формула:

$$K = (\ln(\frac{B_{sat}}{B_c}) + \ln(\frac{B_{sat}}{B_r})) / 2,$$

где B_c и B_r – критические значения магнитной индукции при изменении направления магнитного поля вдоль осей материала.

2. Метод конечных элементов (FEM). Используется для численного моделирования электромагнитных полей АДДР. Он позволяет учитывать магнитную анизотропию материала ротора и оптимизировать его конструкцию для достижения наилучшей эффективности работы.

Для расчета анизотропии ротора АДДР при помощи метода конечных элементов используются формулы, связывающие магнитную индукцию и напряженность магнитного поля с тензором магнитной проницаемости материала ротора. Одна из таких формул имеет вид:

$$B = \mu * H,$$

где B – магнитная индукция, H – напряженность магнитного поля, μ – тензор магнитной проницаемости материала.

Для анизотропных материалов тензор магнитной проницаемости может быть представлен в виде матрицы, учитывающей различные коэффициенты проницаемости для разных направлений магнитного поля. Эта матрица может быть определена экспериментально или рассчитана теоретически на основе свойств материала.

Для расчета магнитной индукции и напряженности магнитного поля в материале ротора при помощи метода конечных элементов используются уравнения Максвелла, которые связывают электрические и магнитные поля в материале с его токовыми и магнитными свойствами. Решение этих уравнений позволяет определить распределение магнитной индукции и напряженности магнитного поля в материале ротора, а также его анизотропию.

3. Методы магнитной анизотропии (МА). Эти методы используются для измерения и анализа магнитной анизотропии в материалах ротора АДДР. Они позволяют определить направленность магнитных свойств материала и оценить их влияние на работу двигателя.

4. Методы магнитной визуализации (MV). Позволяют визуализировать магнитные поля в материалах ротора АДДР и оценить их распределение и направленность. Они также могут использоваться для оптимизации конструкции ротора и учёта магнитной анизотропии в расчётах [5].

Список литературы:

1. Высоцкий, В. Е. Специальные электромеханические преобразователи для электротехнических комплексов автономных объектов / В. Е. Высоцкий, А. М. Олейников. – Москва : Изд-во «Инновационное машиностроение», 2020. – 335 с. – Текст : непосредственный.
2. Шайтор, Н. М. Динамические режимы асинхронных двигателей в приводах энергетических систем и комплексов / Н. М. Шайтор, А. В. Горпинченко. – Текст: непосредственный // Журнал ИЖГТУ имени М. Т. Калашникова. – 2020. – Том 23. – № 4. – С. 95-101.
3. Олейников, А. М. Теория, технология и режим работы асинхронных двигателей с двухслойным ротором / В. С. Могильников, А. М. Олейников. – Севастополь : Изд-во СевНТУ, 2008. – 350 с. – Текст : непосредственный.
4. Высоцкий, В. Е. Синтез скалярной системы автоматического управления вентильного двигателя с управлением по полю для гребных электрических установок с движительно-рулевым комплексом AZIPOD / В. Е. Высоцкий, И. Ю. Марков, Ю. В. Матвеев. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2021. – Том 64. – № 6. – С. 29-35.
5. Высоцкий, В. Е. Анализ работы асинхронного двигателя с двухслойным ротором в электроприводе насосов / В. Е. Высоцкий, А. М. Олейников, А. А. Нагирняк. – Текст : непосредственный // 16th International Conference «Electromechanics, Electrotechnology, Electromaterials and Components», September 19 – 24, 2016, Alushta, Crimea. – 2016. – P. 94-96.

© Нагирняк А. А., 2023

**РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ РАСЧЕТОВ ВАРИАНТОВ РЕКОНСТРУКЦИЙ
ТРУБОПРОВОДА ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
ПО РЕКОНСТРУКЦИИ ПРОМЛИВНЕВОГО ТРУБОПРОВОДА**

аспирант **Рейхерт Вадим Сергеевич**,
науч. руководитель: доктор техн. наук, профессор
Туренко Сергей Константинович,
Тюменский индустриальный университет,
г. Тюмень, Российская Федерация

Аннотация. Рассматривается модуль расчета вариантов реконструкций для систем промливневого трубопровода в разных отраслях, например, в нефтяной отрасли. Апробация велась на основе городской ливневой системы канализаций. Изложена методика расчета вариантов реконструкции, с использованием методов оптимизации. Практическое применение позволит делать расчеты вариантов реконструкций промливневого трубопровода, тем самым использовать данный модуль в разрабатываемой интеллектуальной системе для поддержки принятия решений при реконструкциях промливневых трубопроводов любой сложности.

Ключевые слова: промливневый трубопровод, интеллектуальная система, гидравлические показатели, варианты реконструкций, расчетный модуль, алгоритмы.

**DEVELOPMENT OF A MODULE FOR CALCULATION OF OPTIONS FOR
PIPELINE RECONSTRUCTION FOR INTELLECTUAL SYSTEM FOR
RECONSTRUCTION OF INDUSTRIAL PIPELINE**

PhD Student **Reikhert Vadim Sergeevich**,
Academic Advisor: Doctor of Technical Sciences, Professor
Turenko Sergey Konstantinovich,
Industrial University of Tyumen,
Tyumen, Russian Federation

Abstract. A module for calculating reconstruction options for industrial stormwater pipeline systems in various industries, for example, in the oil industry, is considered. Approbation was carried out based on the city storm sewer system. A technique for calculating reconstruction options using optimization methods is outlined. Practical application will make it possible to make calculations of options for the reconstruction of industrial storm pipelines, thereby using this module in the developed intellectual system to support decision – making during the reconstruction of industrial storm pipelines of any complexity.

Keywords: industrial stormwater pipeline, intellectual system, hydraulic performance, reconstruction options, calculation module, algorithms.

Локализация проблемного участка трубопровода и его реконструкция не являются наилучшим решением, по причине того, что гидродинамически связанная система промливневого трубопровода при корректировке одной её части повлечет изменения в другой. Из этого следует, что промливневая трубопроводная система будет продолжать функционировать не в полном объеме – возникают новые участки, которые необходимо исправлять. Выходом из данной ситуации является системное решение: построить глобальную модель промливневого трубопровода и отработать на ней множество сценариев реконструкции данной системы. Для решения такой задачи необходимо применить математические методы оптимизации (метод золотого сечения, градиентные методы, генетические алгоритмы и др.). Также при определении оптимальных результатов для системы водоотведения необходимо учитывать срок безаварийной работы системы по такому варианту, поэтому вводится методика, которая базируется на основе современных алгоритмов анализа больших данных и прогнозирования состояния объектов, в том числе на алгоритмах кластерного анализа и распознавания образов.

В рамках данной статьи описывается модуль расчета вариантов реконструкций промливневого трубопровода. Данный модуль будет использоваться в интеллектуальной системе поддержки принятия решений при управлении производственными объектами.

Преыдушие исследования были связаны с определением зон дренирования, то есть площадей, откуда приходят объемы воды и в какой дождеприёмник промливневого трубопровода попадает данный объем, а также расчет гидродинамических показателей промливневого трубопровода для определения проблемных участков. Данный алгоритм уже описан и находится в эксплуатации в проектном институте ЗАО «Институт «Тюменькоммунстрой», в г. Тюмень, специализирующийся на проектировании сооружений, зданий в строительной сфере [1, 2].

Работа по расчетам вариантов реконструкции начинается с определения объёмов расходов воды, которая попадает в дождевые колодцы, для этого идут расчеты гидравлических параметров промливневого трубопровода, для этого решается две подзадачи:

Подзадача № 1: сводится к оценке возможности каждого участка коллектора пропустить через себя расход воды, попадающей в колодцы и из предыдущих участков. Другими словами, сначала определяется максимальная пропускная способность коллектора участка, а затем сравнивается с интегральным расходом воды в начале участка. Если второй меньше первой, то алгоритм программы переходит к подзадаче № 2. Если второй больше первой, то для колодца в начале рассматриваемого участка записывается избыточный расход как разность расхода на входе и расхода при полном заполнении коллектора, а на вход подаётся расход, равный расходу при полном заполнении коллектора, и алгоритм программы переходит к подзадаче № 2, минуя определение степени заполнения участка промливневого трубопровода. Оптимизационный метод, используемый для нахождения локального максимума, является метод «золотого сечения» (рисунок).

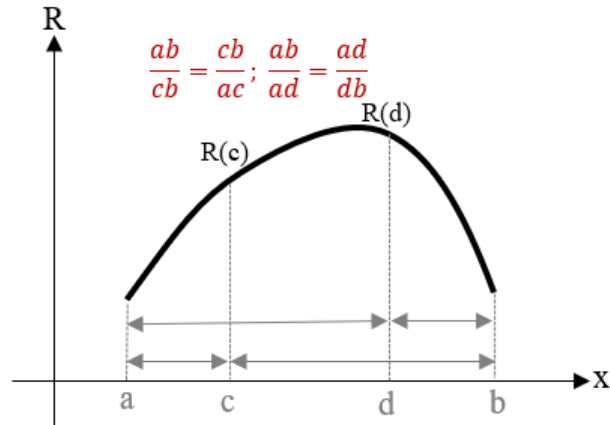


Рисунок. Поиск локального максимума
(поиск максимальной пропускной способности)

Подзадача № 2: сводится к определению скорости потока при заданном расходе воды, уклоне и диаметре коллектора промливневого трубопровода.

Решение первой подзадачи сводится к расчету максимальной пропускной способности и степени заполнения коллектора промливневого трубопровода и определяется путём нахождения локального максимума методом «золотого сечения». Метод «золотого сечения» основан на делении некоторого отрезка $[a, b]$, где содержится искомый экстремум, на две неравные части, подчиняющиеся правилу золотого сечения, при котором отношение длины большего отрезка к длине всего интервала равно отношению длины меньшего отрезка к длине большего. После нахождения максимальной пропускной способности участка проводится её сравнение с расходом воды, попадающей в начало данного участка через колодец и из предыдущего участка:

– Если максимальная пропускная способность больше или равна расходу воды в начале участка, то переходим к решению подзадачи № 2.

– Если максимальная пропускная способность меньше расхода воды в начале участка, то для колодца в начале рассматриваемого участка записывается избыточный расход как разность расхода на входе и расхода при полном заполнении коллектора, а на вход в рассматриваемый участок подаётся расход, равный расходу при полном заполнении коллектора.

Решение второй подзадачи сводится к определению для каждого участка коллектора промливневого трубопровода скорости течения воды при заданном расходе, уклоне и внутреннем диаметре коллектора. Для этого определяется степень заполнения коллектора, если через него будет протекать суммарный расход воды, попадающей в начало рассматриваемого участка через колодец и из предыдущего участка.

Если при решении Подзадачи № 1 было установлено, что пропускная способность коллектора участка меньше подаваемого на его вход расхода, то значение скорости потока в трубе равна скорости потока при полном заполнении коллектора, определённой в Подзадаче № 1.

Если суммарный расход воды, которая попадает в начало рассматриваемого участка с поверхности и предыдущего участка меньше максимальной пропускной способности коллектора, то степень заполнения коллектора для определения скорости определяется через итерационный метод «дихотомии». Следует отметить, что линия зависимости степени заполнения трубы от расхода не монотонна и имеет область, где одному и тому же расходу соответствует две степени заполнения. В связи с этим для некоторых значений расхода будут определяться две вероятных степени заполнения. Однако, разумно предположить, что решение будет находиться в Зоне 1, границу которой определяет точка максимального расхода, определённая в Подзадаче № 1 [3, 4].

После определения расходов с помощью методов оптимизации подбирается локальный максимум, который позволит рассчитать новые параметры промливневого трубопровода, при которых весь объём воды будет уходить с территории. Расчет таких параметров происходит в местах, где обнаруживается проблема «непроходимости» воды, называемыми проблемными участками. Проблемные участки ещё называют дюкером – участок соединения трубопровода, где объёмы воды перестают двигаться самотеком и застаиваются в этом месте, провоцируя переполнение трубопровода и разливы воды на поверхность. Такая проблема возникает по причине появления контруклонов – участков трубопровода, где вода перестает идти самотеком, так как угол положения трубы изменился в противоположную сторону, или по причине недостаточной пропускной способности при увеличении расхода воды, попадаемой в дождеприёмники. Если существуют контруклоны или трубы с пропускной способностью, превышающей максимально допустимую, то есть 3 способа, чтобы их исправить, используя метод «золотого сечения»:

1. Исправление подбором уклонов

Находится такой уклон, который при заданном расходе и диаметре обеспечивает проходимость жидкости по трубам. Данный уклон считается минимальным из возможных, при котором не будет изливов на поверхности [5].

2. Подбор резервуара

Находится такой расход, поступающий в дюкер, при котором напорная линия становится равна поверхности земли хотя бы в одном из узлов дюкера (в остальных узлах при этом ниже уровня земли или равна). Данный расход считается максимально возможным, который может пропускать дюкер. Он вычитается из реального расхода. Разность между расходами умножается на заданное время, и получаем объем резервуара

3. Подбор диаметра

Находится такой диаметр, который при заданном расходе и уклоне обеспечивает совпадение напорной линии с поверхностью земли хотя бы в одном из узлов дюкера (в остальных узлах при этом ниже уровня земли или равна). Данный диаметр считается минимальным из возможных, при котором не будет изливов на поверхности [6].

При выборе одного из способов будет рассчитана новая модель промливневого трубопровода, которая позволит пропускать полностью объёмы воды с территории заводов или других территорий.

Данный модуль позволит построить новую модель системы трубопровода на территории, которая будет использоваться в разрабатываемой интеллектуальной системе поддержки принятия решений при управлении промышленными объектами. Данное ПО будет использоваться в проектных институтах для реализации проекта по реконструкции трубопроводной сети в любой отрасли. На данный момент система с модулем используется в ЗАО «Институт «Тюменькоммунстрой», г. Тюмень.

Список литературы:

1. Туренко, С. К. Разработка алгоритма расчёта зон дренирования дождевых колодцев для интеллектуальной системы поддержки принятия решений при реконструкции систем городского водоотведения / С. К. Туренко, В. С. Рейхерт. – Текст : непосредственный // Современное программирование : Материалы IV Международной научно – практической конференции, Нижневартовск, 08 декабря 2021 года. Под общей редакцией Т. Б. Казиахмедова. – Нижневартовск : Нижневартовский государственный университет, 2022. – С. 275–279.
2. Рейхерт, В. С. Алгоритм по вычислению долей площадей поверхностей водосбора для интеллектуальной системы по реконструкции систем водоотведения / В. С. Рейхерт. – Текст : непосредственный // Инновации. Интеллект. Культура : Материалы V Международной научно – практической конференции, посвященной 435 – летию основания г. Тобольска, году Даниила Чулкова в г. Тобольске, Тобольск, 22 апреля 2022 года. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2022. – С. 176–179.
3. СП 31.13330.2012 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. ООО «РОСЭКОСТРОЙ», ОАО «НИЦ «Строительство». – Москва : Минстрой России, 2015. – 123 с. – Текст : непосредственный.
4. ГОСТ 6942–98. Трубы чугунные канализационные и фасонные части к ним / НИИСантехники. – Москва: Госстрой России, ГУП ЦПП, 1999. – 42 с. – Текст : непосредственный.
5. ГОСТ 6482–2011. Трубы железобетонные безнапорные. ЗАО «ВНИИЖелезобетон». – Москва : Стандартиформ, 2013. – 20 с. – Текст : непосредственный.
6. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и условий выпуска его в водные объекты. – Москва : ФГУП «НИИ ВОДГЕО», 2006. – 60 с. – Текст : непосредственный.

© Рейхерт В. С., 2023

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

студент **Паравян Тимур Маратович**,
канд. биол. наук, ассистент **Потапова Светлана Олеговна**,
Красноярский государственный аграрный университет,
г. Красноярск, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассматривается вопрос о сохранении окружающей природной среды, риски и преимущества децентрализованных энергетических систем. Распределенная генерация энергии может играть важную роль в решении экологических проблем. Рассматривается необходимость сокращения выбросов и снижение потребления исчерпаемого углеводородного топлива. Увеличение спроса на энергию побуждает человечество к расширению применения возобновляемых источников.

Ключевые слова: автономное энергоснабжение, возобновляемые источники энергии, распределенная энергетика, охрана окружающей среды, экономия природных ресурсов.

ENVIRONMENTAL ADVANTAGES OF DECENTRALIZED ENERGY SYSTEMS

Student **Paravian Timur Maratovich**,
PhD in Biology, Assistant **Potapova Svetlana Olegovna**,
Krasnoyarsk State Agrarian University,
Krasnoyarsk, Russian Federation

Abstract. The paper deals with the issue of preserving the natural environment, the risks and benefits of decentralized energy systems. Distributed energy generation can play an important role in solving environmental problems. The need to reduce emissions and reduce the consumption of exhaustible hydrocarbon fuels is being considered. Increasing demand for energy is driving humanity to expand the use of renewable sources.

Keywords: autonomous energy supply, renewable energy sources, distributed energy, environmental protection, saving of natural resources.

Ключевым вопросом современной энергетики является сохранение окружающей природной среды. Именно в этом контексте распределенная генерация энергии может играть важную роль в решении экологических проблем. Необходимость сократить выбросы и снизить потребление исчерпаемого углеводородного топлива (уголь, нефть и газ), а также неумолимое увеличение спроса на энергию побуждает человечество к расширению

применения возобновляемых источников, реконфигурации и модернизации существующих энергосистем.

Так, например, в России в 2021 году распоряжением правительства были продлены и скорректированы основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) до 2035 года. К этому сроку за счёт развития отрасли в России планируется ввести более 12 ГВт мощностей генерации на основе возобновляемых источников энергии. Общий объем господдержки проектов в сфере ВИЭ до 2035 года составит 360 млрд рублей [1, 2].

Уже сейчас есть мнение, что «распределенные энергетические системы (Distributed Energy System, DES) должны сыграть жизненно важную роль в достижении целей по выбросам и удовлетворению растущего глобального спроса на энергию к 2050 году» [3].



Рисунок 1. Децентрализованная энергетическая система

Концепция автономного электроснабжения подразумевает строительство источников электроэнергии в непосредственной близости от потребителей: в промышленной зоне, вблизи населенного пункта или даже внутри здания. И, безусловно, с экологической точки зрения стоит рассматривать преимущества децентрализованных систем (рисунок 1), использующих возобновляемые источники энергии, такие как солнечная и ветровая, использование энергии воды (малая гидроэнергетика), биогаза, отходов различных производств и т. п. Именно такая энергетика даст возможность значительно сократить зависимость от исчерпаемых ископаемых топлив и уменьшить выбросы вредных веществ в атмосферу. При этом все недостатки любых возобновляемых источников энергии, такие как, например, зависимость от погодных условий или увеличение потребления энергии в холодное время года, возможно нивелировать сохранением подключения к общей сети электроснабжения. Концепция также

подразумевает возможную выдачу в сеть избыточной энергии собственным источником с получением выгоды при переизбытке производства. При таком сценарии разрушается еще одна формула энергетической инфраструктуры – энергия больше не будет течь исключительно от производителя к потребителям. Необходимо отметить, что использование местных источников уменьшит или вовсе устранил потери энергии, которые происходят при транспортировке и распределении в системе доставки и именно благодаря совместному производству и использованию произведенной энергии в месте потребления появится возможность повысить эффективность преобразования энергии и тем самым уменьшить общее использование первичного топлива.

Интересен факт, что ведутся разработки и «домашних» ядерных реакторов [4]. Хотя ядерное топливо, необходимое для производства ядерной энергии исчерпаемо, атомная энергия по многим стандартам считается возобновляемой и явно заслуживает рассмотрения в контексте экологических преимуществ распределенной энергетики. Мини АЭС становятся реальностью – с размерами от гаражного бокса до небольшого двухэтажного здания они готовы поставлять от 10 до 100 МВт в течение 10 лет без дозаправки для энергетического обеспечения и отопления отдельных промышленных объектов и жилых районов в некоторых странах. Малые реакторы менее прихотливы к ландшафту, быстрее в постройке, дешевле и безопаснее [4]. Критическим недостатком ядерной энергетики всегда называли серьезные экологические последствия в случае аварии, однако авторы технологии заявляют о надежности небольших модульных реакторов. Не стоит забывать и о том, что несмотря на все техногенные риски, атомные электростанции не менее чем в 7 раз экологичнее, чем, к примеру, ТЭС на твердом топливе [5].

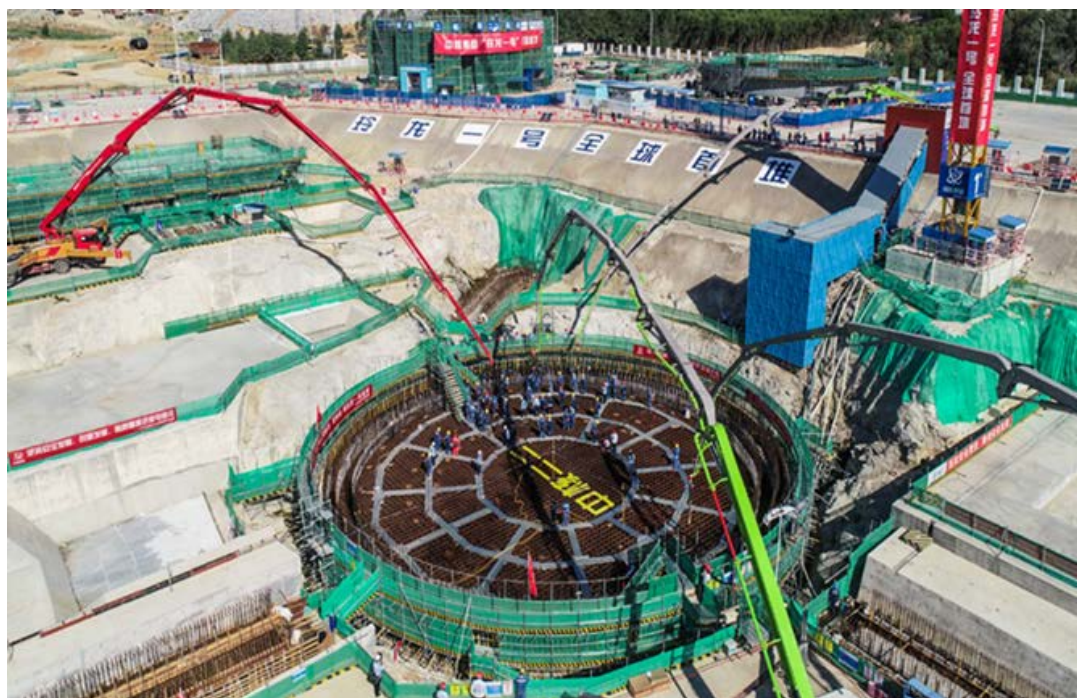


Рисунок 2. Реактор АСР-100 (Лянлун-1) в Китае

Реактор АСР-100 Лянлун-1 (рисунок 2) – один из проектов реакторов малой мощности в Китае – уже получил всю необходимую документацию на работу от международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ). Первая мини-АЭС в мире успешно прошла все процедуры МАГАТЭ, она благополучно строится, сдача в эксплуатацию её планируется в начале 2026 года. Основные компоненты первого контура, включая 57 тепловыделяющих сборок и парогенераторы, находятся внутри корпуса. В АСР-100 также предусмотрены пассивные системы безопасности. Установка предназначена для производства электроэнергии, тепла и промышленного пара, для опреснения морской воды, ее планируется использовать в проектах по добыче высоковязкой нефти и других целях.

Китайцы заявляют, что реализация проекта позволит снизить зависимость провинции Хайнань от использования для выработки электроэнергии ископаемых видов топлива, сократить выбросы углекислого газа [6] и планируют тиражировать данный проект на другие территории. Ведь именно малые габариты позволят доставлять модульные реакторы в отдаленные и труднодоступные районы и относительно быстро начать их эксплуатировать.

Таким образом, в малонаселенных и отдаленных районах, таких как океанические острова, изолированные населенные пункты в горной местности или на Крайнем Севере, где имеются географические препятствия для подключения к основной энергосистеме и традиционные системы энергоснабжения могут быть неэффективными, недоступными или крайне дорогостоящими, распределенная энергетика будет способствовать улучшению качества жизни населения. Более того, распределенная энергетика, прежде всего построенная на базе возобновляемых источников, обеспечит экономические преимущества, такие как уменьшение затрат на транспортировку энергии и снижение цены на энергию для конечных потребителей [3, 7, 8].

Однако, «ничто не дается даром» © Б. Коммонер. Необходимо отметить и некоторые возможные негативные последствия для окружающей среды, такие как необходимость выделения земель для размещения систем распределенной генерации в непосредственной близости к потребителям, что может вызвать проблемы с землепользованием на местах. Технологии генерации энергии, где предполагается сжигание как углеводородов, так и, например, отходов производств, будут оказывать те же негативные воздействия, что и крупные электростанции, работающие от сжигания ископаемого топлива. Воздействия, конечно, будут меньше по масштабам, но ближе к населенным пунктам.

При комбинированном производстве тепла и энергии, а также при генерации с использованием сжигания отходов и биомассы может потребоваться такой ресурс как вода для производства пара или охлаждения [3].

Также нельзя забывать о том, что одной из главных проблем, связанных с использованием возобновляемых источников энергии, является необходимость утилизации отслуживших свой срок агрегатов, таких как солнечные батареи и ветрогенераторы. Эти устройства содержат в себе различные вредные химические вещества, которые могут быть опасными для окружающей среды и здоровья людей, если они не утилизируются правильно. В связи с этим,

необходимо учитывать вопросы утилизации при разработке и внедрении соответствующих систем производства энергии. Важно уделять должное внимание этому вопросу при планировании, проектировании и эксплуатации ВИЭ-объектов, чтобы избежать возможных экологических проблем в будущем.

Список литературы:

1. Журнал Energypolis: [сайт]. – 2023. – URL: <https://energy-polis.ru/bioresurs/5685-cpros-prevysil-predlozhenie.html/> (дата обращения: 04.05.2023). – Текст : электронный.
2. Официальный интернет-портал правовой информации: [сайт]. – 2023. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202106030039/> (дата обращения: 05.05.2023). – Текст : электронный.
3. Отраслевой медиа-ресурс EEnergy.Media: [сайт]. – 2023. – URL: <https://eenergy.media/archives/24626/> (дата обращения: 05.05.2023). – Текст : электронный.
4. Платформа для социальной журналистики Medium: [сайт]. – 2023. – URL: [//medium.com/libertarian-state/](https://medium.com/libertarian-state/) (дата обращения: 04.05.2023). – Текст : электронный.
5. Кононенко, Т. В. Технологические последствия для окружающей среды от эксплуатации атомных электростанций / Т. В. Кононенко, Р. М. Кузьмин, О. Г. Любская. – Текст : электронный // Наукосфера. – 2021. – № 3-1. – С. 26-29. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45681367/> (дата обращения: 04.05.2023).
6. Отраслевое издание госкорпорации «Росатом» Страна Росатом: [сайт]. – 2023. – URL: <https://strana-rosatom.ru/2021/07/16/kitaj-nachal-stroitelstvo-pervogo-v-m/> (дата обращения: 05.05.2023). – Текст : электронный.
7. Любимова, Н. Г. Определение понятия «распределенная энергетика» / Н. Г. Любимова. – Текст : электронный // Вестник университета. – 2014. – № 5. – С. 103-105. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-ponyatiya-raspredelelnaya-energetika/> (дата обращения: 04.05.2023)
8. Канахина, А. Н. Электроснабжение децентрализованных сельскохозяйственных объектов на основе фотоэлектрических модулей / А. Н. Канахина, Н. А. Глазунов, П. Д. Зайцев, М. И. Зорин. – Текст : электронный // Столыпинский вестник. – 2022. – Т. 4. – № 4. – С. 2395-2403. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/elektrosnabzhenie-detsentralizovannyh-selskohozyaystvennyh-obektov-na-osnove-fotoelektricheskikh-moduley/> (дата обращения: 04.05.2023).

© Паравян Т. М., Потапова С. О., 2023

POSITIVE AND NEGATIVE IMPACT OF SOLAR PANELS ON THE ENVIRONMENT

Student **Torgashin Daniil Vladimirovich**,
Academic Advisor: PhD in Pedagogy, Associate Professor
Kapsargina Svetlana Anatolyevna,
Krasnoyarsk State Agrarian University,
Krasnoyarsk, Russian Federation

Abstract. The article presents the types of solar panels, their design and device. The comparison of solar panels on positive and negative impacts on the environment is given. The recycling and disposal of solar panels is shown. The total life cycle emissions associated with coal and photovoltaic energy production are compared.

Keywords: solar panels, environment, impact, disposal, chemicals, emission intensity.

ПОЛОЖИТЕЛЬНОЕ И ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

студент **Торгашин Даниил Владимирович**,
науч. руководитель: канд. пед. наук, доцент
Капсаргина Светлана Анатольевна,
Красноярский государственный аграрный университет,
г. Красноярск, Российская Федерация

Аннотация. В статье представлены виды солнечных панелей, их конструкция и устройство. Приведено сравнение солнечных панелей по положительным и отрицательным воздействиям на окружающую среду. Показана переработка и утилизация солнечных панелей. Сравняются общие выбросы в течение жизненного цикла, связанные с углем и производством фотоэлектрической энергии.

Ключевые слова: солнечные панели, окружающая среда, воздействие, утилизация, химические вещества, интенсивность выбросов.

Relevance: Solar energy is currently developing rapidly, it is considered one of the most environmentally friendly types of energy, but it is not deprived of the disadvantages associated with the disposal of solar panels and their production.

Solar panel device. Types of solar panels

The efficiency of electricity generation by a solar panel is determined by the composition and device of this panel.

To date, the following types of solar panels are used [1]:

1. Silicon-based (c-Si);
2. Based on cadmium telluride (CdTe);
3. Based on the copper-indium (gallium) compound-selenium (Cu(InGa)Se₂);
4. Concentrator panels based on gallium arsenide (GaAs).

Silicon-based solar panels

Silicon is one of the most common materials in the earth's crust. To date, silicon-based solar panels account for about 84% of the total number of panels. This is due to the fact that large technological solutions and infrastructure of the microelectronic industry were used for the production of solar panels, as a result, many microelectronics technologies, such as alloying, silicon buildup, coating, were adapted for the production of silicon-based solar cells with minimal changes and investments.

There are two main types of solar panels:

1. Based on monocrystalline silicon (c-Si);
2. Based on polycrystalline silicon (mc-Si).

For solar panels based on monocrystalline silicon, high-quality silicon is used, which is more expensive to produce, grown according to the Chokhralsky method. This method is a standard way to create silicon wafers-blanks for the production of microcircuits and microprocessors. The efficiency of such solar panels is usually 19-22%. Today, solar panels are being developed with greater efficiency.

As for solar panels based on polycrystalline silicon, cheaper silicon produced by the method of directed crystallization in a crucible (block-cast) is used for their production. The resulting silicon wafers consist of many small multidirectional crystallites that are separated by grain boundaries. Such imperfection in the crystal structure (defect) leads to a decrease in efficiency. Typical values of the efficiency of polycrystalline solar panels range from 14 to 18%. The decrease in the efficiency of these solar panels is compensated by their lower price, so that the price per watt of electricity produced is approximately the same for monocrystalline and polycrystalline panels.

Structurally, such modules consist of the following elements [2]:

1. The base contact is a metal base;
2. The lower filler layer of a silicon semiconductor, with a large number of n-type electrons, due to the addition of phosphorus;
3. The upper layer, with a predominance of p-type electrons, usually doped with boron;
4. Anti-reflective coating to increase radiation absorption;
5. Thin metallized contact with the wire to close the network;
6. Thick protective glass;
7. The framing frame.

Thin-film solar panels

A little bit about the history of such panels. Back in the 1970s, research began on solar cells based on cadmium telluride (CdTe), due to their possible use for spacecraft. The first widespread use was as batteries for pocket calculators. Such panels

are a heterostructure of cadmium telluride layers and cadmium n-sulfide (CDs) layers sprayed on a glass base. The efficiency of such panels is 15-17%.

There are problems associated with cadmium and tellurium. Cadmium is a heavy toxic metal that requires special methods of handling it, accordingly, the issue of product disposal is raised. Such panels are installed by manufacturers for large-scale power plants, with a guarantee of their disposal, the legislation of many countries restricts the free sale of such panels to citizens.

Tellurium is a rare earth material. Currently, a large amount of tellurium is used mainly for solar panels.

There are solar panels based on a compound of copper, indium, (gallium)-selenium (Cu(InGa)Se₂), may be designated as CIGS. Such solar panels are new on the market. They have a disadvantage in the form of a complex and expensive manufacturing process, but their efficiency can reach 20%.

Such solar panels do not have environmentally harmful elements in their composition, but the increase in the production of such panels is limited by the shortage of indium. At the moment, research is underway to replace expensive indium with a cheaper analog.

Solar panels based on amorphous silicon a-Si:H. Thin-film solar panels are also built on the basis of silicon, however, two main techniques are used to improve the ability of silicon to absorb sunlight:

1. increasing the path of photons, using internal re-reflection;
2. The use of amorphous silicon (a-Si), which has a much higher absorption coefficient.

Concentrator Solar panels

They are multilayer structures made of different semiconductors that are sequentially built on top of each other. The most successful structure consists of three layers: the lower layer is Germanium (Ge), the second layer is Gallium Arsenide (GaAs) and the third layer is Gallium-Indium Phosphide (GaInP). Thanks to this combination, each individual layer most effectively absorbs its specific range of the solar spectrum. The most advanced and most expensive, due to the complexity of technical execution, today such solar modules have an efficiency of photovoltaic conversion up to 44%. It is economically justified to use such solar panels in countries where there is a lot of direct solar radiation all year round.

Negative environmental impact of solar panels

The main arguments against solar panels are:

1. Solar panels require more energy than they save;
2. Toxic chemicals are used in the production process.

Let's take a closer look at the arguments against solar panels:

1. The need for energy. The production of solar energy requires a substantial amount of energy. For the production of a solar module, it is necessary to process and purify quartz, as well as perform actions with incoming materials, for example, aluminum and copper. Also, a large amount of heat is needed to heat quartz. To produce highly efficient panels, it is necessary to combine materials with very high precision.

2. Chemicals. As discussed above, heavy materials are used for the production of solar panels, which are dangerous for people and nature.

3. Disposal. So far, the issue of recycling and recycling of solar panels has not been raised, but in the near future there will be a huge number of used panels. Currently, solar panels are disposed of together with other electronic waste. Countries that do not have good e-waste disposal facilities face a big recycling problem.

4. Harm to wildlife. In order to produce a large amount of electrical energy, a large area is needed. This territory may be the habitat of certain animal species, from which there is a problem of their extinction [3].

Chemicals, recycling and disposal of solar panels

Recycling and recycling of solar panels is one of the main problems. Silicon wafers are protected by a layer of ethyl vinyl acetate (EVA). If the solar panels are exposed to certain operating conditions and are not disposed of, some leaching may occur. If the operating conditions are normal, there is no release of materials. All technologies deal with by-products and unintended waste.

Large solar panel recycling plants exist, but there are not many of them. Recycling of electronic waste has become widespread relatively recently. Secondary industries need time to develop around the main industries. There is an additional solution that helps to save on recycling – this is charging solar panel manufacturers or mandatory recycling by the manufacturer.

The development of the solar panel recycling economy will be achieved as more and more solar panels are withdrawn. A simple solution to the problem of toxic and heavy materials that are used in solar panels is to find alternative harmless materials for the production of solar panels.

The impact of solar panel production on the environment

As already mentioned, for the production of solar panels, quartz must be extracted, which is processed into silicon, aluminum, copper and other materials must also be extracted or obtained from recycled sources. Due to the expansion of solar energy over the past 10 years, materials are mostly mined.

After quartz is mined, it is processed into silicon for solar panels. This happens by heating quartz in a high-temperature furnace and its reaction with various chemicals. Many other processes are required to form an aluminum frame and roll durable tempered glass. All of this requires a large amount of energy.

Positive environmental impact of solar panels

Advantages of using solar panels for the environment:

1. After installing solar panels, they produce energy without emissions for the stated 25 years of service, if they have been well used, they can serve longer, but the efficiency will be lower.

2. Solar panels have already become an integral part of many countries. New solar power plants are being built every year, for example, China and India, where the capacity of such stations exceeds 2 GW. Solar panels can be installed on the roofs of houses, this is already practiced in European countries, as well as in Japan, just because of the lack of territory [4]. Individuals whose electricity consumption is lower than

generation can sell the excess to the grid. There is a gradation of the power of solar stations, for example, the power from 10 kW to 50 kW. By selling excess power to the grid, you can reduce the use of coal and, consequently, emissions.

3. The intensity of carbon emissions from solar panels and other fuels.

Emission intensity is the cumulative carbon emissions over the entire service life, calculated per unit of energy. Expressed in grams of CO₂ equivalent per kilowatt hour (gCO₂e/kWh) or equivalent in tons of carbon dioxide equivalent per megawatt hour (tCO₂/MWh) [5].

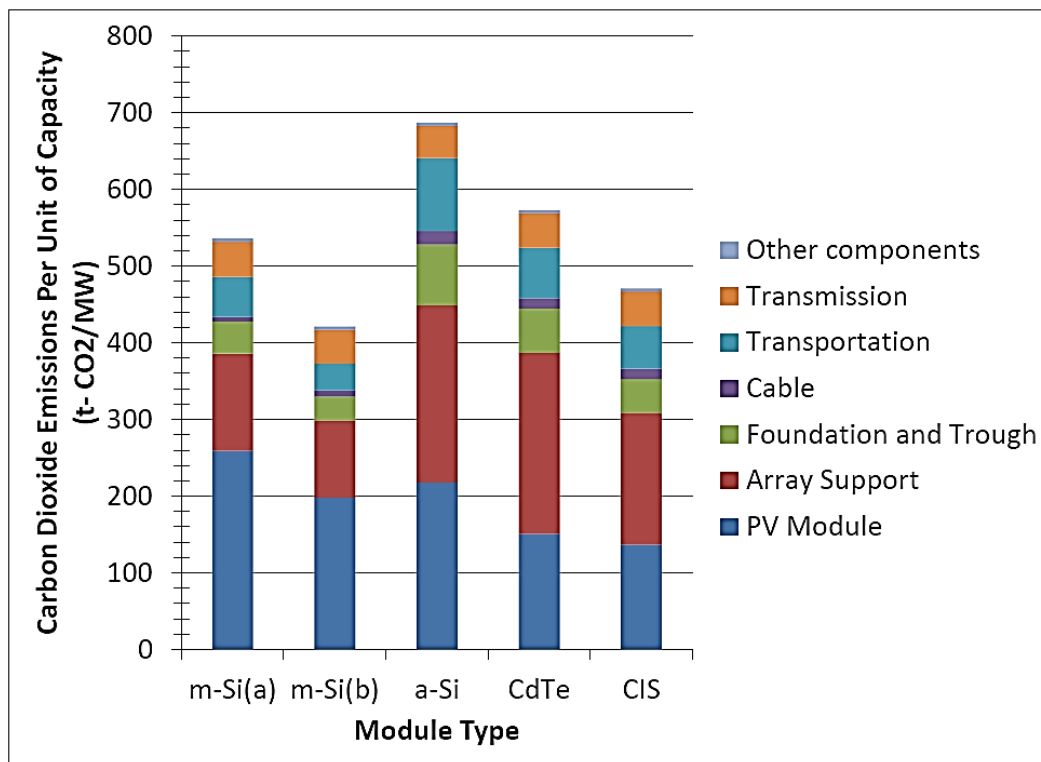


Figure. Lifetime carbon dioxide emissions for large photovoltaic installations

The graph compares modules for solar panels made of monocrystalline silicon (m-Si), high-performance modules of monocrystalline silicon (m-Si), modules based on amorphous silicon (a-Si), modules made of cadmium tellurium (CdTe) and copper-indium selenium and selenium (CIS) [6].

Comparing the total life cycle emissions associated with coal and photovoltaic energy production, we conclude that coal generates about 20 times more carbon dioxide. Coal has 900 g/kWh, and silicon P V has 45 g/kWh.

Conclusion

Solar energy has a positive impact on the environment, has a positive impact on the economy. It has disadvantages in the form of large energy consumption in the process of its production. Heavy materials are used in the production process. Solar panels need to be disposed of, this industry will begin to develop in the near future. The most undeniable advantage over traditional energy sources is a huge reduction in CO₂ emissions into the environment. Even taking into account the stage of production

and processing of solar energy, the generated emissions are 3-20 times less than when producing the same amount of energy from fossil fuels.

Список литературы:

1. Трушин, М. В. Устройство солнечной батареи. Виды солнечных панелей / М. В. Трушин. – URL: <https://www.helios-house.ru/ustrojstvo-sb.html> (дата обращения: 30.04.2023). – Текст : электронный.
2. Из чего делают солнечные батареи: особенности строения различных поколений панелей: [сайт]. – URL: <https://mywatt.ru/poleznaya-informaciya/iz-chego-delaut-solnechnye-batarei-osobennosti-stroeniya-razlichnyh-pokolenij-panelej> (дата обращения: 30.04.2023). – Текст : электронный.
3. Как солнечные электростанции влияют на природу DIGITRODE: [сайт]. – URL: <http://digitrode.ru/articles/1370-vliyanie-solnechnyh-elektrostanciy-na-okruzhayuschuyu%20sredu.html> (дата обращения: 30.04.2023). – Текст : электронный.
4. Киселев, А. А. Необходимость поиска оптимального положения солнечных панелей за счет изменения угла их наклона / А. А. Киселев, М. С. Липатов. – Текст : электронный // Дневник науки. – 2023. – № 1(73). – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50437589> (дата обращения: 22.04.2023). – EDN MZJMTA.
5. Положительное и отрицательное воздействие солнечных панелей на окружающую среду: [сайт]. – URL: <https://itnan.ru/post.php?c=1&p=580864> (дата обращения: 30.04.2023). – Текст : электронный.
6. Оценка жизненного цикла (LCA) кремниевых фотоэлектрических панелей DS: [сайт]. – URL: <https://ru.dsisolar.com/info/life-cycle-assessment-lca-of-silicon-pv-pane-45730075.html> (дата обращения: 30.04.2023). – Текст : электронный.

© Торгашин Д. В., 2023

INVESTIGATION OF RELIABILITY AND VIABILITY OF COMPUTING SYSTEMS

Student **Medvedeva Anna Sergeevna**,
Academic Advisor: Senior Lecturer **Andrusenko Yulia Alekseevna**,
North-Caucasus Federal University,
Stavropol, Russian Federation

Abstract. This article analyzes such abilities of computing systems as reliability and survivability to ensure high performance. The article reveals the concepts of reliability and survivability, their indicators are given, as well as ways to improve the reliability of computing systems.

Keywords: computing system, reliability, survivability, operability, reliability indicators, survivability indicators.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ЖИВУЧЕСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

студент **Медведева Анна Сергеевна**,
науч. руководитель: старший преподаватель
Андрусенко Юлия Алексеевна,
Северо-Кавказский федеральный университет,
г. Ставрополь, Российская Федерация

Аннотация. В данной статье проведен анализ таких способностей вычислительных систем как надежность и живучесть для обеспечения высокой производительности. В статье раскрыты понятия надежности и живучести, приведены их показатели, а также способы повышения надежности вычислительных систем.

Ключевые слова: вычислительная система, надежность, живучесть, работоспособность, показатели надежности, показатели живучести.

Objects of the techno sphere - the basic elements of the economy of civilized states, are considered the result of academic research, and have functions, researched during their use. The most studied and important are such properties of computing systems as reliability and survivability.

Relevance lies in the fact that the algorithm properties of reliability and survivability make it possible to analyze the quality of the computer system, provide an assessment of the ability to solve problems, and ensure maximum efficiency in the operation of computing resources.

The purpose of the study: the study of the concepts of reliability and survivability of computing systems, their indicators, as well as ways to improve reliability.

1. Reliability of computing systems

1.1 Basic concepts of the theory of reliability of computing systems

The reliability of a computing system is the ability of the system to automatically adjust and organize the operation of circuits that, in case of failures and recovery, provide the desired level of performance.

The concept of reliability includes hardware and software that analyzes performance and manages configurations.

The main goal of increasing reliability is the integrity of data stored on a given computing system. The reliability of systems is measured in mean time between failures. According to the theory of reliability, a real computing system has a rather complex structure. Devices and nodes work according to different principles. When studying the operation of systems, well-known methods, reliability theories and queuing theories are used. Based on the theory of reliability, hardware and software have two probable states: operable and inoperable.

The formation of the degree of efficiency presupposes the availability of means capable of comparing its characteristics with the requirements of technical documentation. For this purpose, methods and means of monitoring and diagnosing the functioning of the system are used. The scope and quality of inspections, the level of automation of control operations, the duration and order of their implementation have a great influence on the efficiency and accuracy of its assessment. Methods and means of diagnostic control allow you to determine the level of performance, localize failures, establish their causes, and restore performance.

Failures are caused by external and internal factors. With the development of computing systems, the possibility of failure decreases and the duration of work in good condition increases. To confirm, let's turn to the comparative performance characteristics of different generations of computers (Table).

Table – Comparative performance characteristics of different generations of computers

<i>Generations</i>	<i>Performance</i>
First generation	Tens of minutes
third generation	Over a thousand hours
Fifth generation	Years – decades

Maintenance, monitoring, diagnostics and troubleshooting tools are used to maintain uptime. These include micro program, hardware, hardware-software, software components.

1.2 Indicators of reliability of electronic computing systems

To analyze the quality of computer operation, a system of reliability indicators is used.

Let's highlight a few of them:

- Computer reliability function
- Computer recoverability function
- Computer readiness function

Let's consider them in more detail.

The reliability function characterizes the possibility of providing the required performance. It can be described as follows:

$$R(t) = P\{\forall \tau \in [0, t) \rightarrow \Omega(\tau) = A_n n \omega \mid n \leq x \leq N\}, \quad (1.2.1)$$

where $\Omega(\tau)$ is the performance of the system at time τ .

The recoverability function characterizes the possibility of recovering a failed system. The recovery function can be written as follows:

$$U(t) = 1 - P\{\forall \tau \in [0, t) \rightarrow \Omega(\tau) = 0 \mid 0 \leq x < n\};$$

$$U(t) = 1 - P\{\forall \tau \in [0, t) \rightarrow \xi(\tau) < n \mid 0 \leq x < n\}. \quad (1.2.2)$$

The availability function, like the reliability function, allows you to describe the possibility of ensuring high performance. The ready function is described as follows:

$$S(t) = P\{\Omega(t) = A_n n \omega \mid i \in E_0^N \}. \quad (1.2.3)$$

1.3 Ways to improve reliability

1 Cluster systems

Thanks to cluster systems, you can ensure continuous and trouble-free operation of the system, since damaged cluster elements can be easily changed without resorting to stopping the system.

2. The principle of duplex modules duplication

The duplication principle involves the formation of a combination of two modules, according to the principle of quickly finding a fault.

3. Reservation

Redundancy involves replacing faulty elements with redundant ones, provided that the redundant one is suitable for this equipment.

2. Survivability of computing systems

2.1 Basic concepts

Survivability is considered a more capacious concept than the reliability of a computing system.

Survivability is the ability of a system to programmatically configure and operate such schemes that, in the event of failures and recovery, guarantee performance within the established limits or the possibility of using all serviceable elements.

The main task of survivability is the timely implementation of the established task. Survivability involves full recovery of the system and can be achieved through protection, detection and response along with recovery.

In survivors, when machines fail, the system does not completely fail; in this case, the possibility of functioning on other serviceable systems remains.

Vitality has more threats than reliability. They can be divided into internal and external. Internal threats include: destabilizing factors, failures in systems,

deterioration of system elements, external threats – attacks, accidents, natural phenomena.

2.2. Indicators of potential survivability of computing systems

Computer survivability indicators:

- Function of potential survivability
- Restoring System Busy Function
- Vector functions

Let's consider them in more detail.

The function of potential survivability characterizes the average performance of a computing system and is described by the relation:

$$\mathcal{N}(x, \tau) = \bar{\Omega}(x, \tau)/N\omega, \quad (2.2.1)$$

The occupancy function of the restoring system characterizes the average workload of the computing system and is described as follows:

$$\mathcal{M}(i, t) = m(i, t)/m, \quad (2.2.2)$$

Function vector

$$R(\tau) = \{R_k(\tau)\}, k \in E_n^N, \quad (2.2.3)$$

where the coordinate $R_k(\tau)$ is defined as the probability that the performance of the system that started working in the state x , $k \leq x \leq N$, is not less than the performance k of machines over the entire time interval $[0, \tau)$, $E_n^N = \{n, n + 1, \dots, N\}$. Then:

$$R_k(\tau) = P\{\forall \tau \in [0, \tau) \rightarrow \Omega(\tau) \geq A_k k \omega \mid k \leq x \leq N\};$$

$$R_k(\tau) = P\{\forall \tau \in [0, \tau) \rightarrow \xi(\tau) \geq k \mid k \leq x \leq N\};$$

$$R_k(0) = 1, R_k(+\infty) = 0, k \in E_n^N, \quad (2.2.4)$$

here $\Omega(\tau)$ - the performance of the aircraft and $\xi(\tau)$ - the number of serviceable machines in the system at the time $\tau \in [0, t)$; i is the initial state of the aircraft.

Function vector

$$U(\tau) = \{U_k(\tau)\}, k \in E_n^N, \quad (2.2.5)$$

MTBF vector

$$\theta = \{\theta_k\}, \theta_k = \int_0^{\infty} R_k(\tau) dt \quad (2.2.6)$$

In the mean recovery time vector

$$T = \{T_k\}, T_k = \int_0^{\infty} \tau dU_k(t) \quad (2.2.7)$$

Aircraft readiness vector function

$$S(\tau) = \{S_k(\tau)\}, k \in E_n^N, \quad (2.2.8)$$

Vector-functions of operational reliability and recoverability:

$$R^*(\tau) = \{R_k^*(\tau)\}, U^*(\tau) = \{U_k^*(\tau)\}, k \in E_n^N, \quad (2.2.9)$$

Comparing the concepts of reliability and survivability, we can say that they are determined by a different set of attributes (integrity, performance, etc.). The definition and characterization of these attributes helps to accurately and timely determine the correct meaning of each of these concepts and find the difference between them.

Список литературы:

1. Викторова, В. С. Анализ надежности отказоустойчивых вычислительных систем : учебное пособие / В. С. Викторова, Н. В. Лубков, А. С. Степанянц. – Москва : ИПУ РАН, 2016. – 117 с. – Текст : непосредственный.
2. Надежность и отказоустойчивость МВС ИТ: [сайт]. – URL: <https://intuit.ru/studies/courses/45/45/lecture/1358> (дата обращения: 12.02.2023). – Текст : электронный.
3. Основные параметры и характеристики надежности ЭВМ и систем: [сайт]. – URL: https://studopedia.su/13_104839_osnovnie-parametri-i-harakteristiki-nadezhnosti-evm-i-sistem.html (дата обращения: 12.02.2023). – Текст : электронный.
4. Королев, П. С. Основы надежности вычислительных систем : учебное пособие / П. С. Королев, С. Н. Полесский, В. Э. Цветков и др. – Москва : КНОРУС, 2023. – 182 с. – Текст : непосредственный.
5. Сравнительная характеристика живучести и надежности информационно – вычислительной инфраструктуры [сайт]. – URL: <https://scienceforum.ru/2016/article/2016020904> (дата обращения: 12.02.2023). – Текст : электронный.
6. Хорошевский, В. Г. Архитектура вычислительных систем: Учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. / В. Г. Хорошевский. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 520 с. – Текст : непосредственный.

© Медведева А. С., 2023

МАТЕРИАЛЫ
VI Всероссийской научно-практической конференции
обучающихся и преподавателей
«ЭНЕРГЕТИКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ
В СОВРЕМЕННОМ ОБЩЕСТВЕ»

2023 ● Часть II

Редактор и корректор Е. О. Тарновская
Технический редактор Д. А. Романова

Научное электронное издание сетевого распространения

Системные требования:
электронное устройство с программным обеспечением
для воспроизведения файлов формата PDF

Режим доступа: http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202016, по паролю.
- Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 29.08.2023. Изд. № 5031/23

Высшая школа технологии и энергетики СПб ГУПТД
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4