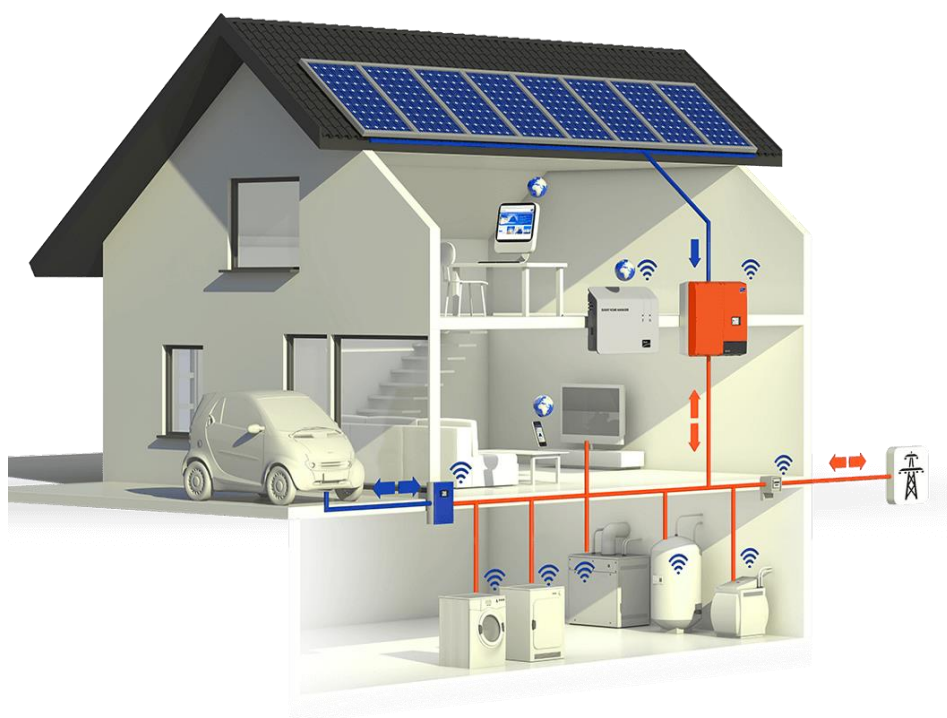


ЭНЕРГЕТИКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ В СОВРЕМЕННОМ ОБЩЕСТВЕ

МАТЕРИАЛЫ

VII Всероссийской научно-практической конференции обучающихся и преподавателей



**Санкт-Петербург
2024**

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

VII Всероссийской научно-практической конференции обучающихся и преподавателей «ЭНЕРГЕТИКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ В СОВРЕМЕННОМ ОБЩЕСТВЕ»

Научное издание
2024

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

Санкт-Петербург
2024

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)

Э 651 Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции обучающихся и преподавателей «Энергетика и автоматизация в современном обществе» / Минобрнауки РФ; ФГБОУ ВО «Санкт-Петерб. гос. ун-т промышленных технологий и дизайна»; сост. М. С. Липатов; под общ. ред. Т. Ю. Коротковой. — СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2024. — 278 с.

ISBN 978-5-91646-346-0.

В настоящем сборнике представлены материалы VII Всероссийской научно-практической конференции обучающихся и преподавателей «Энергетика и автоматизация в современном обществе», состоявшейся 3 мая 2024 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 ответственности 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 978-5-91646-346-0

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2024
© Коллектив авторов, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Кашеев К. О., науч. рук. Кулапина А. В. ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩЕЙ СТАНЦИИ	8
Пундик М. А., Горин А. Н., Толстых А. С. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ КОМПРЕССОРНЫХ АГРЕГАТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЕКТОРА.	15
Афанасьева Н. О. ИССЛЕДОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ НЕФТЕПРОЯВЛЕНИЙ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ КАСПИЯ С ЦЕЛЬЮ ОЦЕНКИ ОБЪЕМА ВЫБРОСОВ УГЛЕВОДОРОДОВ.	20
Кугучева Д. К., Харитонов М. С. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛОВ ВНЕДРЕНИЯ ОБЪЕКТОВ МИКРОГЕНЕРАЦИИ НА БАЗЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ.	26
Моликов П. А., науч. рук. Коротких А. А. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ СМОЛЕНСКОЙ ОБЛАСТИ.	31
Абдулхамидов А. А., науч. рук. Улжаев Э. АНАЛИЗ И ВЫБОР СПОСОБА СТАБИЛИЗАЦИИ ВИДЕОКАМЕРЫ ОТ ВИБРАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА РАСПОЗНАВАНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ ХЛОПКОВОЙ КОРОБОЧКИ.	37
Кесарев Н. Р., науч. рук. Оробинский А. М. ПРИМЕНЕНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПИТАНИЯ МЕХАНИЗМОВ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА РОССИИ.	47
Кирчева А. С., Мамедов И. В., науч. рук. Буинцев В. Н. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕТЕРМИНИРОВАННОЙ СТАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ В ИССЛЕДОВАНИИ И ОБУЧЕНИИ.	52
Мерзлая Д. М., науч. рук. Ершов К. К. СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ ЧАСТОТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ.	61

Шарифжанова Н. М., науч. рук. Якубов М. С., Махаматов Н. Э. АЛГОРИТМ ЛОКАЛЬНОЙ КОНТУРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ МНОГОСТАДИЙНЫХ ПРОЦЕССОВ ФЛОТАЦИИ.	66
Аркадьева О. Г. РАЗВИТИЕ МИКРОГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ: МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ.	78
Тихонов К. А., науч. рук. Артамонова Е. В. АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРАМИ ИЗ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ГИБРИДНЫХ СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.	84
Щегольков М. В., науч. рук. Зинкин С. А. ОБЗОР ОСНОВНЫХ ПОДХОДОВ ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ НА ОСНОВЕ ОБУЧЕНИЯ БЕЗ ЗНАНИЯ МОДЕЛИ.	91
Байрамгулов А. И., науч. рук. Саттаров Р. Р. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЭС НА ТКО.	96
Гладышев Н. Н., Попов Г. С, Долженко О. А. СИСТЕМЫ ВОДО-ВОЗДУШНОГО ОТОПЛЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ.	101
Абдуллина А. Р., Шайдуллин Р. М., науч. рук. Литвиненко Р. С. МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ПОТЕРЬ В СЕТЯХ РЭС.	107
Валюк А. С., Акбулатова А. Д., Алексеев В. В., Аминова К. Р., Патунин В. А., науч. рук. Вассунова Ю. Ю. АКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД В МОНИТОРИНГЕ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПОДСТАНЦИЙ.	112
Живоглазова Ю. В., Капишников А. В., науч. рук. Жуков Е. Б. ТЕХНОЛОГИИ СЖИГАНИЯ КОРОДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА В КОТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ.	119
Кондратенко А. Н. ОЦЕНКА УРОВНЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПЕРСОНАЛА ОБЪЕКТОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ.	124
Багров В. В., науч. рук. Игнатьева Т. Ю. ИНТЕГРАЦИЯ РОБОТОВ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ.	130

Маслов С. Ю., Хамидуллин И. Н., науч. рук. Иванов Д. А. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ОБРАЗЕЦ СТЕНДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ.	135
Должанская К. А., Сгибнева Е. А., Толбаева З. Е., науч. рук. Дронов А. А. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ И РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ.	141
Рахматуллин С. С., науч. рук. Касимов В. А. СОВРЕМЕННОЕ ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЕ НА ЦПС КАК ВАЖНЫЙ ФАКТОР РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЕКТОРА.	148
Мерзлая Д. М., науч. рук. Сафронов А. А. АВТОНОМНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ДЛЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ДУГОВЫХ НАГРУЗОК ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.	155
Федорук С. С., Рыжиков В. А., Ерохина О. А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМБИНИРОВАННОГО ТОПЛИВНОГО БРИКЕТА, СОДЕРЖАЩЕГО ЦЕЛЛЮЛОЗУ И СИНТЕТИЧЕСКИЕ ПОЛИМЕРЫ.	161
Медякова В. С., Шарифулина К. А., Борисова О. В. ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ КОНТРОЛЛЕРОВ В СОВРЕМЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.	167
Мазяркин Д. В., науч. рук. Ершов К. К. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ИНКРЕМЕНТАЛЬНОГО ЭНКОДЕРА.	173
Шулакова Д. А., науч. рук. Баловнев Д. И. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ.	180
Зворыгин С. А., науч. рук. Новикова М. А. ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ БПЛА В НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ. ...	186
Савельев А. Д., науч. рук. Мухаметгалеев Т. Х. РОБОТОТЕХНИКА И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В СПОРТЕ: ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТОВ ДЛЯ ТРЕНИРОВОК И АНАЛИЗА ДВИЖЕНИЙ СПОРТСМЕНОВ.	191

Хамидуллин И. Н., Маслов С. Ю., науч. рук. Иванов Д. А. УЛУЧШЕНИЕ КОРПУСА С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПЕЧАТИ ДЛЯ ДАТЧИКА МОНИТОРИНГА В СИСТЕМЕ МОБИЛЬНОЙ ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДООБРАЗОВАНИЯ.	197
Ермолович В. С., Шпенст В. А. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО СРАВНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ.	201
Романюк А. С., Яхонтова И. М. АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЕДЕНИЯ УЧЕТА НА ЗАВОДЕ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ПОЛИМЕРНОЙ УПАКОВКИ.	207
Злобин В. Г. ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ ТЕРМОЯДЕРНОГО РЕАКТОРА.	213
Новикова М. А., Ремизова И. В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДЫ SIMIN TESH КАК ИНСТРУМЕНТА РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ В СИГНАЛЕ ВИДЕОПОТОКА.	220
Москаленко П. А., науч. рук. Ковалёв Д. А. МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОМПОЗИЦИЕЙ БАССЕЙНА СМЕШАННОЙ МАССЫ НА КОНДОПОЖСКОМ ЦБК.	226
Широнина А. М., Воронин И. П., науч. рук. Ташлыков О. Л. ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА: КЛЮЧ К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ ЧЕРЕЗ ДЕКАРБОНИЗАЦИЮ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.	232
Ковалёв Д. А., Анищенко Л. С. ИССЛЕДОВАНИЯ КАФЕДРЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ ДЛЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.	238
Сидельников В. И., Никешин В. Г. ПРЕДИКТИВНАЯ АНАЛИТИКА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ.	242
Никешин В. Г., Сидельников В. И. ИДЕОЛОГИЯ «УЗКОГО ГОРЛЫШКА» НА ЦЕЛЛЮЛОЗНО- БУМАЖНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ.	247

Пилецкая А. С., Крюков К. А., науч. рук. Лейман В. И. ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ПЛЕНОК И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ	252
Слободенюк Д. Р., Фазылов Р. В., науч. рук. Юренская С. А. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В МИРЕ.	258
Дмитриев Г. В., науч. рук. Хардигов Е. В. МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ КОРРЕКЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ КОТЛОВОЙ ВОДЫ ДЛЯ ПАРОВЫХ КОТЛОВ ГМ-50-14/250 “ЮЖНОЙ ТЭЦ” г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ.	266
Porubay O. V. APPLICATION OF THE SMART GRID CONCEPT IN THE TASKS OF CONTROLLING THE OPERATION MODES OF ELECTRIC POWER SYSTEMS.	274

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩЕЙ СТАНЦИИ

студент **Кашеев Кирилл Олегович**,
науч. руководитель: ассистент **Кулапина Алена Владимировна**,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Статья посвящена исследованию методов повышения энергоэффективности нефтеперекачивающих станций. Основной акцент делается на использовании частотного регулирования скорости вращения двигателей. В работе рассматриваются преимущества данного подхода, такие как точная настройка скорости вращения согласно текущим потребностям процесса, снижение энергопотребления, увеличение срока службы оборудования, автоматизация управления процессом и сокращение негативного воздействия на электрическую сеть.

Ключевые слова: энергоэффективность, частотное регулирование, надежность, оптимизация, энергосбережение.

IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF AN OIL PUMPING STATION

Student **Kashcheev Kirill Olegovich**,
Academic Advisor: Assistant **Kulapina Alyona Vladimirovna**,
St. Petersburg State University of Industrial Technology and Design,
Higher School of Technology and Energy,
St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. The article is devoted to the study of methods for improving the energy efficiency of oil pumping stations. The main emphasis is on the use of frequency control of the rotation speed of the engines. The paper considers the advantages of this approach, such as fine-tuning the rotation speed according to the current needs of the process, reducing energy consumption, increasing the service life of equipment, automating process control and reducing the negative impact on the electrical network.

Keywords: energy efficiency, frequency control, reliability, optimization, energy saving.

В современном мире стремление к оптимизации энергопотребления и повышению энергоэффективности является ключевой задачей в различных отраслях промышленности. В этом контексте особое внимание уделяется нефтеперекачивающим станциям, играющим важную роль в нефтяной

промышленности. Стремительное развитие технологий и постоянные изменения в экономической среде подталкивают компании к поиску инновационных подходов к управлению и совершенствованию производственных процессов на нефтеперекачивающих станциях.

На фоне стремительного роста потребления энергии и повышенной экологической ответственности современных предприятий, изучение и внедрение инновационных подходов к управлению энергопотреблением на нефтеперекачивающих станциях становится необходимостью.

Рассмотрим способ модернизации одной из станций, принадлежащей акционерному обществу «Транснефть» [1]. Одним из основных направлений деятельности компании является эксплуатация морских терминалов и нефтеперекачивающих станций (НПС). Они занимаются приемом, хранением и отгрузкой нефти и нефтепродуктов на танкеры для дальнейшей транспортировки по морю. Компания строго соблюдает все нормы безопасности и экологические требования при обработке и хранении нефтепродуктов.

Основными задачами «Транснефти» являются обеспечение надежности и эффективности работы своих трубопроводов, терминалов и оборудования. Они проводят регулярное обслуживание и модернизацию системы транспортировки, чтобы гарантировать бесперебойную поставку нефтепродуктов и минимизировать риски возникновения аварийных ситуаций.

По типу линейной структуры трубопроводы разделяются на различные категории [2]:

- Магистральные однородные (с постоянным диаметром от главных конструкций до конечных газораспределительных станций) и телескопические (с изменяющимися диаметрами вдоль пути), а также отводы: вторичные, третичные и последующие линии, проходящие параллельно основной.

- Кольцевые, возведенные вокруг крупных городов для обеспечения стабильной поставки газа и нефтепродуктов.

Магистральные трубопроводы – это системы, предназначенные для перевозки нефти, нефтепродуктов, естественных или искусственных газов (в газообразном или сжиженном состоянии) и воды от мест добычи, обработки или приема (начальная точка трубопровода) до точек потребления (конечная точка). В зависимости от того, что именно транспортируется, трубы имеют конкретные наименования, соответствующие их функциональному назначению: газопровод, нефтепровод, конденсатопровод, система водоснабжения и так далее. Начальные и конечные точки трубопроводов обычно расположены вблизи источников продукта и его конечных потребителей.

Нефтепровод – это система для передачи не только сырой нефти, но и ее производных. По своему назначению нефтепроводы подразделяются на 3 основные категории:

- Внутренние (в шахте, на заводах и прочее) – связь различных блоков и оборудования на месторождениях, заводах по переработке нефти и хранилищах нефтепродуктов.

- Локальные (на расстоянии до нескольких десятков километров) соединяют месторождения нефти или заводы по ее переработке с главной станцией магистрального нефтепровода или техническими станциями на железной дороге или судах.

- Магистральные – отличаются значительной протяженностью (до 1 000 км и более), где перекачка нефти (нефтепродуктов) осуществляется непрерывно с помощью одной или нескольких насосных станций, установленных вдоль магистрали и работающих бесперебойно.

Цель каждой насосной станции – добыть нефть из участка трубопровода с низким давлением, увеличить давление с помощью насосов и передать ее в участок трубопровода с высоким давлением. Насосные станции состоят из насосных агрегатов, резервуаров, трубопроводов, систем учета и оборудования для обработки и диагностики, а также систем обеспечения энергии, воды, автоматики и телемеханики [3].

На ЛПДС Тихорецкая, компания АО «Транснефть», установлено 5 нефтеперекачивающих станций. У каждого двигателя есть график технического обслуживания, который разграничивается на важные позиции – диагностика, испытание и обслуживание 4 раза в год; остальные – 2 раза в год. В график технического обслуживания не входят плановые остановки производства, в это время также проводятся технические обслуживания, не передвигая основной график. Объектом модернизации была выбрана НПС-5. На станции используется 4 магистральных насоса, 4 электродвигателя, задвижка, регулирующая расход нефти. Внутренний диаметр магистрали составляет 700 мм, диаметр подводящих к магистральным насосам труб составляет также 700 мм. Максимальное количество одновременно работающих агрегатов 3. Сделано это для того, чтобы в случае повышенной нагрузки, если один из агрегатов выйдет из строя, резервный мог его сразу заменить, не останавливая при этом транспортировку нефтепродуктов. Функциональная схема действующей НПС представлена на рисунке 1.

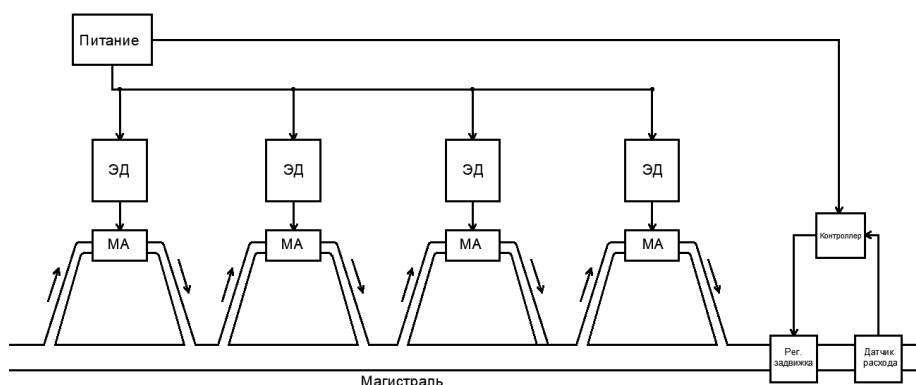


Рисунок 1 – Функциональная схема действующей НПС

Вариантом модернизации является установка асинхронных электрических двигателей вместе с частотными преобразователями и контроллером, для регулировки скорости вращения электрических двигателей для изменения расхода нефтепродуктов, что позволит сэкономить от 30 до 50 % электроэнергии,

что, в свою очередь, положительно скажется на экономической составляющей [4].

Переход на частотное управление позволит сократить энергопотребление НПС, а также позволит нам изменять характеристики насосов, в зависимости от скорости вращения электрического двигателя. Например, на рисунке 2 представлена характеристика насоса с неизменяемой скоростью вращения электрического двигателя, а на рисунке 3 характеристика насоса с изменяемой скоростью вращения электрического двигателя [5]. Из представленных иллюстраций можно сделать вывод, что у нерегулируемого насоса существует лишь единая гидравлическая кривая, связанная с определенной частотой вращения вала двигателя, тогда как у регулируемого насоса имеется множество вариантов кривых. Это означает, что насос способен функционировать в различных зонах действия. Главное преимущество частотного регулирования заключается в его способности автоматически адаптироваться под требования системы, что обеспечивает более гибкую и эффективную работу.

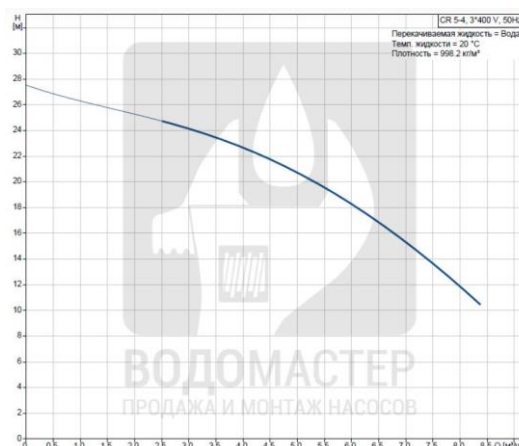


Рисунок 2 – Гидравлическая характеристика нерегулируемого насоса

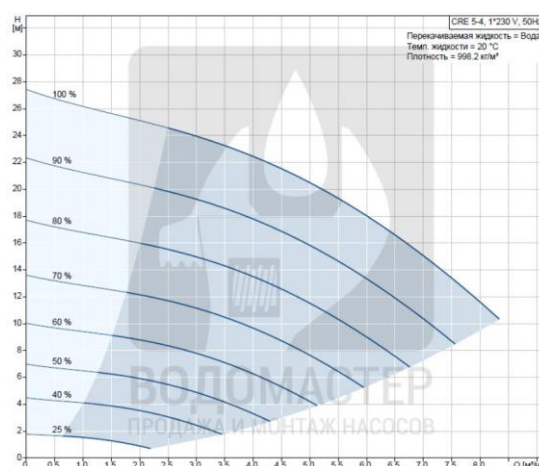


Рисунок 3 – Гидравлические характеристики регулируемого насоса

В наше время частотные преобразователи стали предпочтительным выбором благодаря способности регулировать скорость вращения вала электропривода, что позволяет точно контролировать производительность системы [6]. Этот подход обеспечивает оптимальное использование ресурсов и

эффективное функционирование, особенно в сферах с высокими требованиями к уровню напора.

Современные частотные преобразователи не только регулируют скорость работы насосных систем, но и выполняют ряд защитных функций, таких как предотвращение перегрева двигателей, предотвращение гидроударов и облегчение обслуживания насосных станций. Это делает их незаменимым инструментом для обеспечения надежной и эффективной работы гидросистем различного назначения.

Функциональная схема модернизированной станции представлена на рисунке 4.

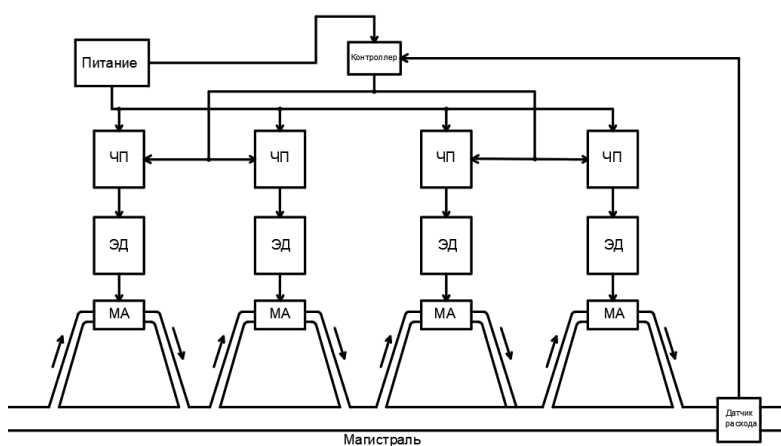


Рисунок 4 – Функциональная упрощенная однолинейная схема модернизированной НПС

Если сравнивать с действующей функциональной схемой, в модернизированной добавлены четыре преобразователя частоты и контроллер, который будет управлять скоростью вращения каждого из двигателей, а также убрана задвижка, которая выполняла функцию регулировки выходного расхода.

Для модернизированной нефтеперекачивающей станции был создан граф состояния объекта, изображенный на рисунке 5.

Принцип работы модернизированной станции будет выглядеть следующим образом:

Оператор задает необходимый расход нефтепродуктов. Это задание поступает на контроллер, который с помощью определенных функций распределяет одинаковую нагрузку на все насосы. Далее по обратной связи в контроллер поступает фактическое значение расхода с датчика расхода. Если фактический расход не соответствует заданному, то контроллер подает необходимые сигналы для изменения скорости вращения двигателями до тех пор, пока заданный расход не будет соответствовать фактическому.

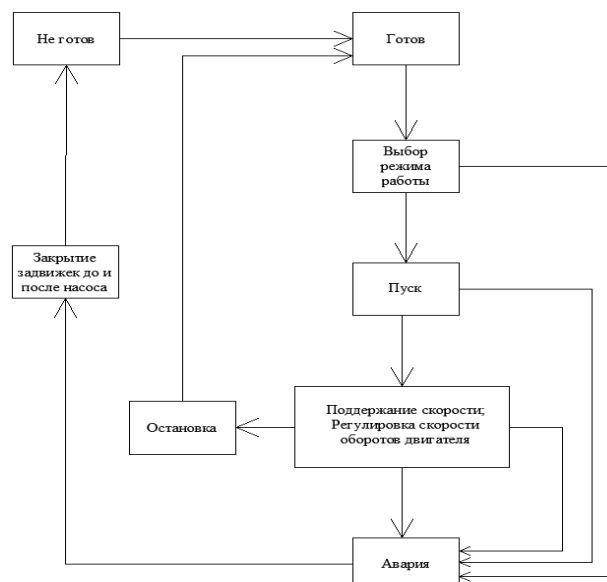


Рисунок 5 – Граф состояния модернизированной НПС

Когда система не обнаружила никакие неисправности, оператор выбирает в каком режиме будет работать система (резервное или рабочее состояние). Если необходимо произвести пуск двигателя, оператор дает команду на запуск двигателя. Начинается плавный пуск двигателя до заданной контроллером скорости и плавное открытие выходной задвижки, во избежание возникновения гидравлического удара. Одновременно с этим снимаются показания давления, чтобы все значения не выходили из допусков. В случае, когда не происходит открытие задвижек (датчики положения), система переходит в аварийное состояние, и система переходит в режим не готов. Сразу после этого вызываются наладчики и проводят меры по устранению проблем. Также на протяжении всей работы двигателя снимаются его температуры с помощью датчиков температуры (масло, подшипники, скорость вращения (сравнение заданной и фактической) и т. д.) Если какой-то из показателей выходит из нормы, система переходит в аварийное состояние.

Далее контроллер управляет скоростью вращения двигателя, в зависимости от необходимого расхода. При отсутствии необходимости использовать двигатель, происходит его плавная остановка, с дальнейшим переходом в состояние готов. Если двигатель не реагирует на увеличение или уменьшение скорости вращения (сравнение заданного и фактического значения), система переходит в режим «авария», с дальнейшим закрытием задвижек.

Поскольку станция работает в бесперебойном режиме, один двигатель всегда должен быть в резервном состоянии, чтобы в случае, когда один из двигателей сломался, контроллер сразу же подал сигнал на включение резервного двигателя. Также необходимо учесть равномерный износ оборудования, чтобы все двигатели имели примерно одинаковую наработку, что, в свою очередь, приведет к продлению срока службы агрегатов.

Использование частотного регулирования скорости вращения двигателей на нефтеперекачивающих станциях представляет собой инновационный и эффективный подход по нескольким аспектам:

- точное регулирование скорости вращения двигателей в соответствии с актуальными потребностями процесса не только снижает энергопотребление, но и минимизирует расходы на электроэнергию, что приводит к экономическим выгодам и сокращению операционных издержек;

- плавный запуск и остановка двигателей с помощью частотного регулирования уменьшают механическое напряжение на оборудование, продлевая его срок службы и уменьшая необходимость в ремонте;

- системы частотного регулирования обеспечивают высокий уровень автоматизации и гибкость в управлении процессом, что оптимизирует производственные операции и упрощает интеграцию с другими системами автоматизации, снижая трудозатраты на управление;

- уменьшение пусковых токов через регулирование скорости вращения двигателей снижает нагрузку на электрическую сеть, повышая энергоэффективность и улучшая использование доступной энергии;

- гладкие пуско-остановочные процессы, обеспечиваемые частотным регулированием, способствуют снижению шума и вибрации оборудования, что повышает комфорт работников и соответствует стандартам по снижению шумового загрязнения.

В итоге использование частотного регулирования скорости вращения двигателей на нефтеперекачивающих станциях представляет собой инновационное и технически обоснованное решение, способствующее повышению эффективности производственного процесса, снижению затрат и обеспечивающее более надежную и безопасную эксплуатацию оборудования.

Список литературы:

1. АО «Транснефть»: [сайт]. – 2024. – URL: <https://chernomor.transneft.ru> (дата обращения: 20.03.2024). – Текст электронный.
2. Магистральные нефтепроводы: [сайт]. – 2019. – URL <https://studfile.net/preview/9115304/page:63/> (дата Обращения: 20.03.2024). – Текст электронный.
3. Ширяев, А. Д. Исследование и предотвращение коррозии трубопроводов в системах теплоснабжения / А. Д. Ширяев // International Journal of Professional Science. – 2023. – № 7. – С. 83-89. – EDN CEOXZA.
3. Особенности частотного регулирования параллельно работающих насосов / А. М. Никитин, А. В. Балыгин, Г. И. Шустова, И. М. Яковлев // Водоснабжение и санитарная техника. – 2014. – № 4. – С. 42-44. – EDN SACDDN.
4. Хомутильников, В. В. Сравнение частотного регулирования и дросселирования центробежных насосов / В. В. Хомутильников // Контенант. – 2020. – Т. 19, № 3. – С. 24-29. – EDN TTUWVO.
5. Преимущества частотного преобразователя: [сайт]. – 2022. – URL: <https://prompoint.ru/blog/preimushchestva-chastotnogo-preobrazovatelya/> (дата обращения: 23.03.2024). – Текст электронный.

© Кащеев К. О., 2024

МЕХАНИЧЕСКИЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ КОМПРЕССОРНЫХ АГРЕГАТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЕКТОРА

канд. тех. наук, доцент **Пундик Михаил Александрович**,
доктор техн. наук, профессор **Горин Александр Николаевич**,
канд. техн. наук, доцент **Толстых Андрей Станиславович**,
Донецкий национальный университет экономики и торговли
им. Михаила Туган-Барановского,
г. Донецк, Российская Федерация

Аннотация. Безотказность компрессорных агрегатов – это свойство системы непрерывно сохранять в течение заданного времени работоспособность или некоторые наработки. Повышение безотказности компрессорно-конденсаторных агрегатов базируется на изучении изменения исходного технического состояния объекта до момента его повреждения, на его раннем этапе развития. С этой целью изучается распределение хода отказов во времени, причины отказов, предупреждение отказов и их дальнейшее последствие.

Ключевые слова: повреждение, компрессора, винтовая пара, подшипник, техническое состояние.

MECHANICAL DAMAGE TO COMPRESSOR UNITS IN THE ENERGY SECTOR

PhD in Technology, Associate Professor **Pundik Mikhail Alexandrovich**,
Doctor in Technology, Professor **Gorin Alexander Nikolaevich**,
PhD in Technology, Associate Professor **Tolstykh Andrey Stanislavovich**,
Donetsk National University of Economics and Trade named after
Mikhail Tugan-Baranovsky,
Donetsk, Russian Federation

Abstract. The reliability of compressor units is a property of the system to continuously maintain its operability or some developments for a given time. Improving the reliability of compressor and condenser units is based on studying changes in the initial technical condition of the object before its damage, at its early stage of development. To this end, the distribution of the course of failures over time, the causes of failures, the prevention of failures and their further consequences are studied.

Keywords: damage, compressor, screw pair, bearing, technical condition.

Энергетический сектор – это отрасль промышленности, состоящая из искусственных и естественных подсистем, которые предназначены для преобразования различных видов энергетических ресурсов. В энергетической

отрасли наиболее важен принцип непрерывности, так как данный сектор обеспечивает функционирование всех отраслей.

Формирование принципа непрерывности базируется на таком понятии, как безотказность и долговечность основных узлов энергетических агрегатов. В винтовом компрессоре преобладает в большей мере механическая энергия, которая в результате работы превращается в тепловую. Интенсивность выработки тепловой энергии зависит от совокупности внешних и внутренних параметров компрессорно-конденсаторного агрегата, в том числе от наличия в них скрытых дефектов, которые могут привести к изменению общих характеристик теплового поля, что дает возможность составить картину о техническом состоянии винтовой пары и подшипника качения, которые находятся вне поля доступа органолептической диагностики.

В исправном состоянии винтовые компрессоры являются полностью уравновешенными, не производят больших вибраций, имеют стабильную температуру и не нуждаются в массивном фундаменте. Основными источниками вибрации механического происхождения являются винты и подшипники компрессора. При диагностировании винтовых компрессоров наиболее информативным является спектральный анализ параметров вибрации, позволяющий определить зарождение повреждений на ранней стадии. Признаки повреждения – повышение температуры и значений вибрационных параметров, повышенное потребление электроэнергии, снижение производительности, изменение характера шума. Эти признаки фиксируются органолептическими или инструментальными методами. Точная постановка диагноза и принятие правильного решения требуют проведения визуального осмотра, выполняемого при неполной или полной разборке механизма. Анализ видов механического износа и расположение повреждений позволяет определить причины и последовательность развития неисправности и последующего отказа.

При неполной разборке проводится осмотр: золотника, подшипников и сальника. Отсутствие повреждений золотника (рис. 1а) позволяет сделать вывод о наличии достаточного зазора между роторами и корпусом. Если начался износ подшипников, сместились оси роторов, на поверхности золотника появляются следы металлического контакта с роторами (рис. 1б). Глубина и ширина изношенной поверхности позволяют локализовать подшипник с наибольшим износом. При проведении ремонта потребуется замена всего комплекта подшипников, однако следует выяснить причины повышенного износа в конкретном месте расположения.

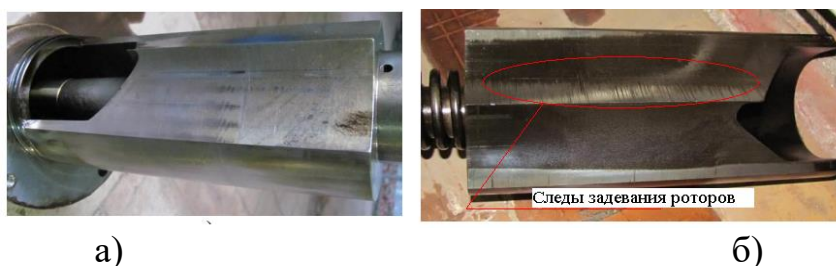


Рисунок 1 – Состояние золотника: без повреждений (а); со следами задевания роторов (б)

Подшипники в этом случае осматриваются только с торцевой поверхности, состояние беговых дорожек оценить невозможно. Визуально можно зафиксировать следующие повреждения: трещину сепаратора с видимой стороны (рис. 2а), повреждения тел качения (рис. 2б). Следует обратить внимание на целостность колец подшипника несмотря на то, что поперечные трещины колец подшипника в данных механизмах встречаются редко.

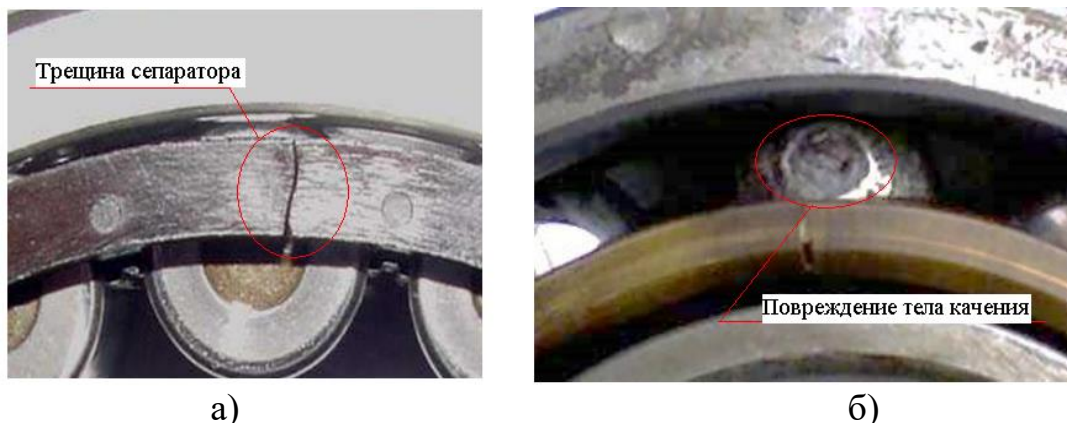


Рисунок 2 – Осмотр подшипника: а) трещина сепаратора; б) повреждение тела качения

Состояние сальника фиксируется по наличию или отсутствию подтеканий масла, увеличению утечки из сальника. При осмотре во время неполной разборки следует обратить внимание на состояние неподвижных и подвижных уплотнений сальника, что косвенно связано с состоянием ведущего вала. Полная разборка позволяет составить полную картину возможных повреждений. Последовательно осматриваются подшипники, винты, корпусные детали и фиксируются замеченные повреждения. Некоторые из возможных повреждений показаны на рисунках 3, 4, 5.



Рисунок 3 – Повреждения подшипников качения: а) износ внутреннего кольца; б) осповидное выкрашивание беговой дорожки внутреннего кольца



Рисунок 4 – Повреждения корпуса: а) износ поверхности задней крышки; б) износ цилиндрической поверхности корпуса

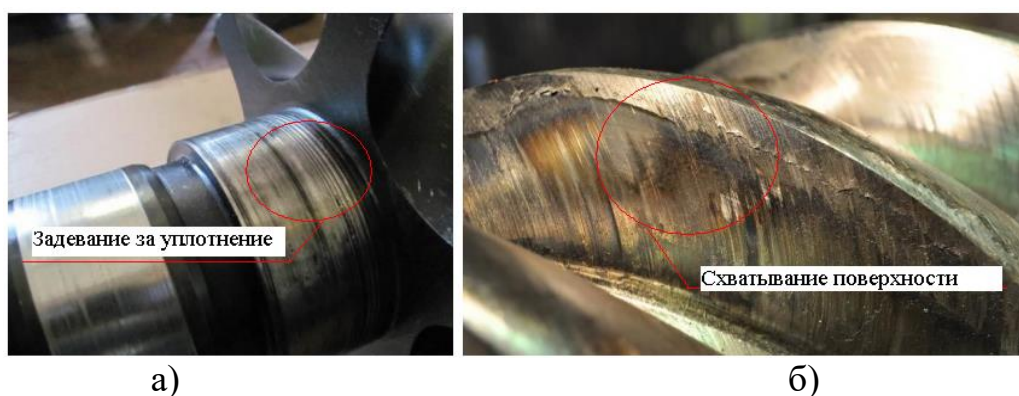


Рисунок 5 – Повреждения винтов: а) задевания за лабиринтное уплотнение; б) схватывание на рабочей поверхности

Анализ результатов осмотра позволяет определить последовательность развития повреждений и причину отказа. В конструкции винтового компрессора сочетаются детали с различной твердостью: наиболее твердыми являются подшипники качения, чуть менее твердыми – винты и относительно мягкий корпус [1]. Конструкция механизма жесткая. Винты вращаются с частотой 2000–6000 об/мин в газо-масляной среде. Зазоры между винтами и корпусом составляют 0,2–0,3 мм [2]. Положение винтов определяется зазорами в подшипниках.

В этих условиях изменение режима смазывания (свойств, расхода смазочного материала, условий отвода смазки, загрязнение смазки и др.) приводит к износу подшипника. Обнаружить эти малые отклонения по диагностическим параметрам вибрации весьма затруднительно. Часто этот период износа проходит постепенно и незаметно. Медленно накапливающиеся повреждения практически невозможно отследить органолептическими методами. Для предупреждения внезапной остановки компрессора рекомендуется с периодичностью 4–10 дней проводить диагностирование состояния по вибрационным, тепловым и токовым параметрам.

Разрушения сепаратора, проворачивание внутреннего кольца подшипника по валу указывают на неравномерное распределение сил между телами качения и повышение момента трения из-за нарушения режима смазывания [3]. Малые зазоры между винтами и корпусом в случае износа подшипника уменьшаются,

смазка перестает быть демпфирующим элементом и происходит металлический контакт винтов с деталями корпуса, сопровождаемый осповидным выкрашиванием поверхности. Это второй период износа – наиболее доступный для обнаружения и благоприятный для проведения ремонта. Наступление этого периода износа связано с резкими изменениями в диагностических параметрах: меняются температурные параметры, меняются значения виброускорения в частотном диапазоне 2–5 кГц, снижается производительность компрессора, меняется характер шума механизма [4].

Список литературы:

1. Влияние смазочного композиционного материала с наночастицами дисульфида вольфрама на трение в подшипниках качения [Электронный ресурс] / А. Д. Бреки [и др.] // Известия ТулГУ. Технические науки. – Электрон. дан. – 2015. – № 11-1 – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-smazochного-kompozitsionного-materiala-s-nanochastitsami-disulfida-volframa-na-trenie-v-podshipnikah-kacheniya>. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 10.03.2024.
2. Котлов, А. А. Влияние параметров окна всасывания на интегральные характеристики винтового компрессора [Электронный ресурс] / А. А. Котлов, Ю. Л. Кузнецов // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. – Электрон. дан. – 2018. – Т. 24, № 2. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-parametrov-okna-vsasyvaniya-na-integralnye-harakteristiki-vintovogo-kompressora>. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 17.03.2024.
3. Исследование причин разрушения сепараторов однорядных радиальных подшипников качения [Электронный ресурс] / Л. В. Морозова, В. Б. Григоренко, Д. В. Конышев, А. И. Власов // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. – Электрон. дан. – 2019. – № 10 (82). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-prichin-razrusheniya-separatorov-odnoryadnyh-radialnyh-podshipnikov-kacheniya>. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 18.03.2024.
4. Гаспаров, Э. С. Определение рациональных частот вращения роторов с целью минимизации их радиальных биений [Электронный ресурс] / Э. С. Гаспаров, В. И. Петрунин // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – Электрон. дан. – 2018. – № 1 (57). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-ratsionalnyh-chastot-vrascheniya-rotorov-s-tselyu-minimizatsii-ih-radialnyh-bieniy>. – Загл. с экрана. – Дата обращения 19.03.2024.

© Пундик М. А., Горин А. Н., Толстых А. С., 2024

ИССЛЕДОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ НЕФТЕПРОЯВЛЕНИЙ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ КАСПИЯ С ЦЕЛЬЮ ОЦЕНКИ ОБЪЕМА ВЫБРОСОВ УГЛЕВОДОРОДОВ

преподаватель **Афанасьева Надежда Олеговна**,
Российский государственный геологоразведочный университет
им. Серго Орджоникидзе,
Москва, Российская Федерация

Аннотация. Целью данной работы является подсчет объема естественных нефтепроявлений и приведенный расчет времени на их деструкцию в Каспийском море. Объектом исследования является территориальный комплекс Каспийского моря с источниками естественного нефтепроявления. В работе были использованы теоретические разработки отечественных и зарубежных авторов по оценке рисков нефтезагрязнений, геоинформационным системам, геоинформационному картографированию, моделированию, геоэкологии.

Ключевые слова: Каспийское море, естественные нефтепроявления, математическое моделирование.

STUDY OF NATURAL OIL SHOWS IN THE SOUTHERN PART OF THE CASPIAN SEA TO ASSESS THE VOLUME OF HYDROCARBONS EMISSIONS

Lector **Afanasyeva Nadezhda Olegovna**,
Russian State Geological Prospecting University
named after Sergo Ordzhonikidze,
Moscow, Russian Federation

Abstract. The purpose of this work is to calculate the volume of natural oil shows and the given calculation of the time for their destruction in the Caspian Sea. The object of study is the territorial complex of the Caspian Sea with sources of natural oil showing. The theoretical developments of domestic and foreign authors on oil pollution risk assessment, geoinformation systems, geoinformation mapping, modeling, geoecology were used in the work.

Keywords: Caspian Sea, natural oil shows, mathematical modeling.

Естественные выбросы для Каспия вполне уместны. Из-за особенностей рельефа дна моря, а именно его богатства тектонических разломов. Вследствие их присутствия мы и наблюдаем естественное нефтепроявление.

Нефтепроявления у м. Сефидруд в Южном Каспии (рис.1) известны с начала 1990-х гг., с запуском в космос первых космических радиолокационных спутников [1, 4].

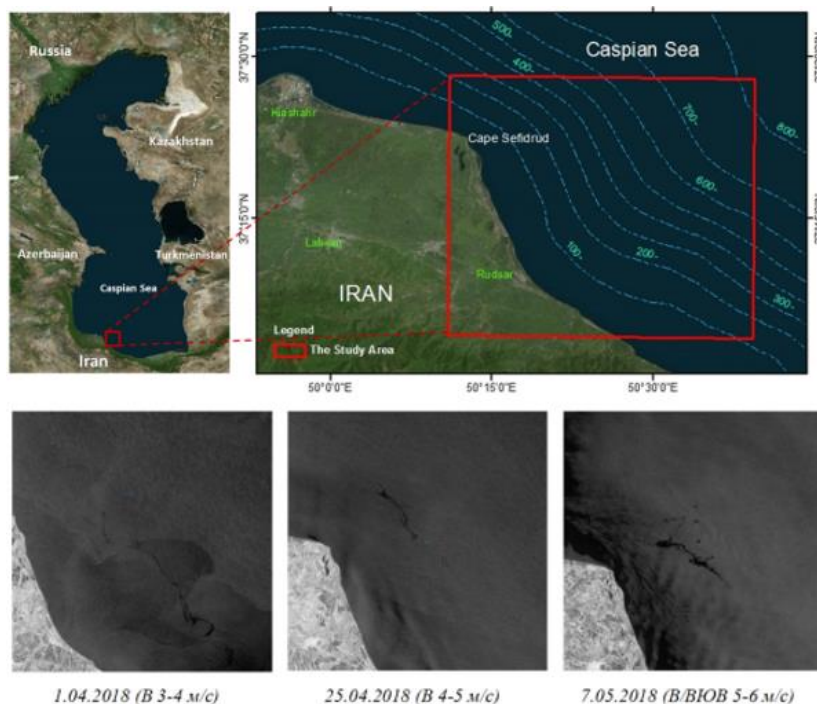


Рисунок 1 – Район исследования в Южном Каспии и его спутниковые снимки, 2018 г. (масштаб 1:11 км)

Для работы взяты снимки спутников Sentinel-1A и Sentinel-1B, полученные в 2018 г. [3].

Остановимся на том, каким образом могут быть получены оценки объемов выбросов углеводородов. Для определения объемов по данным космической радиолокации применяется подход, в котором площадь пятен измеряется с радиолокационных изображений (РЛИ), а толщина пленки оценивается из общих физических соображений, связывающих визуальный цвет пленок (в оптическом диапазоне) с их толщинами.

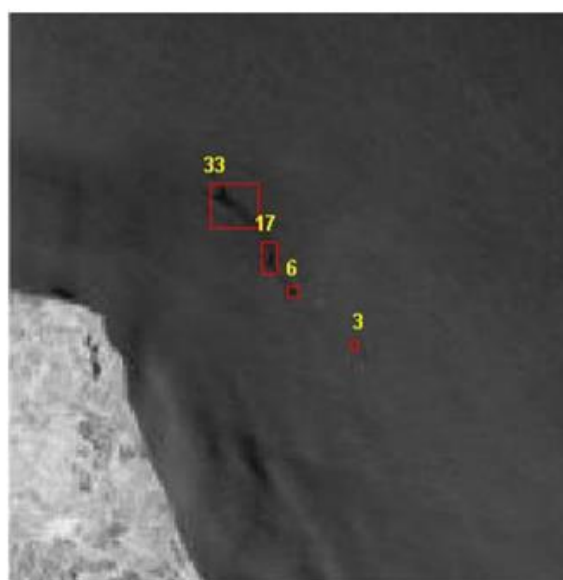
Чтобы найти площадь поверхности пятна, вычислим криволинейные интегралы вида:

$$\int_a^b f(x)dx \approx h \cdot \sum_{i=1}^n f(x_{i-1} + \frac{h}{2}).$$

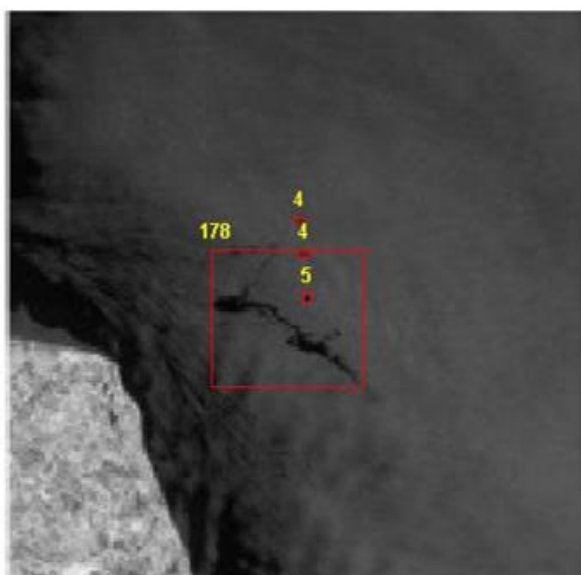
Таким образом работаем со снимками средствами Scilab. Находим площадь поверхности каждого пятна в пикселях [2]:



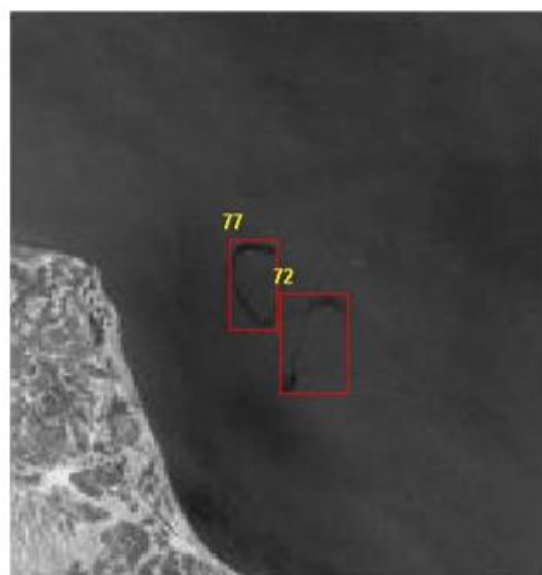
а



б



в



г

Рисунок 2 – Оцифрованные снимки с единицами площади (измерения в пикселях): а) 1.04.2018 (В 3-4 м/с); б) 25.04.2018 (В 4-5 м/с); в) 7.05.2018 (В/ВЮВ 5-6 м/с); г) 19.05.2018 (В 3-4 м/с)

Таким образом, зная масштаб 1:11 км, мы получаем следующие площади и объемы (табл.1):

Таблица 1 – Данные нефтяных выделений по периодам после оцифровки

t	S, км ²	h, км	V, км ³
01.апр	3806	$0,04 \cdot 10^{-9}$	$1,52 \cdot 10^{-7}$
25.апр	649	$0,05 \cdot 10^{-9}$	$3,25 \cdot 10^{-8}$
07.май	2101	0,00000015	0,000315
19.май	1639	$0,06 \cdot 10^{-9}$	$9,83 \cdot 10^{-8}$

18.июн	2607	0,0000002	0,000521
24.июн	1562	0,0000001	0,000156
25.июн	3520	0,00000014	0,000493
12.июл	528	0,00000011	$5,81 \cdot 10^{-5}$
31.июл	4367	0,00000013	0,000568

Вычислив объем и площадь пятен, построим прогноз – за какое время пятно будет самоликвидировано. Продолжим исследование распространения нефтяного пятна с использованием математической модели.

Рассмотрим задачу, описываемую уравнением диффузии, с учетом скорости течения и деструкции нефти.

$$\frac{\partial Q(x,t)}{\partial t} = a_2 \frac{\partial^2 Q(x,t)}{\partial x^2} + a_1 \frac{\partial Q(x,t)}{\partial x} + a_0 Q(x,t),$$

где $Q(x,t)$ – концентрация загрязнения, a_2 – коэффициент диффузии, a_1 – компонента скорости, a_0 – коэффициент деструкции.

Граничные и начальные условия будут иметь вид:

$$\frac{\partial Q(1,t)}{\partial x} = 0, \quad Q(0,t) = 0.$$

Итоговые результаты исследования представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты исследования

t	$Q, \text{г/см}^3$	$Q_n, \text{г/см}^3$
01.апр	0,0137	0,0037
25.апр	0,01292	0,00292
07.май	0,02836	0,01836
19.май	0,01885	0,00885
18.июн	0,04692	0,03692
24.июн	0,0414	0,0314
25.июн	0,04435	0,03435
12.июл	0,05227	0,04227
31.июл	0,05109	0,04109
август	0,04109	0,03109
сентябрь	0,03109	0,02109
октябрь	0,02109	0,01109
декабрь	0,01109	0,00109

Делаем выводы: 1 апреля 2018 года зафиксирован предполагаемый первый выброс нефти, его концентрация составила $Q = 0,0137$, тогда после самоликвидации концентрация $Q_n = 0,0037$. Так происходило до 31 июля.

С августа концентрация углеводородов в воде начала снижаться. Таким образом, на протяжении четырех месяцев мы наблюдаем только

самоликвидацию углеводородов. И к декабрю концентрация будет близка к нулю, рассмотрим на рисунках 3 и 4, то есть $Q \rightarrow 0$.

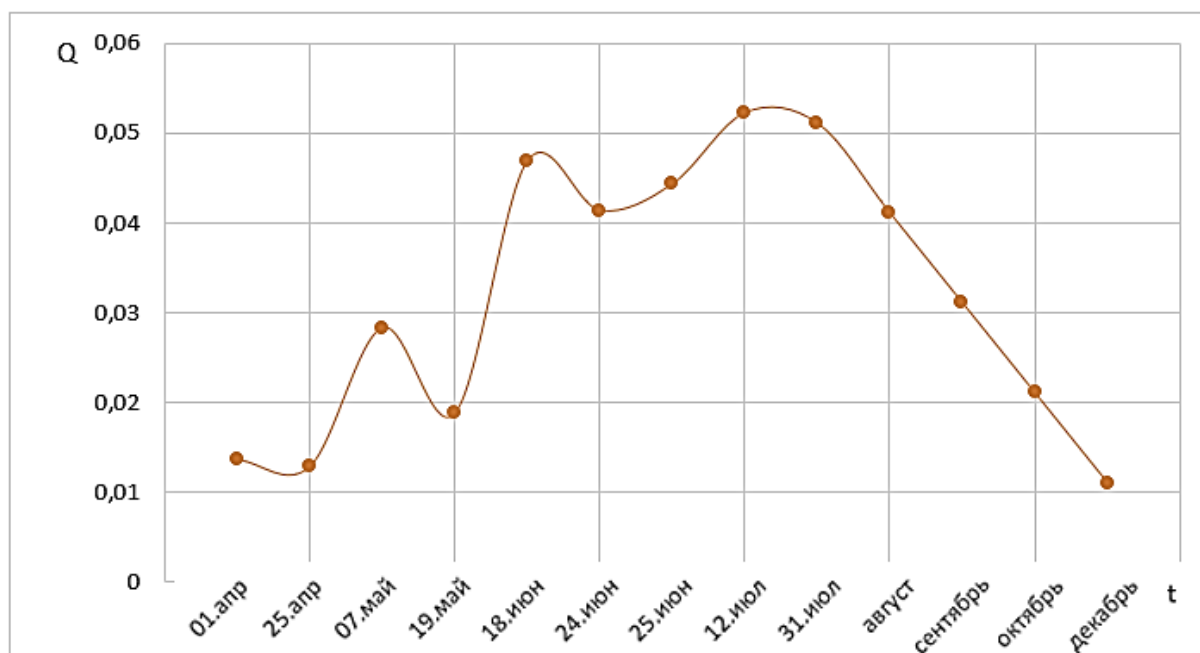


Рисунок 3 – Зависимость концентрации нефти от времени

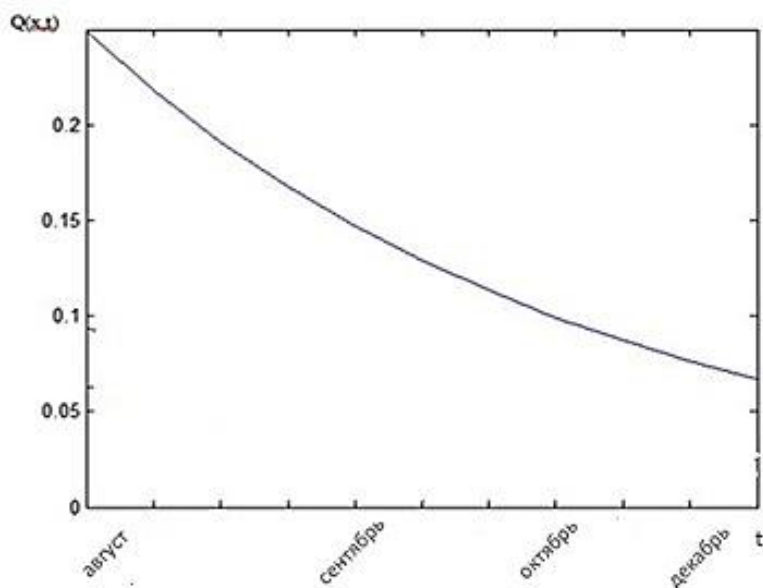


Рисунок 4 – Зависимость концентрации нефти от времени

Список литературы:

1. Иванов А. Ю. Стики и пленочные образования на космических радиолокационных изображениях//Исследование Земли из космоса. – 2007. – № 3. – С. 73-96.
2. Афанасьева Н. О., Морочко А. Ф., Афанасьев А. О. Оценка скорости деструкции нефтяного пятна на водной поверхности для некоторых деструктивных факторов на математической модели // Международный научный

журнал Вестник науки. – 2022. – № 1 (46), Том 4. – С. 201-204. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.вестник-науки.рф/article/5195> (дата обращения: 27.02.2022).

3. ВАОАС-2016 (Bonn Agreement Oil Appearance Code) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.bonnagreement.org/publications> (дата обращения: 15.01.2019).

4. Лаврова О. Ю., Митягина М. И., Костяной А. Г. Спутниковые методы выявления и мониторинга зон экологического риска морских акваторий. – М.: ИКИ РАН, 2016.

© Афанасьева Н. О., 2024

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛОВ ВНЕДРЕНИЯ ОБЪЕКТОВ
МИКРОГЕНЕРАЦИИ НА БАЗЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ
СЕТИ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

аспирант **Кугучева Дарья Константиновна**,
канд. техн. наук, доцент кафедры энергетики **Харитонов Максим Сергеевич**,
Калининградский государственный технический университет,
г. Калининград, Российская Федерация

Аннотация. Определены сущность и понятие «Объект микрогенерации». Разработан метод расчета критерия количественной характеристики электрической сети для определения пределов внедрения объектов микрогенерации на базе фотоэлектрических преобразователей в отдельные фидера низковольтной сети по условию соблюдения следующих показателей качества электроэнергии: допустимые значения положительного и отрицательного отклонений напряжения, несимметрия напряжений.

Ключевые слова: микрогенерация, возобновляемые источники энергии, качество электроэнергии, несимметрия напряжений, отклонение напряжения, распределительные электрические сети.

**METHOD FOR DETERMINING THE LIMITS FOR IMPLEMENTATION
OF MICROGENERATION FACILITIES BASED ON PHOTOVOLTAIC
CONVERTERS IN LOW-VOLTAGE ELECTRICAL DISTRIBUTION
NETWORKS**

Graduate Student **Kugucheva Darya Konstantinovna**,
PhD in Technology, Associate Professor of the Department of Energy
Kharitonov Maxim Sergeevich,
Kaliningrad State Technical University,
Kaliningrad, Russian Federation

Abstract. The concept of “Microgeneration” is defined. A method has been developed for calculating the criterion for the quantitative characteristics of the electrical network to determine the limits for the implementation of microgeneration facilities in individual feeders of the low-voltage network, subject to the following indicators of power quality: permissible values of positive and negative voltage deviations, voltage asymmetry.

Keywords: microgeneration, renewable energy sources, power quality, voltage unbalance, voltage deviation, electrical distribution networks.

Благодаря принятому в Российской Федерации Федеральному закону № 471-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об электроэнергетике»

в части развития микрогенерации» и ПП РФ от 2 марта 2021 г. № 299 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации в части определения особенностей правового регулирования отношений по функционированию объектов микрогенерации» функционирует механизм сальдирования (продажи) излишков выработанной электроэнергии от объектов микрогенерации в пределах 15 кВт. Особенности функционирования объектов микрогенерации являются:

1) технологическое присоединение осуществляется к объектам электросетевого хозяйства с уровнем напряжения до 1000 В;

2) объем выдачи электроэнергии в сеть должен быть не более величины максимальной присоединенной мощности энергопринимающих устройств указанного потребителя и не более 15 кВт;

3) используется в целях удовлетворения собственных бытовых и (или) производственных нужд в электроэнергии, а также в целях продажи;

4) не функционирует с электрическим оборудованием, предназначенным для обслуживания более одного помещения в здании (многоквартирный дом).

Согласно Распоряжению Правительства РФ от 28 декабря 2021 г. № 3924-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации топливно-энергетического комплекса» при реализации проекта «Активный потребитель» к 2030 году планируется внедрение более 1 ГВт установленной мощности объектов микрогенерации. Внедрение подобного числа объектов микрогенерации может привести к ухудшению показателей качества электроэнергии, связанных с несимметрией напряжений и отклонением напряжения [1].

Вследствие существенного количества однофазных потребителей, подключенных к распределительным сетям низкого напряжения, вероятно, что при внедрении объектов микрогенерации их присоединение к сетям будет осуществляться однофазно.

Согласно выражению (1) [2], при превышении количества вырабатываемой объектом микрогенерации электроэнергии над потребляемой нагрузкой электроэнергией возникает обратный поток мощности, оказывающий влияние на напряжение в сети. Вследствие этого напряжение повышается, что при определенном количестве объектов микрогенерации может привести к превышению напряжения сверхдопустимых пределов, установленных ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» пределов. На фазах без объектов микрогенерации вследствие падения напряжения напряжение в узлах сети может быть ниже установленных ГОСТ 32144-2013 пределов. Данные параметры работы сети с подключенными однофазно потребителями и объектами микрогенерации могут привести к возникновению несимметрии напряжений, что приведет к увеличению потерь мощности [3, 4], повышению тепловой нагрузки и снижению уровня надежности электроснабжения [5].

$$U_H = U_c + \frac{RP+XQ}{U_c}, \quad (1)$$

где U_c – значение напряжения в точке подключения к сети; U_H – значение напряжения в нагрузочном узле; R, X – активное и индуктивное сопротивление линии; P, Q – протекающая в сети активная и реактивная мощность.

Одним из наиболее востребованных генерирующих источников для объектов микрогенерации являются фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) по причине простоты установки и обслуживания, отсутствия шума и вибраций, компактности и возможности интеграции в архитектуру строения [2]. Таким образом, актуальной является задача определения пределов внедрения объектов микрогенерации на базе ФЭП по критерию соблюдения следующих показателей качества электроэнергии: допустимые значения положительного и отрицательного отклонений напряжения, несимметрия напряжений.

Согласно предлагаемому методу, в нагрузочных узлах анализируемого фидера проводят замеры потребляемой активной мощности бытовыми потребителями, коэффициента мощности, напряжения каждой фазы с помощью анализатора качества электроэнергии; определяются параметры линий электропередачи с помощью данных служб эксплуатации распределительных сетей.

Для рассматриваемого фидера определяется верхнее уставочное значение приведенного средневзвешенного сопротивления сети, соответствующего числу подключенных объектов микрогенерации, при котором параметры напряжения соответствуют $U_{n(A,B,C)} \geq 1,1U_{(ном)}$. Данное значение определяется с учетом данных по ЛЭП и нагрузочным узлам (выражение (2)).

$$R_{п.св} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{генi} \cos \varphi_{генi} R_i}{\sum_{i=1}^n \sqrt{S_{потри} \cos \varphi_{потри} R_i}}, \quad (2)$$

где $S_{генi}$ – мощность i -го генерирующего источника, R_i – сопротивление сети от i -того узла до ТП, $S_{потри}$ – потребляемая мощность в i -ом узле, $\cos \varphi_{генi}$ – коэффициент мощности генерирующего источника, $\cos \varphi_{потри}$ – коэффициент мощности потребителя.

Для этого производится предварительный анализ сети в специализированных программных комплексах для моделирования режимов работы электрических сетей (например, Rastrwin или аналогичных) для двух режимов работы анализируемого фидера.

При наименьшем допустимом по критерию уровня напряжения количестве объектов микрогенерации в сети, соответствующем варианту их размещения на удаленных концах каждого фидера. В общем случае для одного фидера при наименее благоприятных расчетных условиях (минимум нагрузки и максимум генерации) справедливо следующее утверждение. Пусть P_i – мощность i -го генерирующего объекта, U_i – напряжение на i -м узле сети. Если узлы пронумерованы в порядке удаления от центра питания, то наименьшая

допустимая мощность объектов микрогенерации на уровне одного фидера может быть найдена согласно выражению (3), пока выполняется неравенство (4).

$$P_{\text{ген}}^{\min} = P_n + P_{n-1} + \dots, \quad (3)$$

$$V_n \leq 1,1 * V_{\text{ном}} \quad (4)$$

где n – индекс самого удаленного от ТП узла в сети.

При наибольшем допустимом количестве объектов микрогенерации, соответствующем их размещению в начале фидера вблизи центра питания согласно выражению (5) при условии соблюдения неравенства (4):

$$P_{\text{ген}}^{\max} = P_1 + P_2 + \dots, \quad (5)$$

Для каждого из режимов определяется приведенное средневзвешенное сопротивление сети (2), выбирается минимальное и принимается в качестве верхнего уставочного значения.

Если суммарная мощность объектов микрогенерации для некоторого фидера не превышает значение $P_{\text{ген}}^{\min}$, то при любом варианте их размещения уровень напряжения в узлах сети не превысит допустимого значения. Расчет ведется только для коэффициентов несимметрии. Если суммарная мощность объектов микрогенерации превышает значение $P_{\text{ген}}^{\max}$, то нормальная работа сети невозможна без дополнительных технических мер по минимизации воздействия генерирующих объектов на уровень напряжения. Если установленная мощность объектов микрогенерации лежит в диапазоне $[P_{\text{ген}}^{\min}; P_{\text{ген}}^{\max}]$, производится расчет приведенного средневзвешенного сопротивления сети в соответствии с выражением (2). При отклонении значения приведенного средневзвешенного сопротивления сети свыше его верхнего уставочного значения, необходимо исключить объект микрогенерации из любого узла и провести проверку заново для числа узлов $n-1$. При удовлетворении результатов осуществляется расчет коэффициентов несимметрии по обратной K_{2U} и нулевой K_{0U} последовательностям [6]. Если рассчитанные значения K_{2U} , K_{0U} отвечают предельно допустимым значениям в соответствии с ГОСТ 32144-2013, то для рассматриваемого участка низковольтной сети (отдельного фидера) определены пределы внедрения объектов микрогенерации.

Таким образом, разработанный метод является эффективным инструментом для планирования и оптимизации работы распределительных сетей низкого напряжения с учетом интеграции микрогенерации, способствуя повышению надежности и эффективности работы энергосистемы в целом.

Список литературы:

1. Samar Fatima, Verner Püvi, Matti Lehtonen (2020). Review on the PV Hosting Capacity in Distribution Networks, Energies, MDPI, vol. 13(18), pp. 1-34.
2. Харитонов, М. С. Исследование влияния объектов микрогенерации на уровень напряжения в электрических сетях низкого напряжения / М. С. Харитонов, Д. К.

Кугучева // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2024. – № 1 (82). – С. 34-43.

3. Вендин, С. В. Оценка эффективности мероприятий по снижению несимметрии и несинусоидальности в распределительных сетях 0,4-10 кВ / С. В. Вендин, С. В. Килин, С. В. Соловьев // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2018. – № 2(18). – С. 3-19.

4. Наумов, И. В. Снижение несимметрии загрузки фаз и сокращение потерь электрической энергии в сетях 0,4 КВ ОГУЭП «ОБЛКОММУНЭНЕРГО» и ОАО «ИЭСК» / И. В. Наумов, Э. С. Федоринова, М. А. Якупова // Научно-исследовательская деятельность аспирантов в решении приоритетных задач развития агропромышленного комплекса : Материалы научно-практической конференции, посвященной 70-летию аспирантуры Иркутского ГАУ, п. Молодежный, 6 декабря 2023 года. – п. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А. А. Ежевского, 2023. – С. 163-167.

5. Наумов, И. В. Устройство для управления несимметричными режимами в компонентах низковольтных систем электроснабжения / И. В. Наумов, Э. С. Федоринова, М. А. Якупова // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2023. – Т. 16, № 2. – С. 175-186.

6. Мальгин, В. Л. Качество электроэнергии. Повышение наблюдаемости, мониторинг / В. Л. Мальгин // Электроэнергия. Передача и распределение: сборник научно-технических статей сотрудников Группы компаний «Россети». – 2018. – Выпуск II. – С. 290-304.

© Кугучева Д. К., Харитонов М. С., 2024

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ СМОЛЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

студент **Моликов Павел Андреевич**,
науч. руководитель: ст. преподаватель **Коротких Анна Анатольевна**,
Национальный исследовательский университет Московский
энергетический институт
г. Смоленск, Российская Федерация

Аннотация. В работе произведен анализ развития энергетического комплекса Смоленской области, рассмотрены причинно-следственные связи возникновения аварийных ситуаций в данной области. Проанализирована структура теплового баланса электрических станций и ее влияние на энергоемкость всей системы. Выполнен анализ распределения выработки электрической энергии между сетевыми организациями области.

Ключевые слова: энергопотребление, тепловой баланс, энергоэффективность, потребители, подстанция, электрические сети, мощность, модернизация.

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE ELECTRIC POWER INDUSTRY IN THE SMOLENSK REGION

Student **Molikov Pavel Andreevich**,
Academic Advisor: Senior Lector **Korotkikh Anna Anatolyevna**,
National Research University Moscow Energy Institute
Smolensk, Russian Federation

Abstract. The work analyzes the development of the energy complex of the Smolensk region, and examines the cause-and-effect relationships of emergency situations in this area. The structure of the heat balance of power plants and its influence on the energy intensity of the entire system is analyzed. An analysis of the distribution of electrical energy generation between network organizations in the region was carried out.

Keywords: energy consumption, heat balance, energy efficiency, consumers, substation, electrical networks, power, modernization.

Смоленская область характеризуется присутствием на ее территории больших производственных мощностей, а также развитой транспортной инфраструктурой. В экономике региона большую роль играет производство и реализация энергетических ресурсов в составе электроэнергетики, тепловой энергии, природного газа и воды.

На территории области находятся четыре электрические станции, их суммарная выработка составляет 3995 МВт. Причем, энергосистема области

является избыточной для данного региона и 80 % электроэнергии поставляются за ее пределы. Структура теплового баланса представлена на рисунке 1.

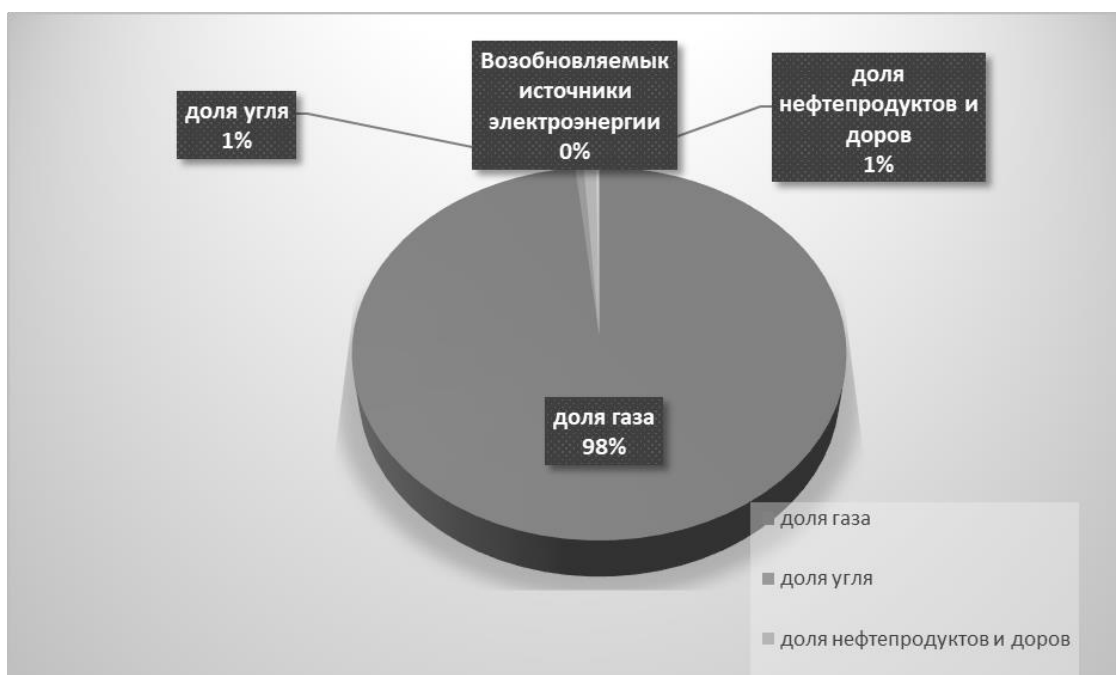


Рисунок 1 – Структура теплового баланса электростанций и котельных

Для эффективного развития региона необходимо создать максимум условий, обеспечивающих одну из главных задач развития, – энергоэффективность производства. Что подразумевает под собой и контроль не только расхода, но и передачи энергии.

Наглядно выработка и расход электрической энергии на территории региона показаны на диаграмме (рис. 2).



Рисунок 2 – Расходы топлива на выработку электрической энергии

К расходам также стоит отнести потери электроэнергии в распределительных сетях. Они составляют 13,7 % от общего объема передаваемой по сетям электроэнергии.

Смоленский регион имеет разветвленную и очень развитую энергетическую систему, обеспечивающую не только своих потребителей, но и соседние регионы. Энергосистема представлена 15 сетевыми организациями. Основная – филиал ПАО «МРСК Центра» – «Смоленскэнерго», она обслуживает 26 районов Смоленской области с крупными населенными пунктами [2].

Линии электропередач должны иметь большой запас статической устойчивости, соответственно, они представляют собой различные варианты, соответствующие протяженности:

- в одноцепном исчислении – 42 тысячи километров;
- в том числе системообразующих – три тысячи километров с напряжением 110 кВ.

- количество мобильных модульных подстанций различного вида с напряжением 110 кВ составляет по территории области порядка 252 штук, суммарной мощностью порядка 3 тыс. мегавольтамперов.

Распределение кабельных линий по классам напряжения и их протяженность представлены на рисунке 3.

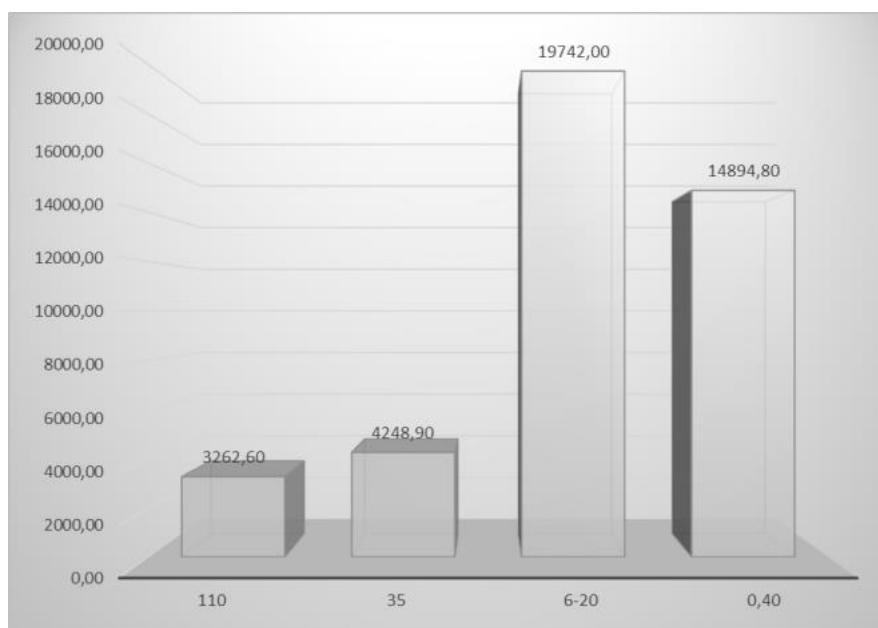


Рисунок 3 – Протяженность воздушных кабельных линий электропередачи (в одноцепном исчислении), км

На балансе ПАО «МРСК Центра» – «Смоленскэнерго» находится большое количество подстанций разной мощности. Распределение подстанций, исходя из класса напряжения, представлены на рисунке 4.

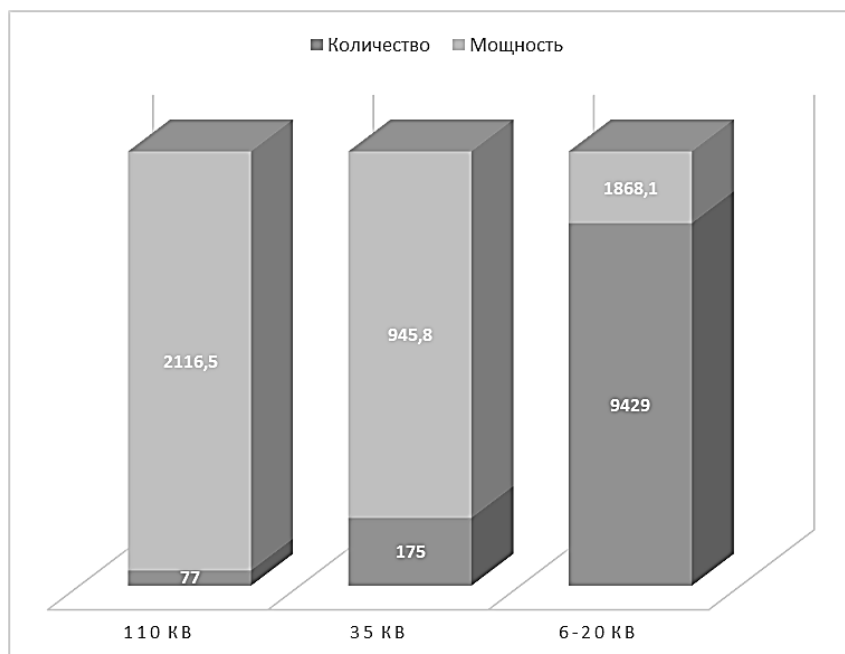


Рисунок 4 – Количество и установленная мощность трансформаторных подстанций ПАО «МРСК Центра» – «Смоленскэнерго»

В Смоленской области находятся не только тепловые электрические станции (ТЭЦ), но и атомная электростанция (САЭС). Распределение выпуска электрической энергии в зависимости от источника представлены на диаграмме (рис. 5).

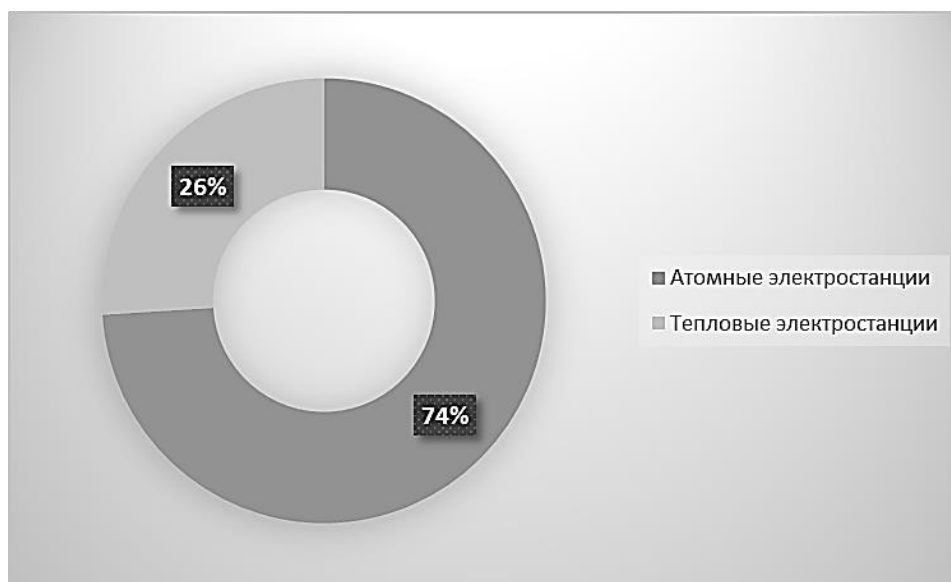


Рисунок 5 – Структура установленной мощности по типам электростанций

Энергетическая система Смоленской области представлена 4 производствами: одной атомной электростанцией, двумя тепловыми электростанциями и одной гидроэлектростанцией. Общая вырабатываемая ими энергия составляет почти четыре тысячи МВт. Основная доля выработки приходится на САЭС – это около 3000 МВт, остальное электричество распределено между ТЭС – почти тысяча МВт.

Несмотря на большую выработку и продажу электроэнергии, электрические сети системы находятся не очень в хорошем состоянии, их износ составляет до 80 %. Можно проследить периоды ввода электрических сетей по области в эксплуатацию:

- 1957 – 1999 гг.,
- основной ввод проходил в период с 1960 по 1980 годы.

Возраст линий электропередач к трансформаторам составляет в среднем 40 лет [3].

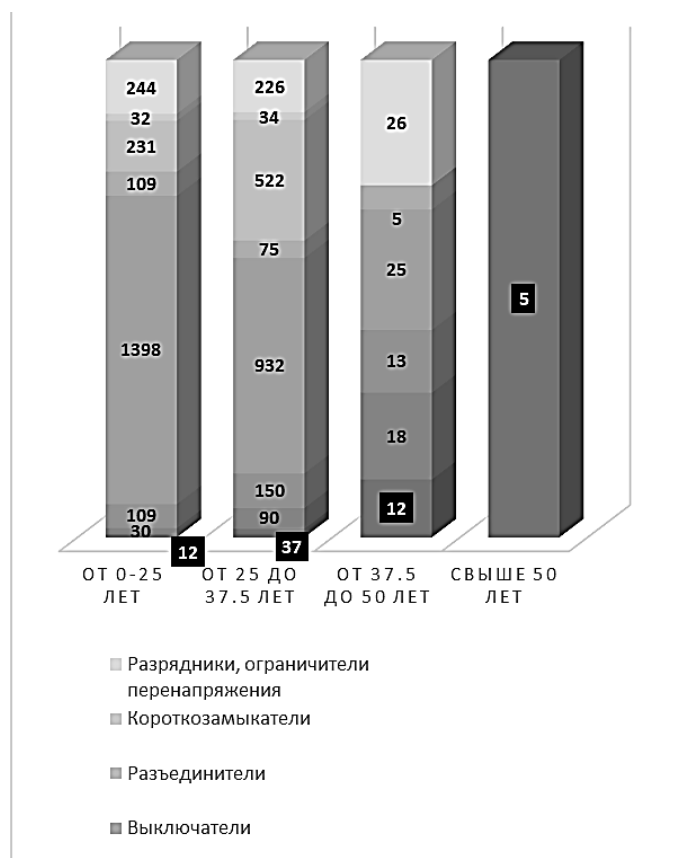


Рисунок 6 – Возрастной состав основного электросетевого оборудования

Как видим, основные сети были введены в эксплуатацию давно, а за период с 2017-го по 2023 год потребление электричества по Смоленской области увеличилось и составило в 2023 году 6662 миллиона киловатт-часов, что соответствует приросту в среднем за год на 1,03 %.

Согласно программе развития энергоэффективности региона в 2028 году планируется повышение потребления электрической энергии в свете развития промышленных производств на уровне 6100 миллиона киловатт часов, что составит около 1,25 %.

Данный прирост прогнозируется с учетом дальнейшего развития промышленности и социально-экономического развития региона.

Планируемый прирост предполагается обеспечить за счет модернизации генерирующего оборудования в объеме 41 МВт, что позволит добиться бесперебойного электроснабжения в условиях возрастающих нагрузок.

Проблемы с износом электросетей всегда ведут за собой ограничения по присоединению дополнительных потребителей, но их ремонт и восстановление позволяют снять эти ограничения [4].

Администрацией области разрабатываются и реализовываются планы по развитию энергосистемы в части повышения мощности электростанций в свете проводимых модернизационных мероприятий. Данные мероприятия позволят обеспечить бесперебойное снабжение потребителей, как бытовых, так и промышленных, электроэнергией.

Список литературы:

1. Об утверждении требований к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Методические указания по устойчивости энергосистем» (Приказ Минэнерго Российской Федерации от 03.08.2018 № 630). – М.: Минюст РФ, 2018. – 25 с
2. Схема и программа развития Единой энергетической системы России на 2022–2028 годы: утверждены Приказом М-ва энергетики Российской Федерации от 28 февраля 2022 г. № 146 «Об утверждении схемы и программы развития Единой энергетической системы России на 2022–2028 годы». – Текст: электронный. – URL: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения: 28.02.2024).
3. Водяников, В. Т. Экономическая оценка энергетики АПК: учеб. пособие для студентов ВУЗов / В. Т. Водяников. – М.: ИКФ «ЭКМОС», 2002. – 384 с.
4. Головин, Ар. А. Оценка перспектив диверсификации поставок электроэнергии гарантирующего поставщика АО «АтомЭнергоСбыт» / Ар. А. Головин, Е. Н. Половкова // Актуальные вопросы налогообложения, налогового администрирования и экономической безопасности: сб. ст. III Всероссийской научно-практической конференции. – Том 2. – Курск: ЮЗГУ, 2019. – С. 132-137.
5. Администрация Смоленской области. Постановление от 29 ноября 2013 года № 982 Об утверждении областной государственной программы «Энергоэффективность и развитие энергетики в Смоленской области» (с изменениями на 28 декабря 2023 года) / Администрация Смоленской области [Электронный ресурс] // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/> (дата обращения: 11.04.2024).

© Моликов П. А., 2024

АНАЛИЗ И ВЫБОР СПОСОБА СТАБИЛИЗАЦИИ ВИДЕОКАМЕРЫ ОТ ВИБРАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА РАСПОЗНАВАНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ ХЛОПКОВОЙ КОРОБОЧКИ

докторант **Абдулхамидов Азизжон Абдуллаугли**,
науч. руководитель: доктор техн. наук, профессор **Улжаев Эркин**,
Ташкентский государственный технический университет
имени Ислама Каримова,
г. Ташкент, Республика Узбекистан

Аннотация. В данной статье рассматривается проблема вибрации, влияющей на качество видеоизображения видеокамеры, установленной на хлопкоуборочной машине для распознавания и классификации хлопковой коробочки. Обсуждаются различные методы и технологии, направленные на уменьшение воздействия вибрации на видеокамеру, включая использование гибких антивибрационных креплений и механизмов компенсации. Приводятся практические примеры и результаты исследований, показывающие эффективность различных подходов к стабилизации видеоизображения. Предлагается применение гибких антивибрационных креплений и механизмов компенсации. Применение такой системы позволит улучшить качество получаемого изображения и повысить точность распознавания и классификации хлопковой коробочки.

Ключевые слова: виброзащита, системы стабилизации, видеокамеры, хлопкоуборочная машина, качество изображения, распознавания и классификации хлопковой коробочки, степень раскрытия хлопковой коробочки.

ANALYSIS AND SELECTION OF A METHOD FOR STABILIZING A VIDEO CAMERA FROM VIBRATION TO IMPROVE THE QUALITY OF COTTON BOX RECOGNITION AND CLASSIFICATION

Doctoral Student **Abdulkhamidov Azizjon Abdullaugli**,
Academic Advisor: Doctor in Technology, Professor **Ulzhaev Erkin**,
Tashkent State Technical University named after Islam Karimov,
Tashkent, Republic of Uzbekistan

Abstract. This article discusses the problem of vibration affecting the quality of the video image of a video camera installed on a cotton picker for recognizing and classifying a cotton boll. Various methods and technologies are discussed to reduce the effects of vibration on a video camera, including the use of flexible anti-vibration mounts and compensation mechanisms. Practical examples and research results are provided showing the effectiveness of various approaches to video image stabilization. The use of flexible anti-vibration mounts and compensation mechanisms is proposed.

The use of such a system will improve the quality of the resulting image and increase the accuracy of cotton boll recognition and classification.

Keywords: vibration protection, stabilization systems, video cameras, cotton picker, image quality, recognition and classification of a cotton boll, degree of opening of a cotton boll.

Введение

Хлопкоуборочные машины являются неотъемлемой частью механизации процесса сбора хлопка-сырца. В связи с развитием технологий в последние годы все больше внимания уделяется автоматизации процесса сбора урожая хлопка [1], в том числе использованию видеокамер для распознавания и классификации хлопкового сырья по степени его раскрытия [2-4]. Однако одним из основных препятствий для достижения высокого качества изображения и, следовательно, точности распознавания является вибрация, возникающая при работе хлопкоуборочных машин.

Вибрация на хлопкоуборочных машинах возникает из-за различных факторов, таких как неровность грунта, на котором работает машина, работа двигателя и механизмов машины. Вибрация приводит к размытию изображения, искажению цветов и потере четкости. Это, в свою очередь, снижает точность распознавания и классификации хлопковой коробочки и приводит к ошибкам в классификации.

В данной статье предлагается решение проблемы в виде системы стабилизации видеокамеры, которая позволит повысить качество изображения и улучшить процесс распознавания и классификации хлопковой коробочки на хлопкоуборочных машинах.

Цель такой системы заключается в минимизации воздействия вибрации на видеокамеру, тем самым обеспечивая стабильное и качественное изображение.

Методология

В данной статье представлен обзор существующих систем стабилизации камер и их применения в сельскохозяйственной технике. Также рассмотрены различные методы определения уровня вибрации и способы корректировки положения камеры с использованием электромагнитных приводов.

В статье [5], посвященной разработке методики электронной стабилизации изображения в видеокамерах, авторы предлагают новый метод контроля частотно-контрастной характеристики камеры, основанный на измерении перепадов яркости с использованием преобразования Фурье. В статье также приводятся расчеты предельных угловых скоростей и ускорений, при которых обеспечивается приемлемое качество изображения. Важной частью исследования являются полученные зависимости между угловыми ускорениями и качеством изображения. Эти зависимости можно использовать для компенсации произвольных движений рук оператора при съемке серийными видеокамерами или цифровыми фотоаппаратами.

Предлагается метод измерений и анализа частотно-контрастной характеристики объективов.

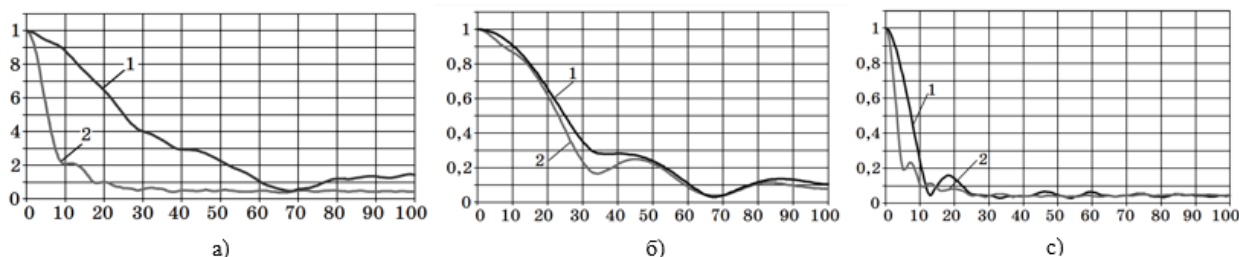


Рисунок 1 – Частотно контрастной характеристики: а – при равномерном движении; б – в момент рывка; в – в момент наибольшей угловой скорости и ускорения: 1 – со стабилизацией; 2 – без стабилизации

В статье [6], посвященной применению корреляционного метода в идентификации электромеханической системы стабилизации видеокамеры, приводится экспериментальное подтверждение корреляционного метода на примере исследования электромеханической системы стабилизации, а также предлагают имитационную модель данного устройства на основе полученных ими результатов. Также отмечается, что использование полученной информации и скорректированной имитационной модели позволяет разработать ряд мер для исключения нежелательных резонансных явлений и оптимизации скорости работы системы стабилизации. Подчеркивается необходимость учета квадратурных слагаемых помимо линейных для более глубокого анализа системы.

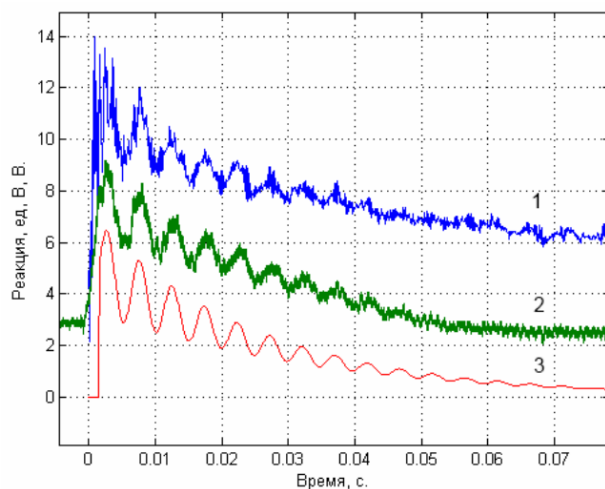


Рисунок 2 – Переходные характеристики: Результат расчета корреляционным методом – кривая 1; отклик на воздействие короткого импульса – кривая 2; результат имитационного моделирования – кривая 3

Из рисунка 2 видно, что все переходные характеристики имеют примерно одинаковые постоянные времени: $\tau_1 = 0.013$ с, $\tau_2 = 0.0126$ с, $\tau_3 = 0.0131$ с, апериодической составляющей, отличающиеся не более чем на 5 %. Собственная частота 200 Гц, выявленная при расчете корреляционным методом, присутствует и на кривой отклика, вызванного коротким импульсом.

В статье [7] говорится о разработке системы стабилизации и управления камерой для аэросъемки с использованием беспилотных летательных аппаратов

самолетного типа. Созданный программно-аппаратный комплекс позволяет стабилизировать камеру, управлять ею и передавать видеоизображение в режиме реального времени оператору. Система работает в трех режимах и может использоваться для видеонаблюдения за земной поверхностью в различных целях.

В статье [8] авторы рассматривают виброизолирующие свойства резинометаллических опор тракторных кабин. Приводятся математические зависимости для расчета параметров виброизоляции при проектировании новых и модернизации существующих конструкций опор. Обсуждается влияние жесткости опор на их виброизоляционные свойства в низко- и высокочастотном диапазонах. Даются рекомендации по расчету опор для разных диапазонов частот. На рисунке 3 приведены результаты проверки вибрации трактора.

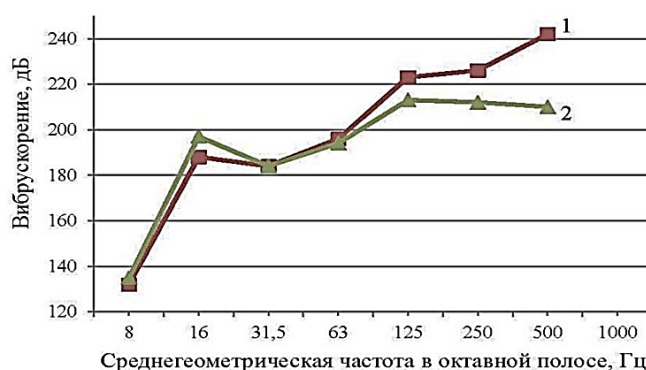


Рисунок 3 – Спектр виброускорений перед и за виброизлятором:
1 – виброускорение на осто́ве трактора; 2 – виброускорение на кронштейне крепления трактора

В интернет-источнике [9] описана виброзащитная платформа ПМП-ВЗВ, предназначенная для вертикальной установки на стенах, строительных конструкциях и другом оборудовании (рис. 4). Платформа защищает чувствительные к вибрации элементы оборудования от вибрационных воздействий и ударов. Разработана линейка платформ разных размеров и грузоподъемности. Платформа состоит из монтажного основания и амортизирующей монтажной площадки, выполненных из композитного материала. Монтажная площадка подвешена на виброизоляторах, и на ней могут быть установлены утяжелители для увеличения инерционности и грузоподъемности платформы.



Рисунок 4 – Внешний вид виброзащитной платформы Комменж ПМП-ВЗ В

В интернет-источнике [10] описана разработка виброзащитной платформы для установки видеокамер на мостовых кранах. Платформа крепится к нижней стороне пролетной балки и позволяет камерам следить за зоной внизу и по ходу движения крана. Конструкция платформы учитывает вибрационные и ударные воздействия (рис. 5), возникающие при работе крана, и дополнительно оснащена пружинами для снижения воздействия на полезную нагрузку в начале, конце и при изменении скорости движения крана.

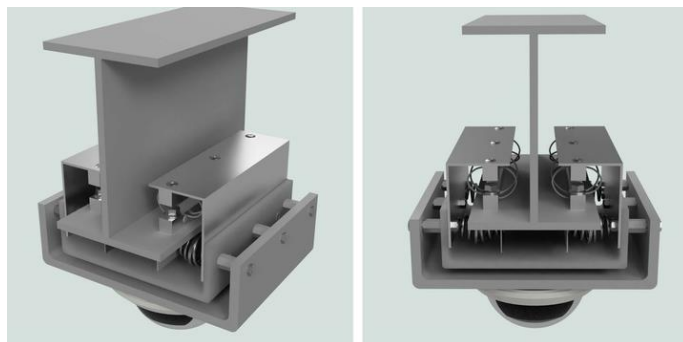


Рисунок 5 – Внешний вид виброзащитной платформы для установки видеокамер на мостовых кранах

Полезная модель [11], относится к устройствам для обеспечения необходимых условий эксплуатации видеокамер на транспортных средствах (рис. 6). Устройство состоит из корпуса с видеокамерами, жестко закрепленными на опорной платформе, и демпферов для гашения колебаний и вибраций. Постоянные магниты установлены на корпусе блока, а электромагниты – на опорной платформе для взаимодействия с магнитами, обеспечивая стабилизацию положения видеокамер.

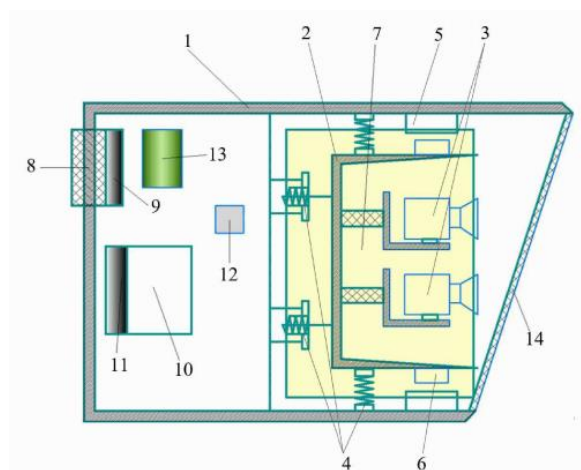


Рисунок 6 – Блок видеокамер для поддержки эксплуатационных условий:
 1 – влагозащищенный корпус; 2 – опорная платформа; 3 – видеокамеры;
 4 – демпферы; 5 – постоянные магниты; 6 – электромагниты; 7 – модуль стабилизации видеокамер; 8 – охладитель; 9 – конвекционный вентилятор охладителя; 10 – нагреватель; 11 – конвекционный вентилятор нагревателя; 12 – датчик температуры; 13 – модуль управления; 14 – смотровое стекло

В интернет-источнике [12] описана виброзащитная платформа для видеокамер наблюдения. Платформа предназначена для защиты видеокамер от вибраций, ударов, тряски и других механических воздействий. Применение этой платформы улучшает качество изображения, увеличивает срок службы и надежность оборудования. Платформу рекомендуют использовать в условиях, где существует тряска и вибрации, таких как железные и автомобильные дороги, строительные площадки и производственные цеха.

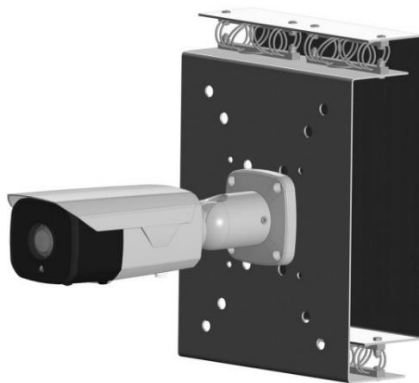


Рисунок 7 – Внешний вид виброзащитной платформы для видеокамер наблюдения

Статья [13] посвящена проблеме обеспечения виброзащиты и прочности оптических и оптоэлектронных приборов. Эти вопросы рассматриваются в двух аспектах: технологическом и эксплуатационном. Технологический аспект касается виброзащиты приборов во время производства, так как даже фоновая вибрация в производственных помещениях может повлиять на точность работы приборов. Эксплуатационный аспект связан с обеспечением прочности приборов при вибрациях и других воздействиях в процессе использования. В статье также рассматриваются различные конструкции виброзащитных устройств и их применение, хотя уже существует множество таких устройств, универсального решения пока не найдено.

В интернет-источнике [14] описано воздействие механической вибрации на видеокамеру в месте их установки, которая, по словам некоторых производителей, практически не решаема при текущем уровне развития технологий. Проблема вибрации возникает из-за сильного ветра и нестабильности крепления конструкции, на которой установлена видеокамера, а также из-за вибрации, передаваемой от техногенных источников, например: генераторов или лифтов.

Для решения проблемы вибрации нужно разрабатывать способы борьбы с этой проблемой. Одним из предложенных решений является использование оптической стабилизации в объективах видеокамер, однако на рынке такие устройства представлены в малом количестве и стоят дорого. Более доступным и распространенным решением является использование программной стабилизации изображения. В видеокамерах также может использоваться

гиросенсор, который передает данные о своих перемещениях в процессор видеокамеры для учета при обработке изображения.

Проведен анализ научных статей и публикаций, посвященных системам стабилизации видеокамер и методам борьбы с вибрацией. Все эти системы стабилизации видеокамеры от вибрации – ключевые факторы в обеспечении высокого качества изображения в условиях, где возникает интенсивная вибрация. Важность стабильного видеоизображения становится особенно важной, когда речь идет о таких отраслях, как сельское хозяйство, где используется специализированное оборудование, включая хлопкоуборочные машины.

Методика решения задачи

Для стабилизации вибраций, вызванных хлопкоуборочной машиной, необходимо проанализировать параметры и выбрать тип стабилизации для видеокамеры. Преимущества и недостатки разных видов стабилизации изображения, показано на таблице 1.

Таблица 1 – Преимущества и недостатки видов стабилизации изображения

Типы стабилизации	Преимущества	Недостатки
Оптическая	- Сохранение широкого угла обзора; - Подходит для любой камеры с соответствующим креплением; - Широкий диапазон компенсируемой амплитуды и частоты вибрации.	- Высокая стоимость; - Увеличенные размеры объектива; - Ограниченное применение на рынке; - Возможное влияние на параметры съемки от дополнительного элемента в объективе.
Цифровая	- Низкая стоимость; - Возможность интеграции алгоритма стабилизации в различные модели камер; - Широкая распространенность на рынке.	- Частичная стабилизация изображения; - Ухудшение детализации изображения в результате работы алгоритма; - Использование только части изображения для стабилизации.
Цифровая с использованием показаний гиросенсора	- Более широкий диапазон компенсируемой амплитуды и частоты вибрации по сравнению с обычным цифровым методом; - Возможность улучшения работы алгоритма за счет дополнительного процессора.	- Высокая стоимость камер с данной технологией; - Использование только части изображения для стабилизации; - Редкая встречаемость на рынке видеокамер.
Подвижная матрица с гиросенсором	- Не увеличивает габариты камеры; - Высокая точность компенсации малых вибраций; - Позволяет стабилизировать изображение в любом направлении;	- Отсутствие в широком ассортименте видеокамер; - Низкая эффективность на больших фокусных расстояниях;

	- Не ограничивает выбор объектива.	- Ограниченный диапазон компенсируемой амплитуды и частоты вибрации; - Высокая стоимость устройств с данной технологией.
Виброзащитная платформа	- Компенсация почти любых вибраций; - Совместимость с разными камерами.	- Отсутствие в широкой продаже; - Большие габариты.

В данной таблице 1 представлены различные аспекты систем стабилизации для оценки и выбора наиболее подходящего в зависимости от требований и условий использования данной системы. Для решения поставленной задачи больше подходит виброзащитная платформа и цифровая стабилизация.

Для оценки воздействия вибраций на видеокамеру, установленную на хлопкоуборочной машине, при наличии и отсутствии антивибрационных механизмов и стабилизационных систем. Проведен ряд экспериментов, сравнительный анализ полученных результатов дается в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительный анализ полученных результатов

Параметр	Измерение в тракторе	С антивибрационными механизмами и стабилизационными системами	Без антивибрационных механизмов и стабилизационных систем
Амплитуда вибрации (мм)	0.1 – 2	Низкая	Высокая
Частота вибрации (Гц)	2 - 30	Стабильная	Нестабильная
Эффективность подавления вибрации	Встроенные антивибрационные механизмы, стабилизация видеокамеры	Высокая	Отсутствует
Точность распознавания и классификация хлопковых коробочек	Определяется качеством используемых датчиков и оборудования	Высокая	Низкая

В данной таблице 2 представлены различия в параметрах измерения вибрации в хлопкоуборочной машине при наличии и отсутствии антивибрационных механизмов и стабилизационных систем. Система стабилизации видеокамеры от вибрации также играет важную роль в обеспечении высокого качества видеоизображения в подобных условиях.

Обсуждение результатов

В статье были рассмотрены оптические, цифровые, цифровые с использованием показаний гиросенсора, подвижная матрица с гиросенсором,

виброзащитные платформы. Виброзащитные платформы, состоящие из гибких антивибрационных креплений и механизмов компенсации, показали свою эффективность в снижении вибрации на хлопкоуборочных машинах.

Гибкие антивибрационные крепления и механизмы компенсации эффективно снижает вибрацию, активно компенсируют вибрацию и получается более стабильное видеоизображение. Такие системы позволяют сохранять четкость и детализацию видеоизображения, обеспечивая достаточную стабильность видеоизображения в условиях сильной вибрации. Это особенно полезно при работе уборочного аппарата с интеллектуальной системой и системой технического зрения, которая установлена на переднем капоте хлопкоуборочной машины.

Заключение

Система стабилизации видеокамеры от вибрации является важным технологическим компонентом для обеспечения высокого качества видеоизображения в условиях повышенной вибрации. Одним из наиболее эффективных способов ослабления вибрации и обеспечения стабильности видеоизображения является применение виброзащитной платформы, состоящей из гибких антивибрационных креплений и механизмов компенсации. Эти платформы способны поглощать и минимизировать воздействие вибрации на видеокамеру, чтобы сохранять четкость и детализацию изображения; дополнительно можно использовать алгоритм стабилизации колебаний. Такие алгоритмы могут быть заложены практически в любую видеокамеру, а виброзащитные платформы могут быть установлены на капоте хлопкоуборочной машины, что позволяет обеспечить стабильность видеоизображения независимо от условий работы.

Таким образом, система стабилизации является важным инструментом для обеспечения стабильного и качественного видеоизображения. Она может быть использована не только на хлопкоуборочной машине, но и на других видах транспорта, где требуется стабильное видеоизображение.

Список литературы:

1. Улжаев Э., Убайдуллаев У., Абдулхамидов А. Анализ современного состояния автоматизации контроля и регулирования ширины рабочих щелей уборочного аппарата хлопкоуборочной машины с вертикальным шпинделем: материалы Международной научно-практической конференции «Вызовы науки сегодня», Вашингтон США, 4-5 апреля 2021 г. – Вашингтон, 2021. – № 48. – С. 977-989.
2. Абдулхамидов А., Улжаев Э. Выбор камеры для распознавания хлопка-сырца и анализ его основных параметров: материалы Международной конференции по информатике и коммуникационным технологиям. (ICISCT), Узбекистан, Ташкент, 2022. – Ташкент, 2022. – С. 1-4.
3. Улжаев Э., Абдулхамидов А. Преобразование видеоизображения в матрицу, оценка и выбор качественных алгоритмов // Приборы. – 2023. – № 6. – С. 21-25.
4. Абдулхамидов А. Оценки производительности сверточной нейронной сети для классификации хлопка по степени раскрытия // Приборы. – 2023. – № 9. – С. 51-55.

5. Бронштейн И. Г., Унчун Ч., Старченко А. П. Разработка методики и исследование электронной системы стабилизации изображения видеокамеры // Информационно-управляющие системы. – 2008. – № 1. – С. 7-11.
6. Таран В. Н., Кисловский Е. Ю. Применение корреляционного метода в идентификации электромеханической системы стабилизации видеокамеры // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 2 (49). – С. 118.
7. Волокитин Д. А., Князева В. В., Румянцев Д. С. (2015). Система стабилизации и управления видеокамерой для аэровидеосъемки с беспилотного летательного аппарата // Труды МАИ. – 2015. – № 83. – С. 14.
8. Безручко А. Ф., Зезетко Н. И. Виброизоляция кабины трактора // Сельскохозяйственное машиностроение. Металлообработка. – 1983.
9. Монтаж видеокамеры на вибрирующую поверхность [Электронный ресурс]. – URL: <https://dzen.ru/a/YAWBaqOgjAlvDICH> (дата обращения: 16.03.2024).
10. Виброзащитная платформа для установки видеокамер на мостовых кранах [Электронный ресурс]. – URL: <https://sdelanounas.ru/blogs/143319/> (дата обращения: 16.03.2024).
11. Патент RU 205997 U1. Блок поддержки эксплуатационных условий для видеокамер / Минкин Ю. И.; Федеральная служба по интеллектуальной собственности 13.08.2021. Бюл. № 23.
12. Виброзащитная платформа [Электронный ресурс]. – URL: https://www.nic-tech.ru/catalog/dopolnitelnye_assortiment/vibrozashchitnaya_platforma/ (дата обращения: 16.03.2024).
13. Куриленко Г. А., Савелькаев С. В., Григорьева Г. В. (2012). Виброзащита и прочностная надежность оптических и оптоэлектронных приборов // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2012. – № 1 (5). – С. 14-19.
14. Обзор различных видов стабилизации изображения в камерах [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.cctvlab.ru/articles/5/> (дата обращения: 17.03.2024).

©Абдулхамидов А. А., 2024

**ПРИМЕНЕНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ
ДЛЯ ПИТАНИЯ МЕХАНИЗМОВ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ
В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА РОССИИ**

студент **Кесарев Никита Романович**,
науч. руководитель: канд. пед. наук, доцент
Оробинский Алексей Михайлович,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В данной статье анализируются перспективы применения генераторов электроэнергии, работа которых основана на возобновляемых источниках энергии в условиях Крайнего Севера России. Проведен анализ перспектив применения таких источников для электропитания типовых технических систем на основе автоматизированных электроприводов.

Обоснована целесообразность построения комбинированной системы генерации энергии, совмещающей в себе средства преобразования как солнечной, так и ветряной энергии. Предложена структурная схема системы автономного электроснабжения типового технического объекта с автоматизированными электроприводами с комбинированной электропитающей установкой.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, автоматизированный электропривод, Крайний Север, оптимизация, природная энергия.

**THE USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES TO POWER
MECHANISMS BASED ON ELECTRIC DRIVES IN THE CONDITIONS
OF THE FAR NORTH OF RUSSIA**

Student **Kesarev Nikita Romanovich**,
Academic Advisor: PhD in Pedagogy, Associate Professor
Orobinsky Alexey Mikhailovich,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. This article analyzes the prospects for the use of electric power generators, whose operation is based on renewable energy sources in the conditions of the Far North of Russia. The analysis of the prospects of using such sources for power supply of typical technical systems based on automated electric drives is carried out. The expediency of building a combined energy generation system combining the

means of converting both solar and wind energy is substantiated. A block diagram of an autonomous power supply system for a typical technical facility with automated electric drives with a combined power supply system is proposed.

Keywords: renewable energy sources, automated electric drive, Far North, optimization, natural energy.

Практически во всех сферах жизни человека сегодня активно применяются автоматизированные системы на базе электроприводов. Эти системы, оснащенные электродвигателями и различным электрическим оборудованием, способствуют автоматизации и контролю за разнообразными процессами и устройствами. Для работы таких систем нужны эффективные и надежные источники электропитания. В настоящее время в России значительное количество современных промышленных генераторов электроэнергии работают на основе энергии от сжигания твердого (каменный уголь), жидкого (нефть) или газообразного (природный газ) ископаемого топлива. Подобный метод имеет сразу несколько недостатков, которые особенно ярко проявляются при решении вопроса обеспечения электроэнергией населенных пунктов, промышленных предприятий и прочих объектов на Крайнем Севере России в условиях значительной удаленности от мест добычи этого топлива. В связи с этим анализ возможностей использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) для электропитания технических систем на основе электроприводов в условиях Крайнего Севера является актуальной научно-технической задачей.

Объектом исследования в данной научной работе являются технические системы на базе автоматизированного электропривода с источниками электропитания на основе возобновляемых ресурсов.

Цель исследования – оценка возможности применения генераторов на ВИЭ в таких технических системах в условиях Крайнего Севера России.

Для достижения цели исследования необходимо было решить следующие задачи:

- провести анализ наиболее распространенных ВИЭ, отметить их основные преимущества и недостатки;
- провести сравнительный анализ приведенных ВИЭ с точки зрения доступности в регионах, относящихся к Крайнему Северу нашей страны;
- разработать структурную схему автономной системы электроснабжения объекта с автоматизированными электроприводами на основе генератора на ВИЭ.

На сегодняшний день наиболее распространенными ВИЭ являются солнечная энергия и энергия ветра. Преобразование солнечной энергии в электрическую осуществляется с помощью фотоэлементов. Современные фотоэлементы способны выдавать до нескольких сотен ватт/час с одного квадратного метра освещаемой поверхности. Стабильность генерации электроэнергии подобным способом заметно выше по сравнению с большинством других ВИЭ ввиду цикличности появления и исчезновения источника энергии – солнца. Следовательно, процесс эксплуатации будет

состоять из чередующихся равных по продолжительности этапов генерации, аккумулирования и расходования запасенной энергии [1].

Преобразование энергии движущихся воздушных масс в электрическую энергию производится с помощью ветрогенераторов, на лопастях которых возникает вращающий момент, передающийся через редуктор на вал электрического генератора. Для повышения эффективности лопастям придается аэродинамический профиль. Мощность одного ветрогенератора может достигать нескольких мегаватт [2]. Данный ВИЭ отличается своей нестабильностью, так как генерация и накопление энергии напрямую зависит от скорости и постоянства ветра. Следовательно, присутствует риск сбоев в подаче электроэнергии, что для многих систем с автоматизированными электроприводами является недопустимым.

Существенным недостатком приведенных ВИЭ является невозможность стабильной и постоянной генерации электроэнергии и, как следствие, необходимость наличия аккумуляторов для запасания генерируемой электроэнергии и ее использования при невозможности генерации.

При рассмотрении описанных выше ВИЭ в контексте поставленной в статье задачи стоит учесть факт близости региона к полюсу, который оказывает значительное влияние на особенности эксплуатации фотоэлементов и ветрогенераторов. Явление «полярных дней» сильно увеличивает длительность периода, когда возможна работа фотоэлементов, однако полярные ночи так же надолго делают солнечные панели полностью бесполезными. При этом мощность падающих на поверхность близко к полюсу лучей обычно не превышает 2 кВт/сутки на квадратный метр, что не способствует эффективной работе генераторов на солнечной энергии [3]. С другой стороны, средняя скорость ветра в областях Крайнего Севера России выше, чем в средней полосе, и составляет около 7 метров в секунду [4]. При этом еще одним важным отличием Крайнего Севера от других регионов России является постоянство движения воздушных масс, обеспечивающее более высокую стабильность генерации энергии с помощью этого ВИЭ.

С учетом рассмотренных особенностей природных условий в выбранном регионе, наиболее выгодным вариантом может стать строительство комбинированной системы генерации энергии, совмещающей в себе средства преобразования как солнечной, так и ветряной энергии.

Серьезным недостатком подобной системы с экономической точки зрения является необходимость интеграции в схему аккумулятора большой емкости для нивелирования непостоянства генерации электроэнергии и обеспечения ее бесперебойных поставок до потребителей. Подобные накопители значительно увеличивают стоимость генерирующей системы, однако отсутствие необходимости транспортировки электроэнергии в несколько раз уменьшает ее итоговую стоимость. Так, к примеру, на сегодняшний день средняя стоимость 1 кВт/ч электроэнергии в рассматриваемом регионе находится в районе 22–237 руб., что в 5–55 раз выше, чем в других регионах России [5]. Важным фактором также является высокая долговечность солнечных и ветряных генераторов. Такие устройства могут эксплуатироваться до 25 лет, что создает хорошую

возможность для их окупаемости даже при условии комплектации наиболее дорогими и емкими накопителями.

В данной научной работе на основе проведенного анализа была разработана структурная схема системы автономного электроснабжения типового технического объекта с автоматизированными электроприводами с комбинированной электропитающей установкой, включающей в себя ветрогенератор и солнечную батарею, показанная на рисунке.

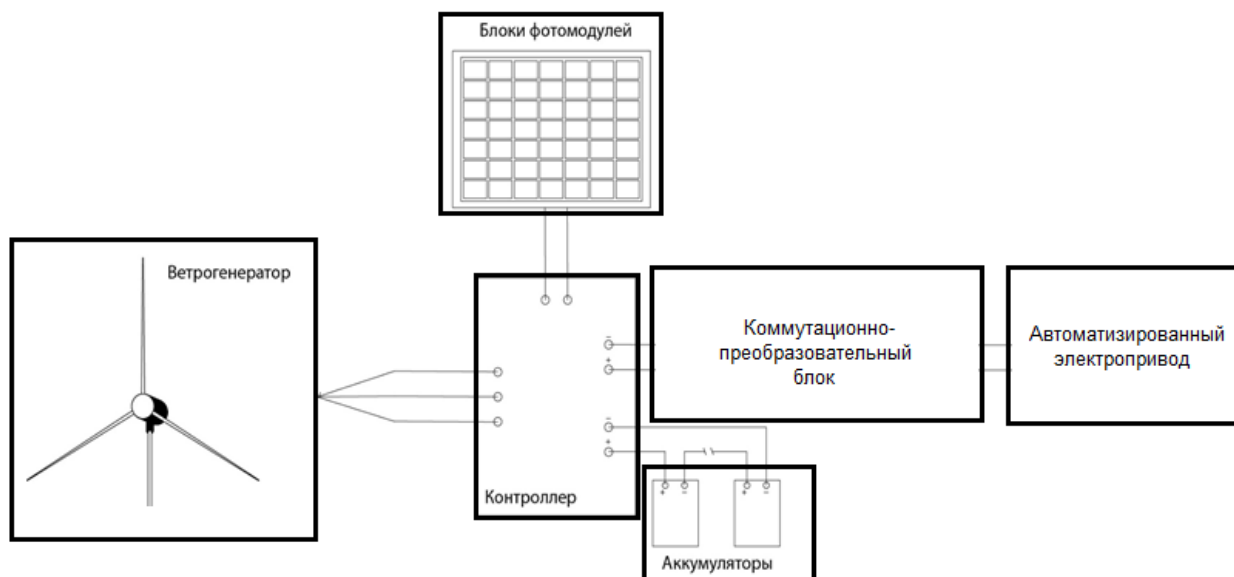


Рисунок – Структурная схема системы автономного электроснабжения на базе комбинированного источника на ВИЭ

Данная схема обладает высокой автономностью, так как практически не требует обслуживания, подвоза топлива или других материалов, а, следовательно, может устанавливаться вне зависимости от удаленности от источников ресурсов или других объектов инфраструктуры, ближе к непосредственному потребителю. Так же схема является масштабируемой, то есть способна генерировать мощность в широком диапазоне (от десятков ватт до, потенциально, сотен киловатт), покрывая практически любые потенциально возможные потребности потребителя [6]. Одним из главных недостатков подобных систем остаются аккумуляторы, обеспечивающие резервное питание в случае временной невозможности генерации электроэнергии, заметно увеличивающие стоимость генераторов и требующие наибольшего внимания при эксплуатации.

С учетом совокупности факторов использование генераторов подобной схемы в условиях Крайнего Севера России является целесообразным, но требует инвестиций и технологического совершенствования используемых компонентов для повышения эффективности работы.

Список литературы:

1. Грибач, Ю. С. Ветер – альтернативный источник энергии / Ю.С. Грибач, О. О. Егорычев, Е. В. Кургузова // Силовое и энергетическое оборудование. Автономные системы. – 2019. – № 2 (1). – С. 40-49.
2. Голубев, С. В. Возобновляемые источники энергии в энергетике газовой отрасли. Перспективы и аспекты применения ВИЭ на объектах ПАО «Газпром» / С. В. Голубев // Газовая промышленность. – 2016. – № 12/746. – С. 72-76.
3. Оробинский, А. М., Козлов, А. А. Применение ионисторов в источниках бесперебойного питания для систем управления электроприводами / А. М. Оробинский, А. А. Козлов // Образование в России и актуальные вопросы современной науки: сборник статей V Всероссийской научно-практической конференции / Министерство науки и высшего образования РФ; Пензенский государственный университет и [др] ; под ред. Гагаева П. А., Белозерцева Е. П. – Пенза: Пензен. гос. аграр. ун-т, 2022. – С. 327-330.
4. Никитенко, Г. В. Ветроэнергетические установки в системах автономного электроснабжения: монография / Г. В. Никитенко, Е. В. Коноплев. – Ставрополь: Ставропольский гос. аграрный ун-т, 2008. – 152 с.
5. Елистратов, В. В. Возобновляемая энергетика / В. В. Елистратов. – СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2016. – 417 с.
6. Хуснуллин, А. А. Автоматизация в электроэнергетике: преимущества и вызовы / А. А. Хуснуллин, О. В. Борисова // Грани науки 2023 : Сборник трудов Международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону-Мадрид, 27 ноября 2023 года. – Ростов-на-Дону - Мадрид: ДиректСайнс (ИП Шкуркин Д.В.), ООО "Сфера", 2023. – С. 395-399. – EDN CPDQOK. <https://elibrary.ru/item.asp?id=59281967>

© Кесарев Н. Р., 2024

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕТЕРМИНИРОВАННОЙ СТАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ В ИССЛЕДОВАНИИ И ОБУЧЕНИИ

студент **Кирчева Алина Сергеевна**,
студент **Мамедов Илькин Вахид оглы**,
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент
Буинцев Владимир Николаевич,
Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматривается актуальная задача оптимизации технологического процесса шихтовки для электродуговой плавки стали. Приводятся математические модели материального баланса и шихтовки, включающие балансовые модели для определения содержания углерода, основности шлака и температуры металла по расплавлению. Исследованы возможности применения детерминированных статических моделей на реальном производстве для изучения влияния входных параметров на процесс шихтовки в составе тренажера. В результате исследования были представлены графики зависимостей между входными параметрами и конечным результатом производства стали в ДСП.

Ключевые слова: модель, металлургия, шихтовка, сталь, баланс, исследование, обучение.

USING DETERMINISTIC STATIC MODEL IN RESEARCH AND TRAINING

Student **Kircheva Alina Sergeevna**,
Student **Mamedov Ilkin Vakhid ogly**,
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor
Buintsev Vladimir Nikolaevich,
Siberian State Industrial University
Novokuznetsk, Russian Federation

Abstract. The article discusses the current problem of optimizing the technological process of mixing for electric arc melting of steel. Mathematical models of material balance and charging are presented, including balance models for determining carbon content, slag basicity and metal melting temperature. The possibilities of using deterministic static models in real production to study the influence of input parameters on the blending process as part of a simulator have been explored. As a result of the study, graphs of the relationships between input parameters and the final result of steel production in an arc steel-smelting furnace were presented.

Keywords: model, metallurgy, blending, steel, balance, research, training.

Математическая модель – это упрощенное представление оригинала, которое устанавливает связь между входными и выходными параметрами в виде математических уравнений или системы уравнений [1].

Металлургия является одной из отраслей промышленности, которая потребляет большое количество ресурсов и требует усовершенствования существующих методов производства чугуна и стали, а также создания инновационных металлургических процессов и оборудования для прямого получения металлов. Исследование высокотемпературных процессов является ключевым для решения данных задач, связанных со сложными термодинамическими системами. К таким исследованиям относятся физико-химические превращения, протекающие в условиях равновесия.

Так как экспериментальные исследования часто являются дорогостоящими, а иногда и невозможными, вычислительный эксперимент приобретает большое значение, позволяя анализировать состояния и процессы и делать выводы о поведении исследуемых объектов на основе модельных представлений. Следовательно, для повышения эффективности решения оптимизационных задач необходимо разрабатывать и совершенствовать математические модели, способные обеспечить оптимальное управление процессами.

В настоящее время оптимизация технологического процесса шихтовки для электродуговой плавки стали с целью обеспечения необходимых характеристик стали (марки) является важной и актуальной задачей в производстве. Для этого необходимо знать, как входные параметры влияют на конечный результат продукта.

Металлургический агрегат представляет собой реактор, в который поступают конденсированные и газообразные входные потоки и отводятся металл, шлак и газ.

Уравнение материального баланса для всей системы на уровне входных-выходных потоков имеет вид [2]:

$$\sum_{k=1}^K G_k = \sum_{l=1}^L G_l, \quad (1)$$

где K, L – общее количество входных и выходных потоков;

G_k, G_l – массы входных и выходных потоков соответственно, кг.

Для любого металлургического процесса выходными потоками являются металл, шлак и газ. С учетом этого, а также при разделении входных потоков на конденсированные и газообразные, уравнение материального баланса можно представить следующим образом:

$$\sum_{k=1}^{K^f} G_k^f + \sum_{k=1}^{K^g} G_k^g = G_m + G_{шл} + G_g, \quad (2)$$

где K^f, K^g, G_k^f, G_k^g – количество и масса конденсированных и газообразных потоков соответственно, кг;

$G_m, G_{шл}, G_g$ – массы металла, шлака и газа, кг.

Таким образом, материальный баланс на уровне веществ имеет вид, изображенный в формуле:

$$\sum_{k=1}^K G_k = \sum_{k=1}^{K^f} \sum_{m=1}^{N_k^f} \frac{G_k^f / R_m /_k}{100} + \sum_{k=1}^{K^z} \sum_{m=1}^{N_k^z} \frac{G_k^z \{R_m\}_k}{100}, \quad (3)$$

где N_k^f , N_k^z – количество веществ в k -ом потоке;

$/R_m /_k$, $\{R_m\}_k$ – количество вещества R_m в k -ом потоке, %.

Масса веществ выходных потоков определяется массой веществ в металлической, шлаковой и газовой фазах [2]:

$$\sum_{l=1}^L G_l = \sum_{n=1}^{N_M} \frac{G_M[R_n]}{100} + \sum_{n=1}^{N_{шл}} \frac{G_{шл}(R_n)}{100} + \sum_{n=1}^{N_z} \frac{G_z \{R_n\}}{100}, \quad (4)$$

где N_M , $N_{шл}$, N_z – количество веществ в металле, шлаке и газе;

$[R_n]$, (R_n) , $\{R_n\}$ – содержание n -го вещества в металле, шлаке и газе, %.

Таким образом, материальный баланс на уровне потоков веществ имеет вид:

$$\sum_{k=1}^{K^f} \sum_{m=1}^{N_k^f} \frac{G_k^f / R_m /_k}{100} + \sum_{k=1}^{K^z} \sum_{m=1}^{N_k^z} \frac{G_k^z \{R_m\}_k}{100} = \sum_{n=1}^{N_M} \frac{G_M[R_n]}{100} + \sum_{n=1}^{N_{шл}} \frac{G_{шл}(R_n)}{100} + \sum_{n=1}^{N_z} \frac{G_z \{R_n\}}{100}, \quad (5)$$

Для того, чтобы определить состав фаз выходных потоков, составляются уравнения баланса по каждому элементу E_i , который может присутствовать в разных фазах в виде различных соединений:

$$\begin{aligned} & \sum_{k=1}^{K^f} \sum_{m=1}^{N_k^{E_i^f}} \frac{G_k^f / E_{ix_m} E_{jy_m} /_k}{100} \cdot \frac{x_m M_{E_i}}{M_{E_{ix_m} E_{jy_m}}} + \sum_{k=1}^{K^z} \sum_{m=1}^{N_k^{E_i^z}} \frac{G_k^z \{E_{ix_m} E_{jy_m}\}_k}{100} \cdot \frac{x_m M_{E_i}}{M_{E_{ix_m} E_{jy_m}}} = \\ & = \frac{G_M \cdot [E_i]}{100} + \sum_{n=1}^{N_{шл}^{E_i}} \frac{G_{шл}(E_{ix_n} E_{jy_n})}{100} \cdot \frac{x_n M_{E_i}}{M_{E_{ix_n} E_{jy_n}}} + \sum_{n=1}^{N_z^{E_i}} \frac{G_z \{E_{ix_n} E_{jy_n}\}}{100} \cdot \frac{x_n M_{E_i}}{M_{E_{ix_n} E_{jy_n}}}, \end{aligned} \quad (6)$$

где $/E_{ix_m} E_{jy_m} /_k$, $\{E_{ix_m} E_{jy_m}\}_k$ – концентрация m -го вещества, содержащего элемент E_i в k -ом конденсированном либо газообразном входном потоке соответственно, %;

$[E_i]$ – концентрация вещества, состоящая из элемента E_i в металле, %;

$(E_{ix_n} E_{jy_n})$, $\{E_{ix_n} E_{jy_n}\}$ – концентрация n -го вещества, содержащего элемент E_i в шлаковой и газовой фазах выходного потока, %;

$N_k^{E_i^f}$, $N_{шл}^{E_i}$, $N_z^{E_i}$ – количество веществ, содержащих элемент E_i , в k -ом входном потоке, шлаке и газе;

x_m, y_m – стехиометрические коэффициенты m -го соединения элемента E_i , M_{E_i} ;

$M_{E_{ix_m} E_{jy_m}}$ – молярные массы E_i элемента и его соединений, кг/моль.

Материалы, которые загружаются в печь для проведения плавки, называют шихтой. В случае переплава методом, шихта в основном состоит из легированных отходов с низким содержанием фосфора и серы.

Модель шихтовки является сложной и включает в себя три балансовых модели, которые определяют содержание углерода, основность шлака и температуру металла по расплавлению. Данная модель представляет собой упрощенное средство, которое в основном используется для теоретического изучения процесса шихтовки и основных зависимостей на этом этапе. Это связано с тем, что на реальном объекте часто бывает недостаточно данных о составе шихты, и поэтому сложно влиять на химический состав расплавленного металла. Коррекции производятся на более поздних этапах производства. Входными параметрами, которыми можно контролировать, являются масса загружаемых материалов и их химический состав.

Производится расчет количества углерода, приходящего в ванну с шихтовыми материалами, и общая масса завалки. Рассчитывается изменение массы металла в ходе плавления (из-за угара углерода и примесей), и вычисляется содержание углерода в металле по формуле (7):

$$[C] = \frac{M_{[C]}}{M_{Me}} \cdot 100\% \quad (7)$$

где $M_{[C]}$, M_{Me} – масса углерода в металле и масса металла, кг.

Блок-схема модели приведена на рисунке 1.

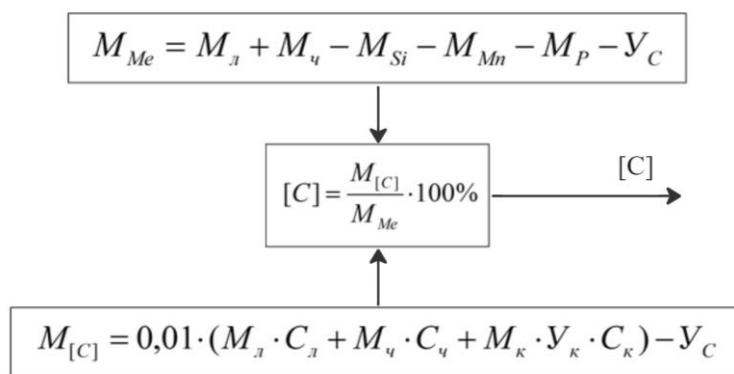


Рисунок 1 – Блок-схема модели баланса углерода в период плавления

Здесь $M_{л}$, $M_{ч}$, $M_{к}$ – массы лома, чугуна, кокса в завалке, кг;

$C_{л}$, $C_{ч}$, $C_{к}$ – содержание углерода в ломе, чугуне и коксе, %;

$Y_{к}$, Y_C – угар кокса, углерода;

M_{Si} , M_{Mn} , M_P – масса кремния, марганца, фосфора, которые прошли из металла в шлак, кг.

Рассчитывается содержание CaO и SiO_2 в шлаке и основность шлака по формуле (8), где M_{SiO_2} , M_{CaO} – массы данных оксидов в шлаке по расплавлению, кг.

$$B = \frac{M_{CaO}}{M_{SiO_2}} \quad (8)$$

Блок-схема модели приведена на рисунке 2.

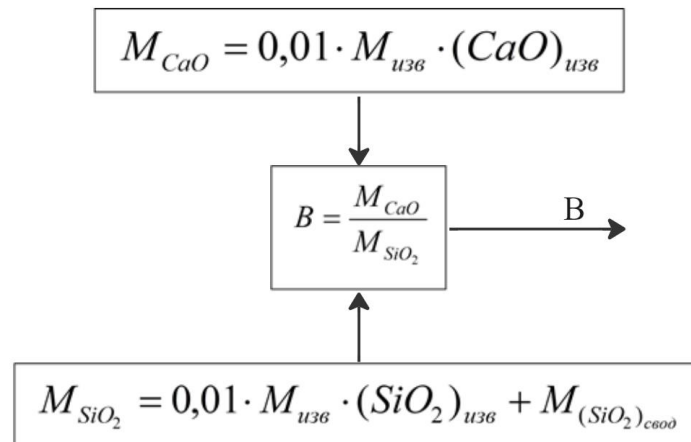


Рисунок 2 – Модель основности шлака периода плавления

Здесь $(SiO_2)_{изв}$, $(CaO)_{изв}$ – содержание SiO_2 , CaO в извести, %;

$M_{изв}$ – массы лома, чугуна, кокса, извести в завалке, кг;

$M_{(SiO_2)свод}$ – масса SiO_2 , переходящая в шлак из свода, подины и стен печи.

Далее рассчитывается тепловой баланс периода плавления. Учитываются следующие статьи прихода тепла: тепло сырых материалов ($Q_{с.м.}$), тепло экзотермических реакций ($Q_{экз.р.}$), тепло шлакообразования ($Q_{шл.обр.}$), тепло электрической дуги ($Q_{наугл.}$). А также статьи расхода тепла: тепло на нагрев шлака ($Q_{шл.}$), потери тепла излучением ($Q_{изл.п.}$), поверхностью печи, через рабочее окно ($Q_{п.п.}$).

Конечная температура металла вычисляется по формуле:

$$T = \frac{\frac{\Delta Q}{M_{Me}} - 0,167 \cdot 1450 - 68}{0,2} + 1450, \quad (9)$$

где 0,167 – теплоемкость стали до температуры плавления, Дж/кг·°С;

0,2 – теплоемкость жидкой стали, Дж /кг·°С;

68 – скрытая теплота плавления стали, Дж /кг.

Блок-схема теплового баланса приведена на рисунке 3, в котором:

$M_{шл}$ – масса шлака, кг;

$M_{P_2O_5}$ – масса данных оксидов в шлаке по расплавлению, кг;

M_C – масса углерода, перешедшего из кокса в металл, кг;

ΔQ – разность между приходом и расходом тепла, кДж;

ΔH – энтальпия веществ относительно температуры 298 К, кДж/кг;

φ – коэффициент диафрагмирования;

F – площадь рабочего окна печи, м²;

τ – время, мин;

$S_{б.п.}$, $S_{св.}$, $S_{дн.}$ – площадь боковой поверхности, свода, днища печи, м².

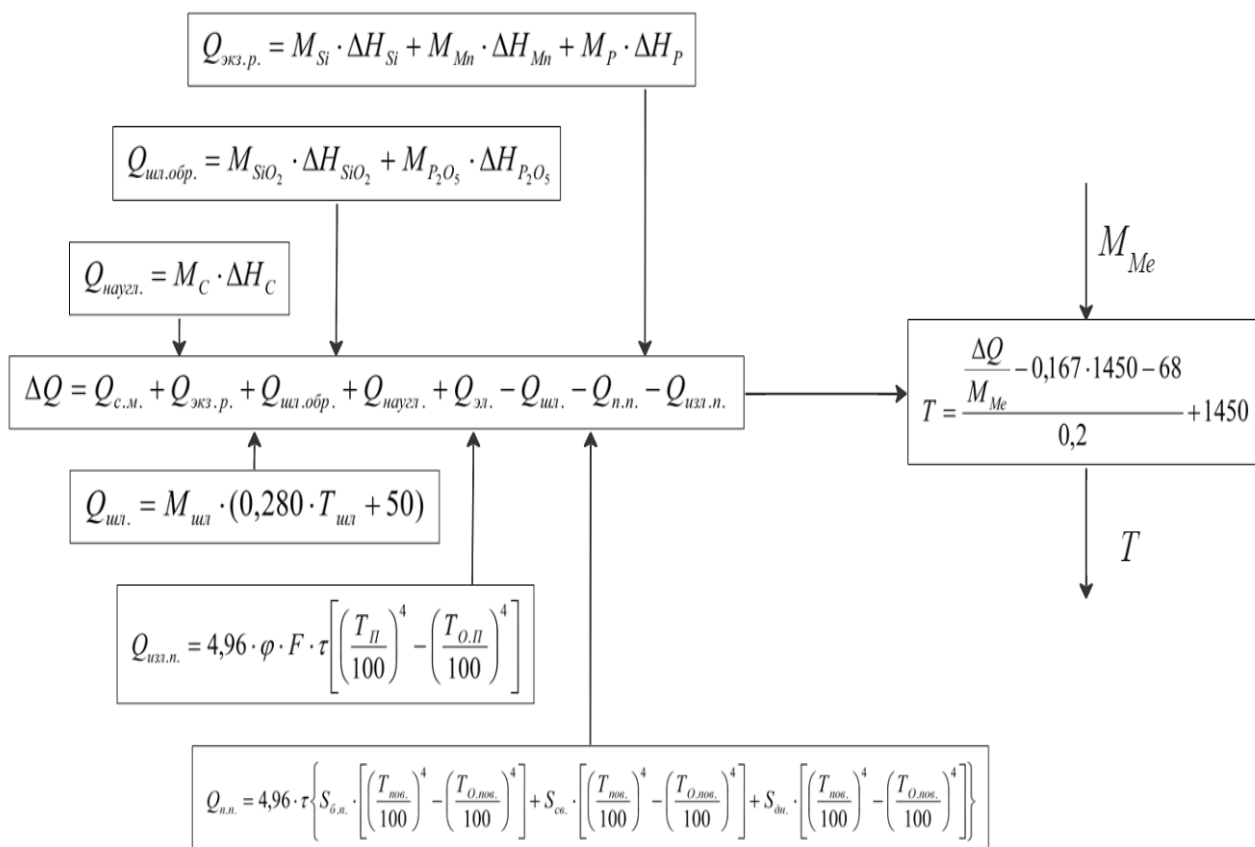


Рисунок 3 – Тепловой баланс периода плавления

Для проведения исследований использовалась программная реализация данных моделей в составе автоматической обучающей экспертной системы. Данная программа обеспечивает качественное выполнение производственных задач, главной из которых является выплавка заданной марки стали в заданное время с учетом имеющихся ограничений.

В работах [3-4] приведены математические модели процессов, протекающих в дуговой сталеплавильной печи (ДСП) применительно к разработке тренажера «Сталевар ДСП», а в работе [5] – описаны математически для другого тренажера металлургического процесса «Шихтовщик алюминиевого расплава».

Для проведения исследования необходимо определить объем каждого материала для шихты, учитывая технологическую инструкцию по выплавке стали для 100 – тонной ДСП. Базовыми значениями для шихты являются:

1. 40 тонн крупного лома;
2. 54 тонны среднего лома;
3. по 10 тонн мелкого лома и чугуна чушкового;
4. 1600 килограмм кокса;
5. 3000 килограмм извести.

Исследование будет проводиться в 3 экспериментах, каждый из которых будет изучать влияние определенного компонента на результаты процесса шихтовки.

Каждый эксперимент проводится при определенных условиях:

1. В первом эксперименте металлическая часть завалки остается неизменной (114 тонн), включая крупный, средний и мелкий лом (40, 54 и 10 тонн соответственно) и чугун чушковый (10 тонн), а также известь (3000 килограмм). Количество кокса будет варьироваться от 900 до 2100 килограмм с шагом в 100 килограмм.

2. Во втором эксперименте металлическая часть завалки и количество кокса (1600 килограмм) остаются неизменными (как в первом эксперименте). Количество извести будет варьироваться от 2300 до 3500 килограмм с шагом в 100 килограмм.

3. В третьем эксперименте количество кокса и извести остаются неизменными (1600 и 3000 килограмм соответственно). В этом эксперименте количество чугуна будет варьироваться от 0 до 12 тонн с шагом в 1 тонну. При изменении количества чугуна меняется количество металлической завалки. Для сохранения этого параметра было решено уменьшать количество среднего лома с увеличением количества чугуна чушкового, при этом крупный и мелкий лом остаются неизменными (по 10 тонн), сохраняя общий вес металлической части завалки.

Результаты экспериментов представлены на рисунках 4-6.

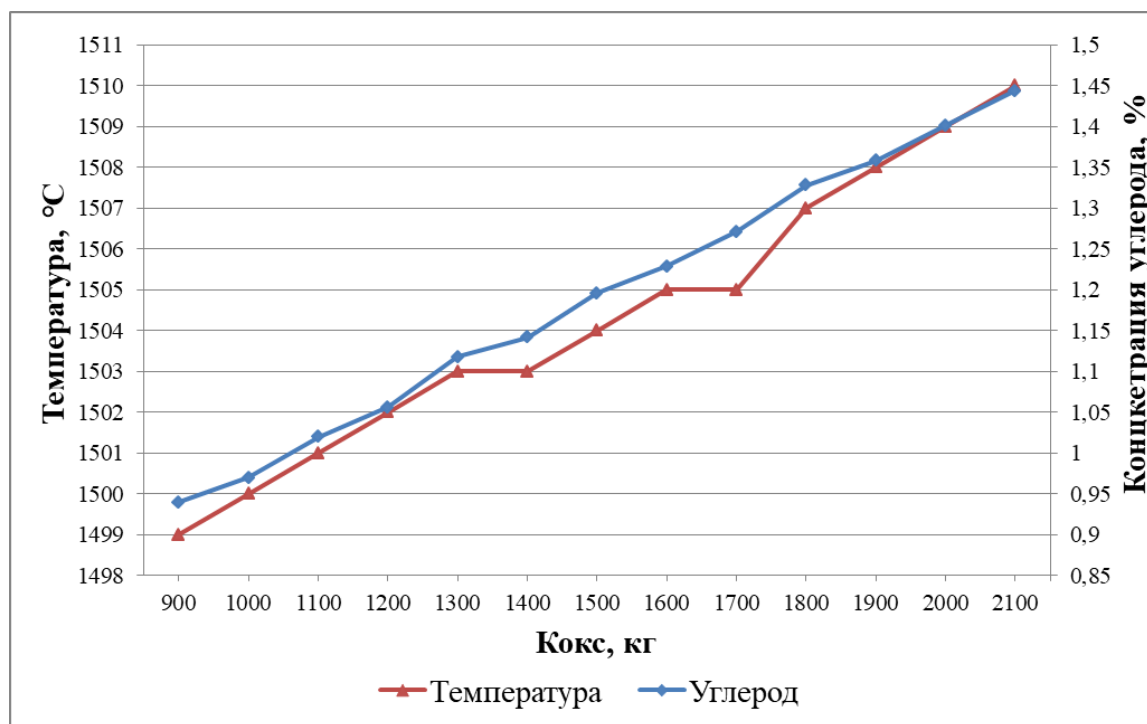


Рисунок 4 – Влияние кокса на результаты процесса шихтовки

При увеличении количества кокса наблюдается повышение температуры и содержания углерода. Содержание углерода увеличивается на 0,504 %, а температура на 11 °C. Это объясняется тем, что кокс является топливом и обеспечивает необходимое количество тепла и углерода для процесса шихтовки. При увеличении количества кокса также наблюдается незначительное снижение основности на 0,087. Основность способствует удалению примесей из стали.

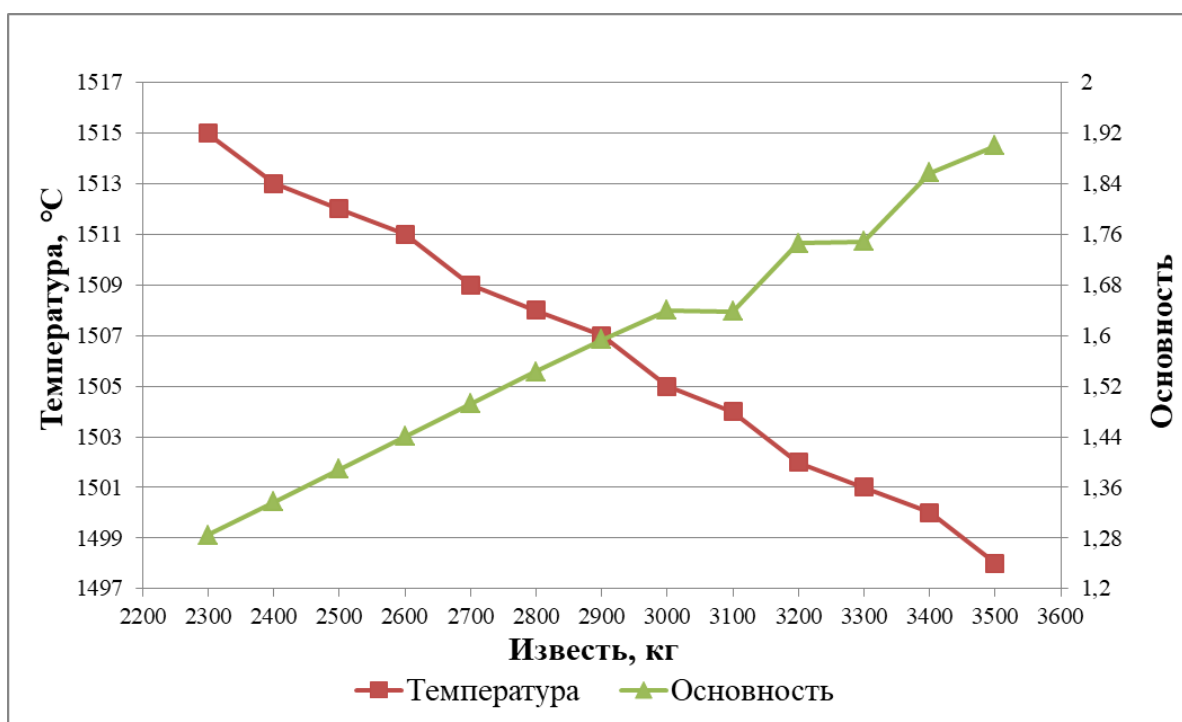


Рисунок 5 – Влияние извести на результаты процесса шихтовки

При увеличении количества извести наблюдается повышение основности и снижение температуры. Температура снижается на 17 °C, а основность увеличивается на 0,615, однако содержание углерода остается неизменным и равно 1,229 %. Известь представляет собой материал, применяемый для регулирования основности, стали, при этом она не оказывает никакого влияния на содержание углерода в стали.

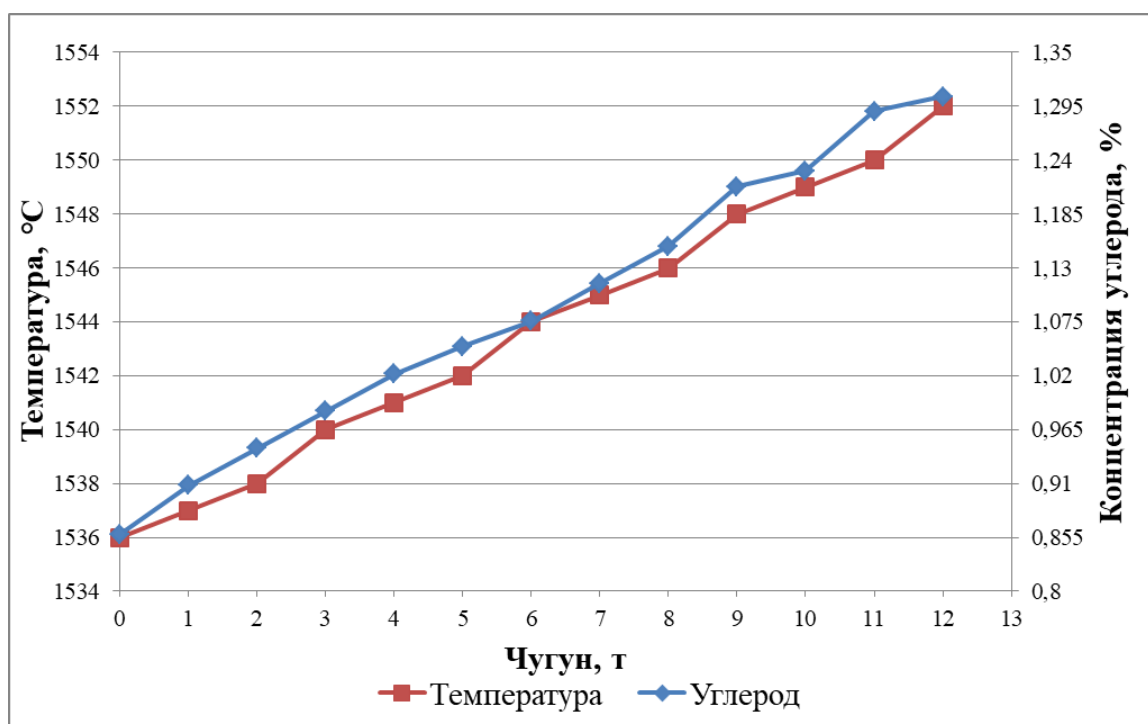


Рисунок 6 – Влияние чугуна на результаты процесса шихтовки

При увеличении количества чугуна, с учетом уменьшения количества среднего лома для баланса металлической части завалки, наблюдается повышение температуры и содержания углерода, а также незначительное снижение основности. Температура увеличивается на 16 °С, основность снижается на 0,101, а содержание углерода увеличивается на 0,447 %. Чугун является материалом с высоким содержанием углерода и меньшей теплопроводностью, что влияет на температуру и химический состав шихты.

Благодаря проведению исследований и анализу результатов, можно сделать выводы о влиянии различных компонентов на процесс шихтовки и качество конечной продукции, что помогает лучше понять и изучить влияние входных параметров на конечные результаты технологии производства стали.

Эти знания могут быть использованы для улучшения технологии производства, оптимизации состава шихты и режимов плавки, что в конечном итоге приведет к повышению качества продукции. Кроме того, полученные данные могут быть использованы для обучения персонала, повышения их квалификации и навыков, что также способствует улучшению производственных процессов и качества продукции в области металлургии.

Список литературы:

1. Цымбал, В. П. Математическое моделирование сложных систем в металлургии: учебник для вузов / В. П. Цымбал. – Кемерово; М.: Издательское объединение «Российские университеты»: Кузбассвуиздат – АСТШ, 2006. – 431 с. ISBN 5-202-00925-9.
2. Рыбенко И. А. Разработка математических моделей и создание инструментальной системы для решения широкого класса задач в металлургии // Информация и образование: границы коммуникаций INFO. – 2018. – № 10 (18). – С. 79-82.
3. Калашников С. Н. и др. Структура и математические модели тренажера оператора дуговой сталеплавильной печи // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 1991. – № 2. – С. 98-100.
4. Калашников С. Н., Буинцев В. Н. Математическое обеспечение тренажера «Сталевар ДСП»: Региональная научно-практическая конференция, посвященная 60-летию Сибирского металлургического института. – 1990. – С. 114-115.
5. Мартусевич Е. А., Буинцев В. Н., Калашников С. Н. Структура и математические модели информационно-обучающей системы «Шихтовщик алюминиевого расплава» // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 2 (53). – С. 24.

© Кирчева А. С., Мамедов И. В., 2024

СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ ЧАСТОТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

студент **Мерзлая Дарья Михайловна**,
науч. руководитель: ст. преподаватель **Ершов Кирилл Константинович**,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Высоковольтные двигатели получили широкое распространение в современной промышленности. Однако их использование влечет за собой ряд недостатков, которые необходимо решить, чтобы увеличить сферу их применения. В данной статье рассматриваются способы частотного регулирования высоковольтных двигателей, к которым относятся двухтрансформаторный преобразователь частоты и высоковольтный преобразователь частоты. Описан принцип действия каждого из способов, его преимущества и недостатки, а также проведен их сравнительный анализ.

Ключевые слова: высоковольтный двигатель, частотное регулирование, преобразователь частоты, двухтрансформаторный преобразователь частоты, высоковольтный преобразователь частоты.

COMPARISON OF METHODS OF FREQUENCY REGULATION OF HIGH-VOLTAGE MOTORS

Student **Merzlaya Daria Mikhailovna**,
Academic Advisor: Senior Lecturer **Ershov Kirill Konstantinovich**,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. High-voltage motors have become widespread in modern industry. However, their use entails a number of disadvantages that need to be solved in order to increase the scope of their application. This paper discusses the methods of frequency control of high-voltage motors, which include dual-transformer frequency converter and high-voltage frequency converter. The operation principle of each method, its advantages and disadvantages are described, and their comparative analysis is carried out.

Keyword: high-voltage motor, frequency control, frequency converter, two-transformer frequency converter, high voltage frequency converter.

Высоковольтные двигатели используются для преобразования электрической энергии в механическую. Они получили широкое применение во

многих отраслях промышленности, например, металлургии. Такие электродвигатели работают на больших напряжениях, достигающих 3000 вольт и выше [1].

Несмотря на то, что высоковольтные двигатели очень зарекомендованы на промышленном рынке в качестве приводов оборудования, работающего с постоянной скоростью, сложность регулирования частоты вращения таких двигателей не позволяет расширить сферу их применения.

Регулирование частоты вращения и момента двигателя позволяет существенно сократить электропотребление, избавиться от механических устройств, таких как задвижки, заслонки и редукторы, снизить пусковые токи, а также обладает рядом других преимуществ. Для достижения вышеупомянутого эффекта используются преобразователи частоты (ПЧ).

Использование низковольтного ПЧ и трансформатора представляет собой один из вариантов частотного регулирования высоковольтного двигателя. Такой преобразователь частоты также называется двухтрансформаторный, схема которого приведена на рисунке 1.

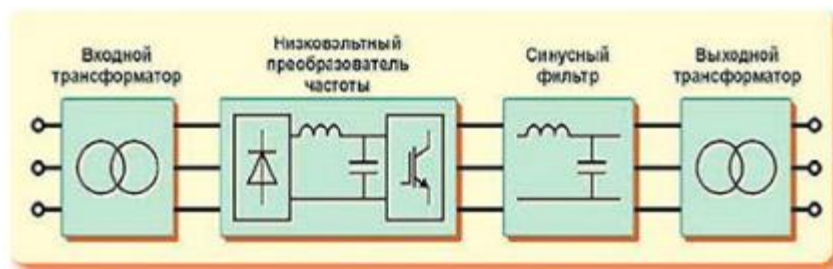


Рисунок 1 – Двухтрансформаторный преобразователь частоты

Данная схема, как, собственно, и видно из ее названия, строится на двойной трансформации напряжения с помощью понижающего (входной трансформатор) и повышающего (выходной трансформатор) высоковольтных трансформаторов. Так же в состав оборудования входят низковольтный преобразователь частоты, который представляет собой устройство, используемое для преобразования постоянного тока низкого напряжения в переменный ток переменной частоты и синусный фильтр, который служит для нивелирования помех и отклонения от нормативных показателей [2].

Принцип работы состоит из нескольких этапов: высокое сетевое напряжение, поданное на входной трансформатор, уменьшается. Далее оно подается к ПЧ, который корректирует частоту и приводит ее в норму. Следующий этап – это подача напряжения ПЧ на синусный фильтр, а затем на выходной трансформатор, который соединен с высоковольтным двигателем, для его повышения.

К преимуществам двухтрансформаторного ПЧ можно отнести следующее: высокая надежность и долговечность, простота установки и обслуживания, отсутствие гармоник высокой частоты, возможность работы в сетях с большими перепадами напряжения. Однако такому типу ПЧ присущи и недостатки, такие как низкий коэффициент полезного действия, ограниченный диапазон регулирования, большие размеры. Стоит отметить, что такому ПЧ необходимы

более толстые жилы кабеля из-за высоких токов в низковольтной части, что приводит к увеличению размеров преобразователя [3].

Вторым способом частотного регулирования является преобразователь частоты высоковольтный многоуровневый (ПЧВМ). Самыми часто используемыми схемами современных частотных преобразователей являются многоуровневые схемы, в основе которых лежат несколько силовых ячеек. Устройства такого типа представляют собой трансформатор, который является многообмоточным фазосдвигающим и обеспечивает гальванически развязное питание силовых ячеек, также его вторичные обмотки разделены на 3 группы по 6 трехфазных обмоток в каждой, что гарантирует подавление гармоник тока, и последовательно включенными силовыми ячейками «выпрямитель – звено постоянного тока – инвертор» [4]. Такие преобразователи построены по схеме многоуровневого преобразования энергии. Конструкция преобразователя частоты исполнения ПЧВМ использует группу низковольтных ячеек, питаемых от гальванически развязанных источников переменного трехфазного напряжения. Каждая ячейка представляет собой однофазный низковольтный преобразователь частоты. Высокое выходное напряжение получается в результате сложения выходных напряжений ячеек. Использование в конструкции хорошо зарекомендовавших себя диодно-тиристорных и IGBT модулей позволило добиться высокой надежности и превосходных массогабаритных показателей преобразователя [5]. Схема ПЧВМ приведена на рисунке 2. В ПЧВМ используется полупроводниковое устройство для преобразования частоты переменного тока. Электронные ключи управляются так, чтобы изменять частоту и напряжение на выходе.

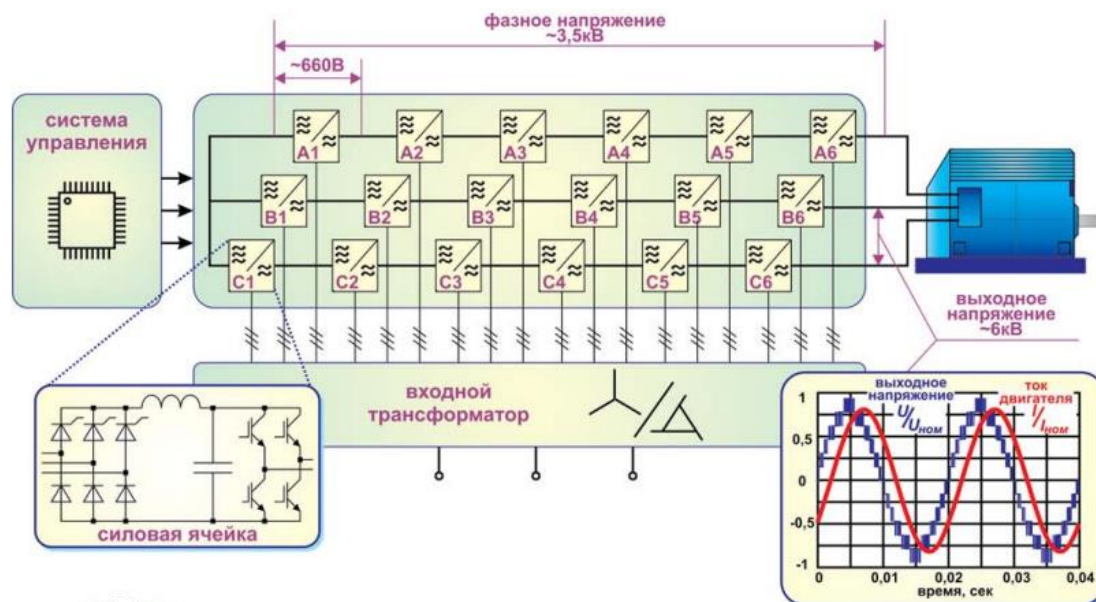


Рисунок 2 – Схема ПЧВМ

Силовая ячейка состоит из выпрямителя на диодах или тиристорах, звена постоянного тока с индуктивным и емкостным элементом, транзисторного инвертора. В итоге в каждом модуле происходит преобразование частоты до

заданного значения. Система управления производит синхронную работу ячеек, а напряжение на выходе имеет заданную частоту и амплитуду.

ПЧВМ обладает преимуществами, к которым относятся: высокий коэффициент полезного действия и коэффициент мощности; возможность обеспечения широкого диапазона регулирования частоты вращения; возможность торможения двигателя постоянным током; высокая ремонтпригодность, то есть простая замена силовой ячейки при его поломке.

Проведем сравнение рассмотренных выше способов частотного регулирования высоковольтных двигателей. В таблице представлено сравнение низковольтного и высоковольтного ПЧ.

Таблица 1 – Сравнение способов частотного регулирования

	Двухтрансформаторный ПЧ	ПЧВМ
КПД	КПД меньше из-за потерь в синусовом фильтре и двух трансформаторах (86-90 %)	Высокий КПД за счет отсутствия потерь в двигателе (97-98 %)
Диапазон регулирования	Ограничен $n > 0,5$ в большую и меньшую сторону за счет увеличения насыщения сердечника выходного трансформатора на низкой частоте и высоких потерях в сердечнике на высокой частоте	1:100 в векторном режиме
Размеры	Большие габариты, так как в данном ПЧ необходимы два трансформатора, которые имеют достаточно большие размеры. Также из-за высоких токов необходимы толстые кабели	Меньшие, чем у двухтрансформаторного ПЧ
Устойчивость к колебаниям напряжения сети	Колебания питающего напряжения допустимы не более 10 %. ПЧ отключается, если напряжение изменится выше предела	Колебания питающего напряжения допустимы до 15 %
Наличие выходного фильтра	Требуется	Не требуется

Стоимость	Высокая стоимость из-за необходимости повышения коэффициента мощности при изменении частоты, для которого используют дополнительные конденсаторы	Стоимость ниже
-----------	--	----------------

Таким образом, в данной статье были рассмотрены 2 способа частотного регулирования высоковольтных двигателей. Каждый из способов имеет свои преимущества и недостатки. Исходя из сравнительного анализа, оказывается, что высоковольтный преобразователь частоты (ПЧВМ) представляет собой более эффективный и экономически выгодный способ частотного регулирования высоковольтных двигателей для большинства механизмов.

Список литературы:

1. Мерзлая, Д. М. COMPARISON OF SOFT-START METHODS FOR HIGH-VOLTAGE MOTORS / Д. М. Мерзлая, К. К. Ершов. – Текст : электронный // Теория и практика современной науки: взгляд молодежи: материалы III Всероссийской научно-практической конференции на английском языке. В 2 ч. / Минобрнауки РФ; ФГБОУ ВО «С.-Петерб. гос. ун-т промышленных технологий и дизайна»; сост. М. А. Васильева, М. С. Липатов, Е. Н. Лашина; под общ. ред. В. В. Кирилловой. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2024. – Ч. I. – с.320-326. – URL: <https://nizrp.narod.ru/metod/kafinyaz/1709252244.pdf> (дата обращения: 10.04.2024).
2. Высоковольтный преобразователь частоты: [сайт]. – URL: <https://prompoint.ru/blog/vysokovoltnyj-preobrazovatel-chastoty/> (дата обращения: 11.04.2024). – Текст: электронный.
3. Высоковольтный преобразователь напряжения (ВЧПП): [сайт]. – URL: <https://drives.ru/stati/vysokovoltnye-preobrazovateli-chastoty/> (дата обращения: 15.04.2024). – Текст: электронный.
3. Преобразователи частоты многоуровневые 250кВт-5,6 МВт: [сайт]. – URL: <https://etxin.com/catalog/highvoltage/preobrazovatelichastotymnogourovnevye-250kVt-5.6MVt/> (дата обращения: 17.04.2024). – Текст: электронный.
4. Высоковольтные преобразователи частоты: [сайт]. – URL: <https://www.elec.ru/viewer?url=/files/078/1238113008/attfile/elektroteksvyisokovoltnyie-pch2009v21web.pdf> (дата обращения: 10.04.2024). – Текст: электронный.

АЛГОРИТМ ЛОКАЛЬНОЙ КОНТУРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ МНОГОСТАДИЙНЫХ ПРОЦЕССОВ ФЛОТАЦИИ

базовый докторант **Шарифжанова Нилфар Муратжановна**,
науч. руководитель: академик, проф. техн. наук
Якубов Максадхан Султаниязович,
канд. техн. наук **Махаматов Нурилла Эргашваевич**,
Туринский политехнический университет,
г. Ташкент, Республика Узбекистан

Аннотация. В данной статье рассматривается применение алгоритма ЛКО для улучшения параметров многостадийного процесса флотации. Основная идея состоит в том, чтобы настроить параметры процесса, такие как скорость подачи реагентов, объемы оборудования и другие, чтобы максимизировать выход ценных минералов и минимизировать потери. Методика включает в себя итеративное применение алгоритма ЛКО к моделям процесса, основанным на физических и химических принципах флотации. Начальные приближения для параметров берутся из экспериментальных данных или предыдущих опытов. Затем алгоритм ЛКО используется для нахождения локальных оптимумов, путем изменения параметров и оценки их влияния на выход продукции. Результаты исследования показывают, что применение алгоритма ЛКО позволяет значительно улучшить эффективность процесса флотации, повысив выход ценных минералов и снизив потери. Такой подход обеспечивает сокращение затрат на производство и повышение конкурентоспособности предприятия в горнодобывающей отрасли.

Ключевые слова: флотация, локальная контурная оптимизация (ЛКО), алгоритмы оптимизации, многостадийные процессы (МСП), оптимизация параметров, контурное управление, методы локальной оптимизации, искусственный интеллект в флотации, оптимизация производственных показателей, автоматизированная система управления (АСУ).

ALGORITHM FOR LOCAL LOOP OPTIMIZATION OF MULTISTAGE FLOTATION PROCESSES

Basic Doctoral Student **Sharifzhanova Nilfar Muratzhanovna**,
Academic Advisor: Academician, Professor in Technology sciences
Yakubov Maksadkhan Sultaniyazovich,
PhD in Technology **Makhamatov Nurilla Ergashvaevich**,
Turin Polytechnic University,
Tashkent, Republic of Uzbekistan

Abstract. This article discusses the use of the LCO algorithm to improve the parameters of a multi-stage flotation process. The basic idea is to adjust process parameters, such as reagent feed rates, equipment volumes, and others, to maximize

the yield of valuable minerals and minimize losses. The technique involves iterative application of the LKO algorithm to process models based on the physical and chemical principles of flotation. Initial approximations for the parameters are taken from experimental data or previous experiments. The LCO algorithm is then used to find local optima by varying parameters and assessing their impact on output. The results of the study show that the use of the LCO algorithm can significantly improve the efficiency of the flotation process, increasing the yield of valuable minerals and reducing losses. This approach reduces production costs and increases the competitiveness of the enterprise in the mining industry.

Keywords: flotation, local loop optimization (LKO), optimization algorithms, multi-stage processes (MSP), parameter optimization, loop control, local optimization methods, artificial intelligence in flotation, optimization of production indicators, automated control system (ACS).

Возрастающие потребности народного хозяйства в цветных металлах и ухудшение сырьевой базы вызывают необходимость не только увеличения объемов добычи и переработки руды, но и дальнейшего совершенствования техники и технологии обогащения руд цветных металлов на основе современных тенденций ее развития, достижений, опыта работы передовых отечественных и зарубежных предприятий, применения для управления технологическими процессами средств автоматизации и вычислительной техники. Локальная контурная оптимизация многостадийных процессов флотации – это важная область исследований в горнодобывающей промышленности. Алгоритм локальной контурной оптимизации (ЛКО) является эффективным инструментом для оптимизации многостадийных процессов флотации в горнодобывающей промышленности. Флотация – это основной технологический процесс, используемый для обогащения руд ценных минералов, путем их прилипания к пузырькам воздуха в водной среде. Оптимизация этого процесса критически важна для повышения эффективности и уменьшения затрат. Интенсификация работы флотационного передела, повышение его эффективности является важной технико-экономической проблемой. Одним из важнейших путей решения этой проблемы является совершенствование управления флотацией на основе применения современных методов системного анализа, математического моделирования, вычислительной техники и средств автоматизации.

Промышленный флотационный комплекс представляет собой совокупность потоков пульповоздушной смеси, технологического разделительного процесса и аппаратов для его осуществления. Эффективное управление комплексом должно обеспечить оптимизацию условий протекания флотационного процесса в соответствии с принятыми критериями на всех его стадиях. Достижение этой цели возможно при обеспечении управления флотационным комплексом, как единым целым, включающего взаимосвязанное оперативное регулирование параметров технологической схемы, характеризующих материальные потоки пульпы, и параметров технологического режима флотации. В настоящее время, в связи с отсутствием теории флотации, как объекта управления, обусловленным сложностью процессов, специфичностью каждого из них на различных

предприятиях, и по ряду других причин, работы по совершенствованию управления флотационными процессами ведутся разрозненно, не охватывают проблем управления флотацией в целом и сводятся, как правило, к решению отдельных вопросов оптимизации технологических режимов или схем флотации.

Одной из важных задач анализа функционирования МСП является выявление и формирование критериев оптимизации технологических процессов и их схем, количественная оценка их связей с параметрами исходного сырья и продуктов производства.

Любая многостадийная система как сложная техническая система имеет функциональную, технологическую, организационную и информационную структуру, оптимизация функционирования которых достигается на основе системы критериев различной природы, характеризующих степень достижения частных целей по каждой альтернативе.

При постановке любой задачи по управлению МСП критерием управления выбирается функционал, связывающий основные технико-экономические показатели производства с управляющими воздействиями при заданных ограничениях.

Рассмотрим задачу оптимизации, сформулированную следующим образом. На основе полученного математического описания деятельности объекта требуется найти максимально достижимые в данный период времени выходные характеристики объекта и определить наилучшие условия функционирования объекта.

Для решения задачи управления многостадийным флотационным процессом в первую очередь необходимо иметь адекватную математическую модель оптимизируемого процесса, общий вид которой выражается соотношением:

$$\beta = f(\bar{x}, \bar{u}, \bar{\xi}, \bar{a}),$$

где β – выходной показатель процесса; $\bar{x}, \bar{u}, \bar{\xi}$ – векторы контролируемых, управляющих, неконтролируемых параметров; $\bar{a}$ – коэффициент модели.

При решении задачи оптимизации, т. е. задачи определения экстремального значения выходного показателя β , критерий оптимальности часто рассматривается как функция управляющих и контролируемых $\bar{x}$ параметров $\beta = \beta(\bar{x}, \bar{u}, \bar{a})$. В этом случае решение задачи оптимизации сложного многостадийного флотационного процесса (контура) заключается в определении оптимальных значений управляющих параметров $\bar{u} = (u_1^*, u_2^*, \dots, u_n^*)$, обеспечивающих экстремум функции

$$\beta(\bar{x}, \bar{u}, \bar{a}) = \max_{\bar{u} \in D} \beta(\bar{x}, \bar{u}, \bar{a})$$

при выполнении условия

$$D = \left\{ \bar{u} \in \frac{\mathcal{R}^n}{c_i} \leq u_i \leq d_i, i = 1, 2, \dots, n \right\}$$

и стабильных значениях $x_1, x_2, \dots, x_m$.

При решении задач оптимизации определить точно значения оптимального параметра $\bar{U}^*$ или невозможно, или крайне затруднительно. Поэтому оптимальное значение $\bar{U}^*$ отыскивается приближенными методами [2, 10].

Выбор того или иного метода в значительной степени определяется постановкой задачи, а также используемой математической моделью объекта оптимизации.

Укрупненно методы решения оптимальных задач можно подразделить на аналитические и алгоритмические: под первыми подразумеваются те, что решают задачу оптимизации при помощи формулы (т. е. достаточно точно и за конечное число шагов); алгоритмические основаны на идее последовательного приближения.

При решении оптимальных задач в АСУ многостадийными процессами в этом и в большинстве случаев применяются алгоритмические методы, так как при этом указывается способ перехода от одного приближения вектора оптимизируемых параметров X_N к другому X_{N+1} . Необходимым условием является сходимость метода к точному решению задачи X^*

$$\lim_{N \rightarrow \infty} X_N = X^*.$$

В простейшем случае алгоритмический метод задается оператором $\mathcal{F}$, связывающим два следующих друг за другом приближения рекуррентной формулой:

$$X_{N+1} = \mathcal{F}(X_N).$$

В более сложных случаях применение алгоритмических методов требует знания большого объема предыстории:

$$X_{N+1} = \mathcal{F}(X_N, X_{N+1}, \dots, X_{N+n}).$$

Так как задача оптимизации работы процесса флотации сводится к максимизации выхода готового продукта, представленного в нелинейном виде при заданном качестве готового концентрата и с учетом ограничений на циркуляционные потоки, то целесообразно решать ее методами нелинейного программирования [1, 3, 5].

Алгоритм оптимизации метода случайного поиска. В процессе поиска локального минимума в качестве критерия эффективности используется метод определения наилучшего направления спуска с самообучением, суть которого заключается в следующем [7, 8].

После определения наилучшей пробы $X^\ell + \Delta X^\ell$ относительно вектора $X^{\ell+1} = X^\ell + \Delta X^\ell$ производится серия m испытаний $X^{\ell+1} + \xi$ где ξ – случайный вектор, $(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k)$ нормально распределенный относительно ΔX^ℓ с дисперсией $\delta = (\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_k)$.

Дисперсия зависит от скорости изменения функции невязки

$$\delta^{\ell+1} = \begin{cases} 0,5 \delta^\ell, & \text{если } \Delta Q^\ell < \Delta Q^{\ell-1} \\ 2\delta^\ell, & \text{то же } \Delta Q^\ell \geq \\ \lambda \Delta Q^{\ell-1} & \\ \mathcal{P}, & \text{то же } \delta^{\ell+1} \geq \mathcal{P} \\ \mathcal{H}, & \text{то же } \ell = \nu Q^\ell \geq 0, \end{cases}$$

где ΔQ^ℓ и $\Delta Q^{\ell-1}$ – приращения невязки соответственно за ℓ -й и $(\ell - 1)$ шаги: $\mathcal{P}(\mathcal{P}_1, \mathcal{P}_2, \dots, \mathcal{P}_k)$ – вектор, ограничивающий δ сверху; $\mathcal{H}(\mathcal{h}_1, \mathcal{h}_2, \dots, \mathcal{h}_k)$ – начальное значение δ .

Из серии проб выбирается наилучшая $\mathcal{X}^{\ell+1} + \Delta \mathcal{X}^{\ell+1}$, и производится вновь серия m нормально распределенных испытаний и т. д.

При $\Delta Q^\ell > 0$ происходит переход к серии m равномерно распределенных испытаний.

Когда подряд несколько серий из m равномерно распределенных испытаний неудачны, т. е. не дают снижения $Q(x)$, то шаг уменьшается вдвое и производятся новые серии испытаний до выполнения условия окончания локального минимума:

$$\mathcal{K}_{\mathcal{H}} = \mathcal{K}_0 \cdot \varepsilon < \Delta Q^*,$$

где $\mathcal{K}_{\mathcal{H}}$ – количество подряд идущих неудачных серий испытаний; $\mathcal{K}_0 = const$ определяет плотность просмотра окрестности локального минимума; ε – точность поиска; ΔQ^* – наибольшее приращение за последнюю неудачную серию.

Для создания системы управления многостадийными флотационными процессами целесообразно изучить характеристики отдельных контуров. К последним относятся основной, контрольный, дофлотационный, про продуктовый и перечистный. Для каждого контура в (1) были определены оптимальные значения их выходных параметров, обеспечивающих максимум выхода концентрата для процесса.

$$\theta_{\text{отв}} = \beta_{10} + \frac{\alpha - \beta_{10}}{1 - \gamma_{10}} \quad (1)$$

Задача контурной оптимизации заключается в поддержании выхода концентрата каждого контура в заданных значениях с помощью варьирования управляющих параметров процесса в допустимой области и выполнения определенных ограничений, взятых из таблицы 1.

При решении этой задачи используем математические модели для отдельных контуров, приведенные на рисунке 1 [4].

Построение микромоделей отдельных контуров МСП флотации необходимо для определения влияния входных возмущающих и управляющих параметров на выходные показатели каждого контура.

С целью построения математической модели отдельных контуров МСП флотации, был проведен активный эксперимент в реальных производственных условиях на восьмой секции медно-обогадительной фабрики НГМК.

При планировании эксперимента основной уровень был выбран с учетом существующего на фабрике технологического режима. Общие расходы реагентов подчеркивались на уровнях, заданных матрицей планирования, системами автоматического регулирования. Перед началом опыта стабилизировался уровень пульпы в зумпфе и во всех флотомашинах исследуемой секции. При проведении активного эксперимента измерялись управляющие и возмущающие параметры. На вход каждого контура подавались с интервалами реагенты, а пробы отбирались на выходе каждого контура ручным

способом. На нормально функционирующей секции многостадийного флотационного процесса было проведено сорок часовых наблюдений (табл. 1.).

Таблица 1 – Матрица планирования и результаты экспериментов

Но- мер опы- та	Контурсы и факторы										Параметры оптимизации, %				
	I			II		III		IV		V	β_2	β_4	β_6	β_8	β_{10}
	X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_1	X_2	X_1	X_2	X_1					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	5,97	5,16	5,76	4,00	20,15
2	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	11,83	5,12	5,76	3,36	21,83
3	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	10,94	5,44	4,96	3,20	20,94
4	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	6,57	5,50	2,68	3,20	19,80
5	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	4,07	4,80	5,60	4,16	20,17
6	+	-	-	-	+	+	+	+	-	-	8,59	2,80	2,80	7,86	18,59
7	+	-	-	-	+	+	+	+	-	-	12,57	3,84	6,80	7,12	18,11
8	+	-	-	-	+	+	+	+	-	-	8,67	3,44	3,12	4,96	19,73
9	+	-	-	-	+	+	+	+	-	-	9,06	3,84	7,14	4,16	20,15
10	+	-	-	-	+	+	+	+	-	-	8,99	5,28	3,76	4,08	19,15
11	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-	14,62	3,80	6,76	3,04	22,46
12	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-	8,71	1,44	7,96	4,56	20,18
13	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-	7,40	3,96	6,28	3,36	21,70
14	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-	15,76	5,20	4,52	2,24	19,47
15	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-	11,86	3,04	6,28	4,16	18,52
16	-	+	-	-	-	+	-	-	+	-	10,98	2,01	3,32	1,28	19,09
17	-	+	-	-	-	+	-	-	+	-	9,38	1,68	3,46	1,28	17,14
18	-	+	-	-	-	+	-	-	+	-	9,95	2,24	2,96	1,12	19,03
19	-	+	-	-	-	+	-	-	+	-	10,40	2,83	6,62	1,28	19,15
20	-	+	-	-	-	+	-	-	+	-	12,11	2,72	5,32	1,12	18,90
21	-	+	+	-	-	-	-	+	-	+	9,12	2,96	4,32	6,88	22,53

Интервалы между наблюдениями составляли три минуты.

При построении микромоделли процесса флотации для каждого из контуров выделены следующие наиболее значимые параметры:

I основной:

ψ – содержание ценного металла (меди) в концентрате основной флотации β_2 , %; x_1 – расход сернистого натрия Na_2S , г/т; x_2 – то же ксантогената KSt , г/т; x_3 – то же вспенивателя Т-80; г/т; x_4 – содержание ценного металла в питании α , %; x_5 – щелочность пульпы pH , %; x_6 – производительность, Q , %; x_7 – плотность пульпы в питании π_{π_α} , %; x_8 – то же в отвальном сливе основной флотации $\pi_{\pi_{\beta_1}}$, %; x_9 – содержание ценного металла в отвальном продукте основной флотации β , %; x_{10} – объемный расход пульпы в питании основной флотации, $m^3/ч$.

П контрольный:

ψ – содержание ценного металла в концентрате контрольной флотации β_4 , %; x_1 – расход сернистого натрия Na_2S г/т; x_2 – то же ксантогената KSt , г/т; x_3 – содержание ценного металла в отвальном продукте основной флотации β_1 , %; x_4 – плотность пульпы в отвальном сливе основной флотации π_{β_1} , %; x_5 – то же контрольной флотации π_{β_3} ; x_6 – содержание ценного металла в отвальном продукте контрольной флотации β , %; x_7 – щелочность пульпы.

III дофлотационный:

ψ – содержание ценного металла в концентрате дофлотационного контура β_6 , %; x_1 – расход ксантогената KSt , г/т; x_2 – то же вспенивателя Т-80, г/т; x_3 – содержание ценного металла в отвальном продукте контрольного контура β_3 , %; x_4 – то же дофлотационного контура β_5 , %; x_5 – плотность пульпы в отвальном сливе контрольного контура π_{β_3} , %; x_6 – то же дофлотационного контура π_{β_5} , %; x_7 – щелочность пульпы, pH .

IV промпродуктовый:

ψ – содержание ценного металла в концентрате промпродуктового контура β_8 , %; x_1 – расход ксантогената KSt , г/т; x_2 – то же вспенивателя Т-80, г/т; x_3 – содержание ценного металла в концентрате контрольной флотации β_6 , %; x_4 – то же в отвальном продукте перемешного контура β_8 , %; x_5 – то же в отвальном продукте промпродуктового контура β_9 , %; x_6 – плотность пульпы в отвальном сливе перемешного контура π_{β_9} , %; x_7 – то же промпродуктового контура π_{β_7} , %; x_8 – щелочность пульпы, pH .

V перемешной:

ψ – содержание ценного металла в концентрате перемешного контура β_{10} , %; x_1 – расход извести CaO , г/т; x_2 – содержание ценного металла в концентрате основного контура β_2 , %; x_3 – то же дефлотационного контура β_6 , %; x_4 – то же промпродуктового контура β_8 , %; x_5 – то же в отвальном продукте перемешного контура β_9 , %; x_6 – плотность пульпы в отвальном сливе перемешного контура π_{β_4} , %; x_7 – щелочность пульпы, pH .

Температура пульпы в пределах $8 \div 10$ °С. В данном случае во всех случаях под содержанием металла подразумевается содержание меди. При построении модели контура МСП флотации за входные параметры приняты содержание меди в руде, расход реагентов (ксантогената, вспенивателя, сернистого натрия, извести), щелочность пульпы и ее плотность, производительность и температура, за результирующие – извлечение металлов в коллективный концентрат, содержание меди в нем и в отвальных продуктах.

Исследование зависимостей основных показателей процесса показало, что содержание меди в концентрате и в отвальных продуктах зависит от расхода реагента. Эти зависимости допустимо аппроксимируются полиномом не выше второй степени, причем экстремум в области оптимальных значений расхода реагента позволяет предполагать возможность экстремального регулирования.

На основании результатов планирования эксперимента методом регрессионного анализа построены математические модели для отдельных контуров процесса флотации как в натуральном, так и в стандартизованном масштабе. Для получения статистической модели исследуемого процесса была использована библиотека стандартных программ ВТ, с ее помощью составлена программа для расчета коэффициентов модели и анализа входящих в модель параметров.

Средние значения и дисперсия параметров, характеризующая рассеяния результатов опытов, определены по формулам (2) и (3).

$$\mathcal{R}_{\mathcal{K}p} = m_E + \sum_{i=1}^n \xi_i \mathcal{K}_E(\tau_i) \quad (2)$$

$$\mathcal{R}_{\mathcal{K}p} = m \int_0^T \mathcal{W}(\tau) d\tau - m_y + \sum_{i=1}^n \xi_i \left[\int_0^T \int_0^T \mathcal{K}_x \dots (\tau_i - \lambda + \tau) \mathcal{W}(\tau) d\tau d\lambda - 2 \int_0^T \mathcal{K}_{xy}(\tau_i + \tau) \mathcal{W}(\tau) d\tau + \mathcal{K}_y(\tau_i) \right], \quad (3)$$

Проверка адекватности полученных уравнений проведена с помощью критерия Фишера [3]:

$$\mathcal{F} = \frac{\mathcal{S}_{ag}^2}{\mathcal{S}_y^2} \leq \mathcal{F}(0,005; \mathcal{f}_{ag}; \mathcal{f}_y),$$

где $\mathcal{S}_{ag}$ – дисперсия адекватности модели, определяемая по формуле:

$$\mathcal{S}_{ag} = \frac{\sum_{i=1}^n (\psi_i - \psi_i^*)^2}{n - m - 1}$$

здесь ψ_i – расчетное значение величины в i -м опыте; $\mathcal{F}(0,005; \mathcal{f}_{ag}; \mathcal{f}_y)$ – критерий Фишера при 5 %-ном уровне значимости; $\mathcal{f}_{ag} = m - 1$ – число степеней свободы дисперсии адекватности; $\mathcal{f}_y$ – то же воспроизводимости; n – то же экспериментов; m – то же параметров.

В качестве критерия оптимизации выбирается минимум затрат на управления

$$\mathcal{C}_i = \sum_{k=1}^n \mathcal{C}_k \mathcal{U}_{ik} \rightarrow \min$$

при поддержании содержания полезного металла в концентрате на выходе каждого в заданных значениях

$$\beta_{2i\text{зад}} - \beta_{2i}(x_{ij}, u_{ik}, \theta_{i\ell}) = 0$$

и ограничений в виде неравенств

$$\theta_{i\ell} \geq \varphi_i(x_{ij}, u_{ik}, \gamma_{is}, \beta_{2i}), \quad (4)$$

а также двусторонних ограничений на переменные

$$x_{ij}^- \leq x_{ij} \leq x_{ij}^+, \quad u_{ik}^- \leq u_{ik} \leq u_{ik}^+, \quad \gamma_{is}^- \leq \gamma_{is} \leq \gamma_{is}^+, \quad \gamma_{is} > 0, x_{ij} \geq 0, u_{ik} \geq 0, i = \overline{1, n}, \quad (5)$$

где $\mathcal{C}_k$ – стоимость k -го управляющего параметра; i – номер контура; k, j, s – номера соответственно управляющих, входных параметров и расходов твердого; $\beta_{2i\text{зад}}$ – заданное качество выходного показателя; u_{ik} – управляющие параметры (расход сернистого натрия, бутилового ксантогената, вспенивателя, извести); x_{ij} – входные параметры содержания полезного металла в исходном сырье, щелочность пульпы, производительность, объемный расход; γ_{is} – расход

твердого; β_{2i}, φ_i – структура математической модели и ограничений i -го контура управления.

Задача оптимизации для всей технологической схемы имеет вид:

$$Ц = \sum_{i=1}^r \sum_{k=1}^n c_k u_{ik} \rightarrow \min$$

или

$$Ц = \sum_{i=1}^r Ц_i \quad (r - \text{количество контуров}).$$

При выполнении условий (4), (5) применение алгоритма случайного поиска для выбора оптимальных значений управляющих параметров процесса, изменяющихся в заданной области $\mathcal{D}$, позволяет получить координаты реагентов (управляющих параметров), дающих локальные и глобальные минимумы для стоимости управления.

По моделям, указанные на рисунке 1, для критериев эффективности методом случайного поиска на ПК определялись экстремальные значения функций $\beta_{i\text{расч.}}$ и соответствующие им расходы реагентов (табл. 1), обеспечивающие выполнение условий (4), (5).

Контур	Модель
В натуральном масштабе (а)	
Основной	$y = \beta_2 = 76,7813 + 0,0057x_1 - 0,0399x_2 - 0,1863x_3 - 37,1979x_4 + 0,8053x_5 - 0,0076x_6 + 12,4656x_7 - 44,0540x_8 + 19,9862x_9 - 0,0100x_{10}$
Контрольный	$y = \beta_4 = 0,5876 + 0,3066x_1 - 0,0561x_2 - 27,8452x_3 + 3,0077x_4 - 1,3284x_5 + 8,4164x_6 - 0,1863x_7 - 0,0382x_1x_2 + 5,5642x_2x_3$
До флотационный	$y = \beta_6 = 10,5076 + 0,0831x_1 + 0,4483x_2 + 57,5891x_3 + 4,2084x_4 - 11,9817x_5 + 5,5816x_6 - 0,3798x_7 - 0,0163x_1x_2 - 3,4223x_2x_3$
Промпродуктовый	$y = \beta_8 = 79,0377 + 0,1018x_1 - 1,3535x_2 - 2,2275x_3 - 3,8305x_4 + 3,5253x_5 - 1,1070x_1 + 77,5182x_1 + 0,5296x_1x_2 + 0,3371x_2x_3$
Перечистной	$y = \beta_{10} = 5965 + 0,0032x_1 - 0,0562x_2 - 0,0560x_3 - 0,1662x_4 - 1,9177x_5 - 26,7642x_1x_2 + 0,1272x_2x_3$
В стандартизованном масштабе (б)	
Основной	$y = \beta_2 = 0,0391x_1 - 0,1104x_2 - 0,3218x_3 - 0,5533x_4 + 0,1373x_5 - 0,0457x_6 + 0,1335x_7 - 0,5576x_8 + 0,2315x_9 - 0,3309x_{10}$
Контрольный	$y = \beta_4 = 1,1179x_1 - 0,6184x_2 - 0,6725x_3 + 0,0803x_4 - 0,0543x_5 + 0,1484x_6 - 0,0670x_6 - 1,0414x_1x_2 + 1,2752x_2x_3$
Дофлотационный	$y = \beta_6 = 0,1299x_1 + 1,3899x_2 - 1,0768x_3 + 0,1286x_4 - 0,5202x_5 + 0,0588x_6 - 0,1452x_7 - 0,4537x_1x_2 - 1,5628x_2x_3$
Промпродуктовый	$y = \beta_8 = 0,3075x_1 - 1,3625x_2 - 0,3759x_3 - 0,15584x_4 + 0,0409x_5 - 0,0122x_6 + 0,5309x_7 + 0,1353x_1x_2 + 1,9609x_2x_3$
Перечистной	$y = \beta_{10} = 0,3797x_1 - 0,1112x_2 - 0,0494x_3 - 0,2234x_4 - 0,1010x_5 - 0,4016x_6 + 0,0428x_7$

Рисунок 1 – Модели контуров процесса флотации относительно содержания меди в концентрате

Таким образом, с помощью алгоритма оптимизации стремимся к заданному значению, найденному при решении задачи межконтурной оптимизации. Поддержание показателя качества выходного концентрата в пределах заданных значений осуществляется путем выбора вектора управляемых параметров (реагентов), удовлетворяющих наложенным ограничениям.

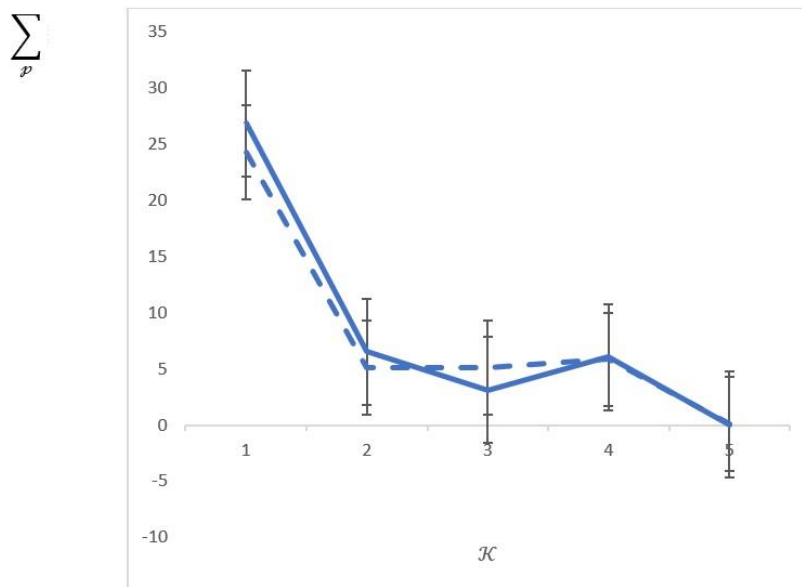


Рисунок 2 – Сравнительные затраты на управление по контурам, где Σ_p – суммарный расход реагентов, K – номера контуров

Применение метода случайного поиска позволило определить оптимальный реагентный режим, что и необходимо для создания системы оптимального управления МСП флотации медных руд [9].

Для оценки эффективности полученных результатов был проведен сравнительный анализ с текущими значениями управляющих параметров в условиях нормально функционирующего объекта за месячный период. Полученные данные после соответствующих обработок сведены в таблицу 2.

Кроме основных управляющих параметров в период контрольной проверки в процессе подавались такие реагенты, как аэрофлот и веретенное масло. Регулируемые параметры поддерживались в пределах: pH-щелочность пульпы – $9 \div 9,5$, плотностный режим флотации: питание основной флотации – $28 \div 30$ % твердого, промпродуктовой флотации – $15 \div 18$ % твердого, питание второй перечистки – $18 \div 20$ % твердого, температура пульпы – $8 \div 120$ с.

Таблица 1 – Значения управляющих параметров после решения задач контурной оптимизации

Факторы	Единицы измерения	Контур управления					Суммарный расход
		ОФ	КФ	ДФ	ППФ	ПФ	
Сернистый натрий	кг/10 ³ т	33,341	10,507	-	-	-	43,848
	сум	2,54	7,92	-	-	-	10,460
Бутиловый ксантогенат	кг/10 ³ т	13,759	2,880	3,335	5,452	-	25,426
	сум	12,37	2,58	2,99	4,90	-	22,840
Вспениватель	кг/10 ³ т	18,567	-	9,626	4,873	-	33,066
	сум	3,97	-	2,08	0,95	-	7,000

Известь	$\frac{\text{кг}/10^3\text{т}}{\text{сум}}$	-	-	-	-	$\frac{0,773}{0,008}$	$\frac{0,773}{0,008}$
$\sum_p$	сум	24,26	5,12	5,07	5,85	0,008	40,308
β_{2i}	%	9,893	3,430	4,254	5,270	20,000	

Таблица 2 – Значения управляющих параметров без оптимизации

Факторы	Единицы измерения	Контур управления					Суммарный расход
		ОФ	КФ	ДФ	ППФ	ПФ	
Сернистый натрий	$\frac{\text{кг}/10^3\text{т}}{\text{сум}}$	$\frac{40,0}{9,509}$	$\frac{18,0}{4,279}$	-	-	-	$\frac{58,0}{13,788}$
Бутиловый ксантогенат	$\frac{\text{кг}/10^3\text{т}}{\text{сум}}$	$\frac{14,0}{12,586}$	$\frac{2,5}{2,248}$	$\frac{3,0}{2,697}$	$\frac{6,0}{5,394}$	-	$\frac{25,5}{22,925}$
Вспениватель	$\frac{\text{кг}/10^3\text{т}}{\text{сум}}$	$\frac{22,0}{4,739}$		$\frac{2,0}{0,431}$	$\frac{3,0}{0,647}$	-	$\frac{27,0}{5,817}$
Известь	$\frac{\text{кг}/10^3\text{т}}{\text{сум}}$	-	-	-	-	$\frac{1,546}{0,016}$	$\frac{1,546}{0,016}$
$\sum_p$	сум	26,834	5,527	3,128	6,041	0,016	42,546
β_{2i}	%	8,73	3,36	3,91	5,18	18,73	

На рисунке 2 приводится распределение затрат на управлении процессом флотации по контурам. Из графика видно, что затраты на управление с использованием контурной оптимизации (пунктирная линия) по сравнению с текущими затратами на фабрике без оптимизации (непрерывная линия) в основной, контрольной, промпродуктовой и перечистой флотации ниже, а в дофлотации существенно выше.

Тем не менее перераспределение затрат между контурами является в целом для обогащительного передела экономически оправданным: суммарные затраты на управление снижаются на одну тысячу тонн перерабатываемой руды, что составляет 5,24 %. Одновременно наблюдается повышение качества концентрата.

Изложенный алгоритм контурной оптимизации процесса флотации обладает рядом преимуществ: малым объемом машинной памяти, быстродействующими мощностями и сравнительно легкой реализуемостью в производственных условиях [6].

В заключение, алгоритм локальной контурной оптимизации представляет собой мощный инструмент для улучшения эффективности многостадийных процессов флотации. Этот подход позволяет систематически оптимизировать параметры процесса в реальном времени, учитывая изменчивость входных данных и требования к качеству конечного продукта. На основе алгоритма

локальной контурной оптимизации можно разработать автоматизированные системы управления, которые могут адаптироваться к изменениям в условиях производства и добиваться оптимальных результатов.

Однако, необходимо учитывать, что успешная реализация алгоритма требует точной калибровки моделей процесса и аккуратного управления параметрами оптимизации. Кроме того, интеграция алгоритма в реальные производственные системы может потребовать значительных усилий по обучению персонала и модернизации технической инфраструктуры.

В целом, алгоритм локальной контурной оптимизации представляет собой перспективное направление исследований в области флотации, которое может привести к значительным улучшениям в технологической и экономической эффективности процессов обогащения руд. Дальнейшие исследования и разработки в этой области могут привести к новым методам и инструментам для оптимизации процессов флотации и повышения конкурентоспособности предприятий на рынке.

Список литературы:

1. Меньков, А. В. Теоретические основы автоматизированного управления: учебник для вузов / А. В. Меньков, В. А. Острейковский – М.: Издательство «Оникс», 2005. – 640 с.
2. Абрамов, А. А. Собрание сочинений: Т. 8: Флотация. Сульфидные минералы: учебное пособие / А. А. Абрамов. – М.: Издательство «Горная книга», 2013. – 704 с.
3. Титовский, А. В. Автоматизация управления обогатительными фабриками: учебное пособие / А. В. Титовский, А. А. Дружинина, Н. В. Федорова. – М.: Недра, 1977. – 527 с.
4. Радченко, С. Г. Анализ методов моделирования сложных систем, 2015
5. Сидняев, Н. И., Вилисова Н.И. Введение в теорию и планирование эксперимента: учеб. пособие / Н. И. Сидняев, Н. И. Вилисова. – М.: Изд-во МГТУ им. М.Э. Браумана, 2011. – 463 с.
6. Махаматов Н. Е., Якубов М. С., Шарифжанова Н. М. Моделирование многостадийного процесса обогащения руды флотацией. – Т.: «Фан ва технологиялар наширёт-матбаа уйи», 2023. – 136 с.
7. Шарифжанова Н. М., Якубов М. С., Франческо Грегоретти. Алгоритм адаптации самонастройки параметров моделей процесса многостадийной флотации (2024 г.).
8. Шарифжанова Н. М., Якубов М. С. Современное состояние управления процессами многостадийной флотации.
9. Шарифжанова Н. М. Принципы декомпозиции сложных многостадийных процессов на составные подсистемы. Сеть конференций E3S 474, 01052 (2024 г.) ICITE 2023, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447401052>
10. Шарифжанова Н. М., Ф. Грегоретти. Алгоритм адаптации регулировки параметров процесса флотации.

РАЗВИТИЕ МИКРОГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ: МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ

канд. экон. наук, доцент **Аркадьева Ольга Геннадьевна**,
Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова,
г. Чебоксары, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассматриваются ключевые тенденции по развитию распределенной генерации электроэнергии в странах мира. В результате анализа установлено, что наблюдаемые тренды сохраняют устойчивые темпы и в дальнейшем в силу того, что распределенные источники энергии являются самыми дешевыми источниками электроэнергии на большинстве рынков, легкодоступны и обладают государственной поддержкой.

Ключевые слова: распределенные источники энергии, фотоэлектрические солнечные панели, технологии балансировки энергосистемы, возобновляемые источники энергии.

DEVELOPMENT OF MICRO-GENERATION OF ELECTRIC ENERGY: WORLD TRENDS

PhD in Economics, Associate Professor **Arkadeva Olga Gennadevna**,
Chuvash State University named after I.N. Ulianov,
Cheboksary, Russian Federation

Abstract. The paper examines key trends in the development of distributed electricity generation in countries around the world. As a result of the analysis, it was established that the observed trends will maintain a steady pace in the future due to the fact that distributed energy sources are the cheapest sources of electricity in most markets, are easily accessible and have government support.

Keywords: distributed energy sources, photovoltaic solar panels, grid balancing technologies, renewable energy sources.

Глобальный энергетический переход выступает одним из ключевых мировых трендов, определяющим жизнь и развитие современного человечества [1]. Согласно прогнозу Международного энергетического агентства (далее – МЭА) в прогнозном периоде 2024-2026 гг. рост спроса на электроэнергию составит 3,4 % ежегодно, при этом 15 % прироста будет приходиться на страны с развитой экономикой [2]. Рост потребления электроэнергии домохозяйствами, вызванный ростом числа установок кондиционеров, тепловых насосов и зарядных устройств для автомобилей, приводит к смене парадигмы потребления электроэнергии. По данным МЭА, внедрение тепловых насосов превышает количество установленных систем отопления, работающих на традиционном топливе, на ключевых рынках, таких как Франция и США. Повышенное

потребление энергии создает разного рода риски, концентрирующиеся в производственных кластерах [3], и вынуждает органы государственного управления формировать энергетические стратегии [4].

Дополнительное влияние оказывает снижение стоимости фотоэлектрических солнечных панелей (далее – ФСП) и законодательные инициативы, поощряющие внедрение современных технологий генерации и хранения электроэнергии домохозяйствами. Во многих частях мира растет объем распределенной генерации, за счет установки ФСП на крыше. В 2022 г. распределенная генерация домохозяйств покрывала 2 % от общего спроса на электроэнергию в Италии и 1 % в таких странах, как Германия, Испания, Бразилия и Япония. При этом прирост генерации осуществляется высокими темпами, лидирующие позиции принадлежат Испании и Бразилии [1].

Европейская инициатива по солнечным крышам предполагает, что ФСП на крыше могут обеспечить почти 25 % электроэнергии в ЕС и предполагает обязательную установку ФСП на крыше для всех новых нежилых зданий с площадью более 250 м² с 2026 г., для всех существующих общественных и коммерческих зданий – с 2027 г. и всех новых жилых домов – с 2029 г. [5].

Стратегия децентрализации генерации энергии принята и Японией, в рамках которой предусматривается использование распределенных источников энергии (далее – РИЭ) посредством автоматизированных систем и рыночных инструментов, создание сети следующего поколения с интегрированными технологиями балансировки энергосистемы, основанной на массовом внедрении возобновляемых источников энергии, построении микросетей и генерации энергии домохозяйствами [6].

В России микрогенерация регулируется Федеральным законом № 471-ФЗ от 27.12.2019 и Постановлением Правительства № 299 от 02.03.2021 г., в соответствии с которыми установлены правила ценообразования розничного рынка энергии, вырабатываемой домохозяйствами, порядок заключения договора технологического присоединения и продажи энергии на розничном рынке сетевой организации. Установленная мощность солнечных и ветряных электростанций России составляет 4,69 ГВт. Прирост выработки электрической энергии из ветра и солнца за 2023 г. составил 5 % [7], ее доля в общем объеме производства электрической энергии составила 0,7 %. Однако в программных документах регионального уровня вопросу распределенных источников генерации уделяется недостаточное внимание [8].

Регулирование отношений в сфере генерации солнечной и ветряной энергии в Республике Казахстан определяется Законом Республики Казахстан от 04.06.2009 года № 165-IV «О поддержке использования возобновляемых источников энергии». Законодательство гарантирует беспрепятственное подключение к электрическим сетям и гарантированный выкуп энергии посредством аукционов. Инвесторам предоставляются специальные преференции: освобождение от таможенных пошлин, государственные натурные гранты, налоговые льготы. Министерством энергетики Республики Казахстан разрабатывались поправки в Закон Республики Казахстан «О поддержке использования возобновляемых источников энергии» в части

внедрения понятия «Маломасштабный объект по использованию возобновляемых источников энергии» и меры государственной поддержки индивидуальных потребителей. Однако эти поправки не были поддержаны Республиканской бюджетной комиссией, поэтому на текущий момент генерация энергии домохозяйствами регулируется на общих основаниях. Установленная мощность солнечных и ветряных электростанций Республики Казахстан составляет 2,6 ГВт. Прирост выработки электрической энергии из ветра и солнца за 2023 г. составил 30 %, ее доля в общем объеме производства электрической энергии составила 5,3 % [9].

В последние годы получили широкое распространение электрические счетчики, позволяющие предоставлять показания в режиме реального времени пользователю и энергоснабжающей компании. Их используют 80 % домохозяйств в США, 70 % в ЕС, в Латинской Америке 10 %. Исследование показывает, что установка счетчика в ЕС, которая обходится в 180-200 евро, позволяет сэкономить в среднем 280 евро ежегодно за счет динамического ценообразования [10].

Дополнительную нагрузку на энергосистему создает электротранспорт. Если в 2002 г. в эксплуатации находилось 650 млн автомобилей с двигателем внутреннего сгорания, то к 2040 г. ожидается на дорогах 650 млн электроавтомобилей. В 2023 г. Норвегия уже достигла доли рынка электроавтомобилей 82 %, Швеция – 32 %, Нидерланды с Китаем – 24 % [7]. Рынок США, в силу своей специфики – предпочтения пикапов и внедорожников – демонстрирует небольшой прирост доли электроавтомобилей. Тем не менее, существующая доля рынка в 7,6 % может быстро начать меняться по траектории Китая, где доля рынка электроавтомобилей в 2020 г. составляла всего 6 %, а затем увеличилась в четыре раза к 2023 г. По прогнозу BloombergNEF, к 2040 г. на долю электроавтомобилей придется 75 % продаж новых автомобилей и 44 % легковых автомобилей на дорогах [11].

Глобальный прирост ФСП достиг рекордного уровня в 220 ГВт в 2022 г., что вдвое превышает уровень 2019 г. и более чем в семь раз превышает уровень десятью годами ранее [11]. По прогнозам МЭА к 2028 г. произойдут значительные изменения в структуре генерации солнечной электроэнергии (рис.). В структуре прироста генерации по странам ведущая роль принадлежит Китаю, далее с существенным отрывом следуют ЕС, США и Индия [12].

Наблюдаемые тренды сохраняют устойчивые темпы и в дальнейшем. К 2050 г. на их долю будет приходиться более 70 % общего объема прироста мощностей в силу того, что они являются самыми дешевыми источниками электроэнергии на большинстве рынков, легкодоступны и обладают поддержкой в более чем 140 странах. Другое исследование прогнозирует, что к 2030 г. домохозяйства ЕС и Великобритании будут вырабатывать 40 ГВт энергии, 70 % которых будут интегрированы в общую энергосистему [13]. Несомненно, столь радикальные изменения несут определенные риски устойчивости энергосистемы. Р. Bishop, Р. Humeres Flores отмечают, что РИЭ все чаще подключаются к сетям с низким напряжением, многие из которых не предназначены для обеспечения встроенной генерации, создавая проблемы,

связанные со стабильностью энергосистемы, изолирования частей сети при определенных условиях и реверсом потока мощности, вследствие чего требуют новых решений по защите и автоматизации [14].

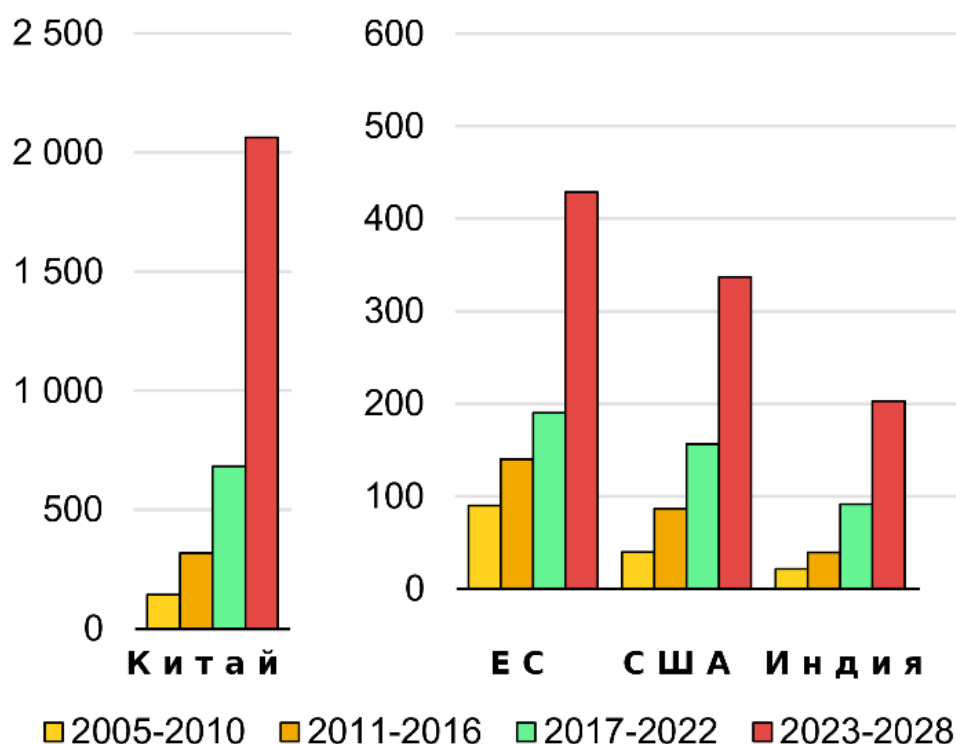


Рисунок – Прирост возобновляемых источников энергии по отдельным странам мира, ГВт [10]

Интегрированные устройства – термостаты, розетки, управление освещением – являются крупнейшим сегментом СУЭД, занимающий 65 % мирового рынка систем управления энергопотреблением. По прогнозу устройства управления останутся лидирующим сегментом в течение 2023-2031 гг.; тем не менее, максимальный рост принесут устройства пользовательского интерфейса. В 2022 г. Северная Америка была крупнейшим рынком СУЭД, занимая 70 % мирового рынка, второе место занимает европейский рынок. Это доминирование во многом объясняется наличием большого пула решений по управлению энергопотреблением и поставщиков услуг и более широким внедрением беспроводных технологий, включая ZigBee, Z-Wave и Wi-Fi, для управления энергопотреблением. С другой стороны, в течение 2023-2031 гг. в Азиатско-Тихоокеанском регионе будет наблюдаться максимальный рост рынка, главным образом из-за растущего желания потребителей контролировать и управлять потреблением электроэнергии в жилых домах.

Таким образом, ускоренное развитие научно-технических разработок в сфере энергопотребления позволит России развиваться в соответствии с мировыми трендами, что, в свою очередь, требует продуманного регулирования и финансового стимулирования [15]. В Энергетической стратегии до 2035 года

отмечается, что в мире будут развиваться новые технологии распределенного производства электрической энергии, микрогенерации, управляемого потребления, однако мерам и механизмам, стимулирующим потребителей к активному участию в формировании розничного рынка электрической энергии, применению технологий хранения и аккумулирования электрической энергии и ее воспроизводства, уделяется недостаточное внимание.

Список литературы:

1. Arkadeva, O. G. Inflation Targeting under Global Trends Exposure / O. G. Arkadeva, N. V. Berezina, M. Arkadev // Ensuring the stability and security of socio-economic systems: overcoming the threats of the crisis space : PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SCIENTIFIC-PRACTICAL CONFERENCE, Kirov - Russian Federation: SCITEPRESS, 2022. Pp. 33-37. DOI 10.5220/0010682000003169.
2. International Energy Agency (2024a). *Electricity 2024: Analysis and forecast to 2026*. URL: <https://www.iea.org/reports/electricity-2024> (date accessed: 20.04.2024).
3. Аркадьева, О. Г. Анализ методологических подходов и принципов оценки рисков на основе построения рейтингов интегральных риск-индексов / О. Г. Аркадьева, Н. В. Березина // Проблемы анализа риска. – 2019. – Т. 16, № 6. – С. 78-89. – DOI 10.32686/1812-5220-2019-16-6-78-89. – Текст : непосредственный.
4. Аркадьева, О. Г. Влияние парадигмы безопасности на функции управления финансами / О. Г. Аркадьева // Проблемы обеспечения безопасности (Безопасность-2021) : Материалы III Международной научно-практической конференции. В 2-х томах, Уфа, 11 марта 2021 года. Том 1. – Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2021. – С. 239-242. – Текст : непосредственный.
5. European Commission (2022). *EU Solar Energy Strategy* URL: <http://solarheateurope.eu/policy/european-solar-strategy/> (date accessed: 20.04.2024).
6. Cabinet Secretariat Ministry of Economy, Trade and Industry. *Green Growth Strategy Through Achieving Carbon Neutrality in 2050* URL: https://www.meti.go.jp/english/policy/energy_environment/global_warming/ggs2050/index.html (date accessed: 20.04.2024).
7. Ассоциация развития возобновляемой энергетики. Информационный обзор рынка ВИЭ в России. – URL: <https://ireda.ru/products/?year=2024> (дата обращения: 18.04.2024).
8. Александрова, О. Г. Роль программно-целевого планирования в реализации стратегии социально-экономического развития региона / О. Г. Александрова // Вестник Чувашского университета. – 2010. – № 1. – С. 311-315. – Текст : непосредственный.
9. Министерство энергетики Республики Казахстан. Информация по производству электрической энергии объектами ВИЭ по итогам 2023 года. – URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/energo/documents/details/588510> (дата обращения: 18.04.2024).

10. International Energy Agency (2024b) *Renewables 2023*. Analysis and forecast to 2028. URL: <https://www.iea.org/reports/renewables-2023> (date accessed: 20.04.2024).
11. International Energy Agency (2023). *World Energy Outlook* URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023> (date accessed: 20.04.2024).
12. BloombergNEF (2023). *Electric Vehicle Outlook 2023*. URL: <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/> (date accessed: 20.04.2024).
13. Deloitte Consulting, S.L.U. (2020). Connecting the dots: Distribution grid investment to power the energy transition URL: <https://www.eurelectric.org/connecting-the-dots> (date accessed: 20.04.2024).
14. Bishop P., Nair N.-K. C. (2023) IEC 61850 Principles and Applications to Electric Power Systems Second Edition DOI: 10.1007/978-3-031-24567-1
15. Александрова, О. Г. Финансовое обеспечение научно-технического развития / О. Г. Александрова, К. Ю. Сергеева // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2014. – № 31(217). – С. 26-36. – Текст : непосредственный.

© Аркадьева О. Г., 2024

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРАМИ ИЗ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ГИБРИДНЫХ СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

студент **Тихонов Кирилл Алексеевич**,
науч. руководитель: канд. пед. наук, доцент
Артамонова Екатерина Валерьевна,
Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассматривается вопрос об автоматизации управления электрогенераторами из возобновляемых источников энергии в гибридных системах электроснабжения. В качестве примера приводятся экспериментальные образцы преобразователя постоянного тока в переменный с собственной логикой и микроконтроллером, разработанные в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Ключевые слова: электрогенерирующие оборудования, автономные электроэнергетические системы, постоянный ток (DC), переменный ток (AC), гибридные системы электроснабжения.

AUTOMATION OF CONTROL OF ELECTRIC GENERATORS FROM RENEWABLE ENERGY SOURCES IN HYBRID POWER SUPPLY SYSTEMS

Student **Tikhonov Kirill Alekseevich**,
Academic Advisor: PhD in Pedagogy,
Associate Professor **Artamonova Ekaterina Valerievna**,
Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russian Federation

Abstract. The paper considers the issue of automation of control of power generators from renewable energy sources in hybrid power supply systems. As an example, experimental samples of a DC-AC converter with its own logic and microcontroller, developed at MSTU named after N.E. Bauman.

Keywords: electric generating equipment, autonomous electric power systems, direct current (DC), alternating current (AC), hybrid power supply systems.

В связи с увеличением количества электрогенерирующего оборудования, основанного на возобновляемых источниках энергии, и потребителей, получаемых от них электроэнергию, возникает необходимость объединения генерирующих источников, потребителей и блоков управления в автономные электроэнергетические системы. Из-за неравномерной выработки и потребления возобновляемых источников энергии под воздействием внешних условий (ветер,

солнечное излучение и т. д.) возобновляемые источники энергии следует резервировать за счет традиционной энергетики в так называемом гибридном режиме, когда традиционные генераторы переменного тока должны работать совместно с возобновляемыми источниками энергии. В этом случае возникает задача создания следящего инвертора, преобразующего постоянный ток (DC) в переменный ток (AC), в соответствии с характеристиками генератора переменного тока. Разработаны и изготовлены экспериментальные образцы преобразователя постоянного тока в переменный с собственной логикой и микроконтроллером. Они управляют режимом преобразования либо по сигналам опорной сети переменного тока, либо по сигналу микроконтроллера. Предлагаемые устройства предназначены для полной автоматизации процессов выработки электроэнергии и процессов энергопотребления в гибридных системах электроснабжения и предназначены для управления входными и выходными генерирующими мощностями, и потребителями электроэнергии для обеспечения максимальной эффективности выработки электроэнергии из возобновляемых источников энергии.

Основной причиной развития альтернативной энергетики на основе возобновляемых источников энергии в России являются ее огромные размеры и недоступность многих регионов страны для централизованного электроснабжения. Площадь районов, не охваченных централизованным электроснабжением в России, составляет более 60 % ее территории. В таких областях в большинстве случаев возникает необходимость привлечения возобновляемых источников энергии для их электрификации. То есть возобновляемые источники энергии следует рассматривать как автономные источники энергии, которые составляют основу нового, интенсивно развивающегося направления – распределенной генерации. В то же время следует отметить, что принципиальных препятствий для функционирования предприятий возобновляемой энергетики в составе централизованных энергосистем не существует [1, 2].

Методами электрификации территорий Российской Федерации, которые не охвачены единой сетью электроснабжения, могут быть следующие:

- строительство линий электропередачи от централизованной сети электроснабжения, которые характеризуются такими негативными чертами, как высокая стоимость строительства и обслуживания линий электропередачи и сопутствующего оборудования, а также риск выхода из строя линии электропередачи и зависимость их протяженности от передаваемой мощности;
- организация местных автономных центров выработки электроэнергии с использованием электро- и теплогенераторов, работающих на классическом топливе (тепловые электростанции, дизель- и газогенераторы), для которых характерна зависимость от импортного топлива, что зачастую значительно увеличивает стоимость тепловой и электрической энергии;
- электроснабжение с использованием возобновляемых источников энергии.

Обладая такими положительными чертами, как универсальность применения (всегда в наличии любой энергоноситель), отсутствие

необходимости в строительстве длинных линий электропередач, экологичность электроснабжения и высокие перспективы технических и экономических улучшений [3].

Увеличение количества энергогенерирующего оборудования, основанного на возобновляемых источниках энергии, привело к необходимости объединения генерирующих источников, потребителей и блоков управления электроэнергетическими системами. Основными препятствиями на пути развития таких систем являются, во-первых, недостаточное развитие производственных мощностей для электростанций, использующих возобновляемые источники энергии, а также неравномерные внешние факторы и условия получения энергии (ветер, солнечное излучение и т. д.). В связи с этим возобновляемые источники энергии подкрепляются традиционными энергоресурсами.

Создание автономных электроэнергетических систем на основе возобновляемых источников энергии требует решения ряда проблем в силу их особенностей:

- большое количество автономных энергоблоков;
- разные принципы выработки электроэнергии и разные параметры получаемого тока;
- удаленность объектов генерации возобновляемых источников энергии от потребителей и большие площади, занятые генерирующими мощностями;
- необходимость обеспечения стабильной выработки электроэнергии за счет генерируемых и передаваемых мощностей из возобновляемых источников энергии;
- хранение и консервация вырабатываемой энергии;
- утилизация избыточной энергии.

Технологический процесс организации энергопотребления в автономных системах, основанных на возобновляемых источниках энергии, должен быть гибким за счет включения и отключения различных способов выработки электроэнергии или использования их в гибридном режиме, то есть в режиме совместной работы традиционных источников и источников энергии из возобновляемых источников энергии.

Гибридный режим работы с точки зрения организации электроснабжения является наиболее сложным для электросистемы: он используется при недостаточной выработке электроэнергии из возобновляемых источников энергии и в случаях пиковых нагрузок в системе электроснабжения. Кратковременное увеличение потребления происходит, например, при запуске мощных электродвигателей или может быть вызвано определенным технологическим процессом.

Процесс выработки электроэнергии из возобновляемых источников энергии – это только первый шаг в долгосрочной перспективе. После получения электроэнергии из возобновляемых источников энергии ее необходимо преобразовать для последующего хранения.

Создание автономной гибридной системы электроснабжения предполагает совместную работу с генераторами переменного тока (например, дизельными

генераторами) и возобновляемыми источниками энергии, которые генерируют как переменный ток (например, ветряные турбины), так и постоянный ток (например, солнечные батареи).

Чтобы использовать электроэнергию, вырабатываемую из возобновляемых источников энергии, необходимо преобразовать ее в соответствии с оборудованием потребителей электроэнергии. Преобразование постоянного тока в переменный обычно происходит в соответствии с указанными параметрами. Параметры преобразования определяются либо требованиями потребителя, либо электрической сетью, к которой генератор возобновляемых источников энергии подключен через инвертор.

Выполнение инвертором требуемых параметров при вводе в эксплуатацию является обязательным, поскольку, если параметры переменного тока, получаемого на выходе, не совпадают, оборудование, работающее при требуемом напряжении, может выйти из строя. В случае подключения к сетевому источнику электроэнергии, генерирующему переменный ток, тока с параметрами, отличными от текущих в электрической сети, резервный генератор может начать работать в пользовательском режиме, это не приведет к увеличению или уменьшению общей мощности на розетке.

Таким образом, возникла необходимость в создании следящего инвертора, преобразующего постоянный ток в переменный. С этой целью в Московском государственном техническом университете имени Баумана было разработано устройство, преобразующее постоянный ток в переменный в соответствии с параметрами основной (опорной) сети [4].

На практике нередки случаи, когда инвертор работает при отсутствии напряжения в опорной сети. Для решения этой проблемы в устройство был встроен микроконтроллер, который посылает управляющие сигналы для инвертирования при отсутствии напряжения в опорной сети. В этом случае частота и угол фазового сдвига генерируется сигналами, генерируемыми микроконтроллером.

При практической организации электроснабжения от нескольких источников выработки электроэнергии возможна не только параллельная работа в нагрузку, но и раздельная работа в случаях низкой нагрузки и (или) достаточной мощности одного из источников. В этом случае необходимо автоматически переключить инвертор из одного режима работы (по управляющему сигналу опорной сети) в другой (по сигналу микроконтроллера) или в обратном направлении.

При работе инвертора сигнал от опорной сети считается приоритетным, поскольку в этом случае необходимо обеспечить согласование и работу параллельных генераторов в общей сети для общей нагрузки. Сигнал от микроконтроллера должен сработать, если пропадет сигнал от опорной сети, в этом случае угол фазового сдвига роли не играет, так как генератор единственный. Переключение между сигналами должно обеспечиваться собственной логикой устройства, которая должна быть выведена из микроконтроллера для повышения надежности устройства.

В связи с этим в МГТУ им. Н.Э. Баумана была разработана и протестирована схема инвертора с автоматическим переключением режимов между инвертирующими управляющими сигналами. Схема такого инвертора показана на рисунке 1.

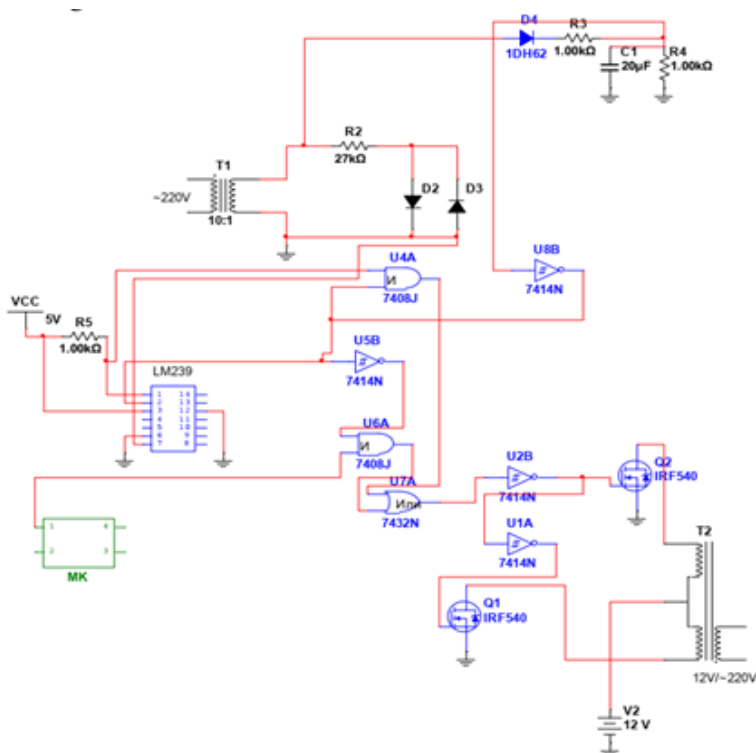


Рисунок – Инвертор с автоматическим переключением между инвертирующими управляющими сигналами

Устройство работает следующим образом. Для получения эталонных инвертирующих параметров устройство подключается к эталонной сети переменного тока через понижающий трансформатор T1, напряжение со вторичной обмотки трансформатора понижается до требуемого значения и, проходя через пару диодов D2 и D3, подается на синхронизатор LM239. Резистор R2 используется для предотвращения короткого замыкания в электрической цепи вторичной обмотки трансформатора. Второй сигнал, снятый со вторичной обмотки, обмотка трансформатора T1, проходящая через диод D4 и резистор R3, дважды инвертируется триггерами Шмитта U8B и U5B и поступает на логический элемент "И". Если есть сигнал от опорной сети, то этот сигнал равен логическому "0" и, таким образом, прерывает инвертирующий сигнал, поступающий от микроконтроллера MC1. Емкость C1 и разрядное сопротивление R4 служат для продления сигнала от опорной сети на 1 (один) период в случае потери, что необходимо для предотвращения резкого перехода работы инвертора на сигнал от микроконтроллера. При пропадании сигнала от опорной сети логический "0" превращается в "1" на инверторе U5B, который поступает на логический элемент "И" U6B. В результате U6B начинает передавать сигнал от микроконтроллера, который становится управляющим сигналом для инвертора, определяющим частоту и угол сдвига фаз инвертированного

переменного напряжения. Логический элемент "И" принимает инвертирующие управляющие сигналы, поступающие от опорной сети или от микроконтроллера, если сигналы от опорной сети отсутствуют.

Выходной сигнал от логического элемента "Or", проходящий через 2 (два) триггера Шмитта U2B и U1A, разделяется на два сигнала, находящихся в противоположной фазе, которые принимаются MOSFET-транзисторами Q2 и Q1, которые поочередно открываются от сигналов, поступающих от триггеров Шмитта U2B и U1A. Т.е. Потенциал от батареи V12 через транзисторы Q2 и Q1 поочередно поступает в первичную обмотку трансформатора в противоположных направлениях, что формирует переменное напряжение во вторичной обмотке трансформатора T2, задают частоту и угол сдвига фаз. Величина напряжения определяется параметрами трансформатора T2 и составляет 220 В как наиболее часто используемое.

Гибридные системы электроснабжения с использованием возобновляемых источников энергии в будущем будут все более автоматизироваться на основе использования микропроцессорных технологий с целью полной автоматизации процессов выработки электроэнергии и энергопотребления в них, а также управления входными и выходными генерирующими мощностями, и потребителями электроэнергии для обеспечения максимальной эффективности выработки электроэнергии из возобновляемых источников энергии. Развитие энергетики за счет возобновляемых источников энергии, увеличение количества генерирующего оборудования на базе возобновляемых источников энергии и потребителей получаемой электроэнергии приводит к необходимости создания автономных энергосистем и, в первую очередь, в районах, удаленных от централизованного электроснабжения.

Создание систем электроснабжения на основе возобновляемых источников энергии требует дальнейших исследований и разработок с целью повышения их эффективности, что может быть достигнуто за счет более эффективного энергопотребления, генерации и автоматизации управления генерирующими источниками, а также за счет снижения потерь энергии во всех частях системы.

Представленные в работе инженерные разработки МГТУ им. Н.Э. Баумана позволяют координировать работу традиционного электрогенератора и источников выработки электроэнергии на основе возобновляемых источников энергии, а также интегрировать возобновляемые источники энергии в централизованные энергосистемы, тем самым повышая их общую мощность и надежность электроснабжения.

Список литературы:

1. Елистратов, В. В. Возобновляемая энергетика / В. В. Елистратов. – Санкт-Петербург: Изд-во Политехнического института, 2016. – 424 с.
2. Калиниченко Г. И., Тартаков Я. В., Сидоров А. В. Биоэнергетические технологии и лесная промышленность // Лесной вестник. – 2017. – № 21 (5). – 64 с.

3. Васильев, И. А., Луминарская, Е. С., Селиванов, К. В. Гибридная энергетика как метод электрификации географически изолированных потребителей / И. А. Васильев, Е. С. Луминарская, К. В. Селиванов. – Орел: Изд-во ОГУ имени И.С. Тургенева, 2018. – С. 61-154.
4. Васильев, И. А., Луминарская, Е.С., Селиванов, К. В. Система автономного электроснабжения с микропроцессорным управлением электроникой и электрооборудованием транспорта / И. А. Васильев, Е. С. Луминарская, К. В. Селиванов К. В. – Орел: Изд-во ОГУ имени И.С. Тургенева, 2019. – С. 6-21.

© Тихонов К. А., 2024

ОБЗОР ОСНОВНЫХ ПОДХОДОВ ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ НА ОСНОВЕ ОБУЧЕНИЯ БЕЗ ЗНАНИЯ МОДЕЛИ

магистрант **Щегольков Михаил Валерьевич**,
науч. руководитель: доктор техн. наук, профессор
Зинкин Сергей Александрович,
Пензенский государственный университет,
г. Пенза, Российская Федерация

Аннотация. В современном мире обучение с подкреплением начинает приобретать все большую значимость, так как позволяет обучать агентов, способных автономно действовать во многих сферах жизнедеятельности и покрывать многие потребности человечества. В статье рассматриваются ключевые аспекты обучения с подкреплением, освещаются основные концепции и принципы обучения агентов в динамических средах без заранее заданного моделирования окружения. Обсуждаются преимущества и проблемы, которые проявляются при обучении с подкреплением без знания модели.

Ключевые слова: искусственный интеллект, обучение с подкреплением, нейронная сеть, обучение без знания модели, алгоритм.

OVERVIEW OF THE MAIN MODEL-FREE REINFORCEMENT LEARNING APPROACHES

Master Student **Shchegolkov Mikhail Valeryevich**,
Academic Advisor: Doctor in Technology, Professor
Zinkin Sergey Alexandrovich,
Penza State University,
Penza, Russian Federation

Abstract. In the modern world, reinforcement learning is beginning to become increasingly important, as it allows you to train agents who are able to act autonomously in many areas of life and cover many of the needs of humanity. The article discusses the key aspects of reinforcement learning, highlights the basic concepts and principles of agent training in dynamic environments without predefined environment modeling. The advantages and problems that manifest themselves in the training of Model-Free RL are discussed.

Keywords: artificial intelligence, reinforcement learning, neural network, model-free, algorithm.

Искусственный интеллект активно внедряется в нашу жизнь, и очень важным направлением в современном мире становится обучение с подкреплением (reinforcement learning, RL). Данный метод применяется в ситуациях, когда мы хотим натренировать какую-либо систему (в рамках данных

методов ей выступает агент), она будет помещена в среду (окружение), с которой система будет взаимодействовать, получая ее состояние и ответную на действия реакцию для выполнения определенной цели. Описанная выше модель подходит под многие сферы реального мира, позволяя при этом моделировать и начально обучать агента в специально спроектированных средах.

Рассмотрим взаимодействие агента и среды подробнее, так как это является основой всех методов обучения с подкреплением. В момент времени мы можем передать агенту состояние среды S (только то, что может быть доступно и необходимо для агента), на основе которого агент выполнит действие A , также вместе с состоянием среды агенту можно передать награду R (какой-то ответный сигнал среды за его предыдущее действие). Этот момент времени, включающий состояние среды, награду и действие агента, можно обозначить за шаг t . Выполнив действие, агент меняет среду, получая ее новое состояние S_{t+1} и награду R_{t+1} , на основе данных значений агент обучается, пытаясь максимизировать получаемую награду [1].

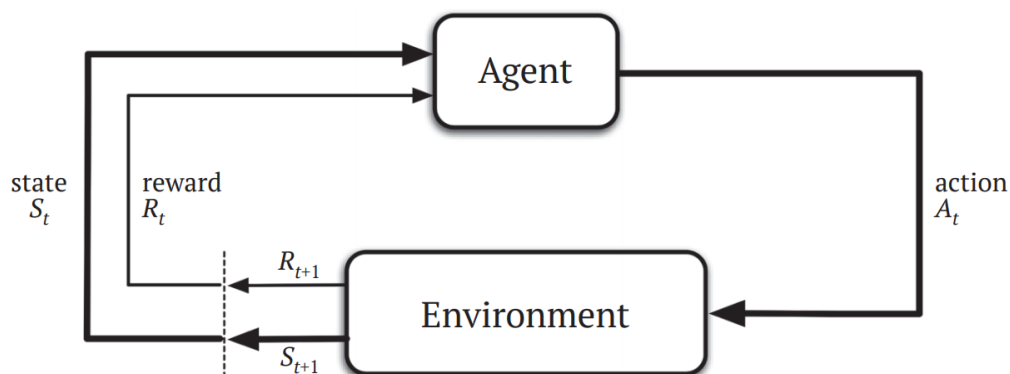


Рисунок 1 – Взаимодействие между агентом и окружающей средой

Алгоритмы Reinforcement learning условно можно разделить на несколько групп по основному механизму действия, на более высоком уровне можно выделить 2 группы: Model-Free RL (обучение без знания) и Model-Based RL (обучение со знанием модели), которые отображены на рисунке 2. Для методов обучения без знания модели характерно отсутствие явного построения модели окружения, что обеспечивает их простоту и универсальность. Основные подходы для обучения без модели – Policy Optimization и Q-Learning, которые мы рассмотрим ниже [2].

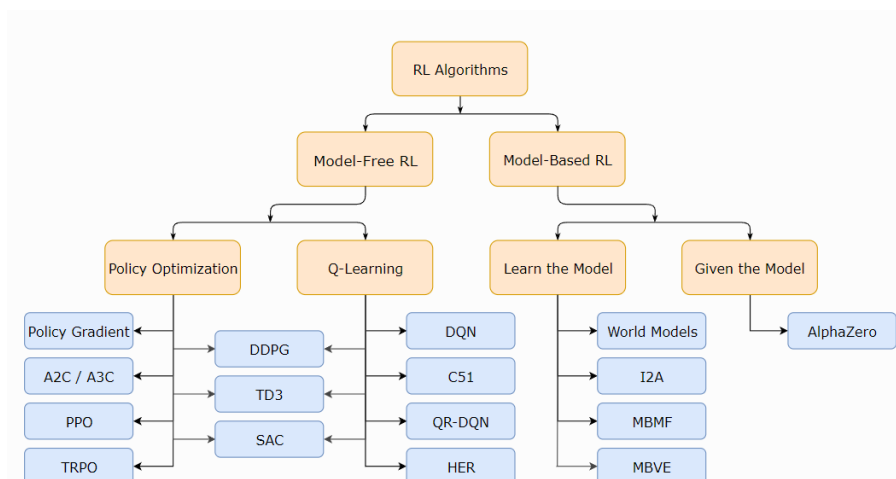


Рисунок 2 – Классификация алгоритмов обучения с подкреплением

Мы можем параметризовать описанную выше задачу обучения вспомогательной функцией, тогда задача сведется к обучению некоторой функции. Рассмотрим функцию политики (policy function).

$$p(a|s), \quad (1)$$

где a – действие агента; s – состояние среды.

В данном случае функция политики – это такая функция, которая получает состояние среды и определяет вероятность действия агента, то есть может говорить вероятность оптимального действия при определенном состоянии окружения. Примером такой функции в рамках глубокого обучения с подкреплением является алгоритм Policy Gradient. Аналогичный алгоритм используется в целом в обучении с учителем, только в RL вместо правильного ответа будет вариант победа или проигрыш, а под изменения весов будут попадать все действия, совершенные для этого финального результата (одной полной игры). При этом для одной симуляции игры могут быть как хорошие, так и плохие действия, а для разных игр в действиях могут быть лишь несколько разных шагов, однако результат игры противоположный, но в среднем, когда будет выигрыш, хороших действий будет больше. Используя описанный выше алгоритм, можно обучить нейронную сеть, воспользовавшись функцией потерь для вычисления градиента, улучшая среднюю награду [3].

$$L_{PG} = -\sum_i r_i \ln p(c = a_i | s_i), \quad (2)$$

где r_i – награда на шаге i ; p – функция политики; a_i – действие на шаге i ; s_i – состояние среды на шаге i .

На практике при обучении используют некоторые механизмы с наградами для того, чтобы модель лучше сходилась. Один из таких механизмов называется discounted rewards. Обычно на каждом шаге вычисляется суммарная награда, тогда сумма всех наград, начиная с шага s , будет равна:

$$R_s = \sum_{i=0 \dots n-s} r_{s+i}, \quad (3)$$

где r – награда.

Discounted rewards предполагает введение некоторого коэффициента дисконтирования γ , в данном случае формула суммарной награды будет иметь следующий вид:

$$R_s = \sum_{i=0 \dots n-s} \gamma^i r_{s+i}, \quad (4)$$

где γ – коэффициент дисконтирования; r – награда.

Данный коэффициент вводится, так как награда, которая находится ближе к исходному шагу, является более важной, потому что на награду, которая находится близко, нейросеть может повлиять сразу.

Другим важным и часто используемым подходом является Baseline. Вводится такое число b , которое вычитается из награды на каждом шаге.

$$R_s = \sum_{i=0 \dots n-s} \gamma^i r_{s+i} - b, \quad (5)$$

где γ – коэффициент дисконтирования; r – награда; b – baseline.

Считается, что baseline, который вводится и вычитается из награды, это ожидаемое базовое значение награды, которое уже заработано, начиная с определенного достигнутого состояния, это позволяет правильнее учитывать значимость награды при обучении в функции потерь. Один из возможных вариантов рассчитать b – это усредненное значение всех данных.

Развитием этой идеи является алгоритм Actor-Critic, который позволяет динамически для каждого состояния определять baseline. Тогда вводится value-function – функция, которая получает состояние и возвращает ожидаемую награду из этого состояния. Эту функцию также можно обучать нейросетью, часто ее объединяют вместе с функцией политики в одну нейросеть, где сначала обучается часть, предсказывающая ожидаемую награду (Critic), а на ее основе обучается часть, определяющая подходящее действие (Actor). Actor будет получать положительный сигнал в том случае, если у него получится побить среднюю награду на данном состоянии, которую определяет Critic, и отрицательный сигнал в противоположном случае. При большом количестве итераций Critic подстраивается под Actor, который продолжает обучаться и соответствовать новым значениям, выдаваемым Critic [2].

В другом важном наборе алгоритмов основой является Q-функция:

$$Q(s, a), \quad (6)$$

где s – состояние среды; a – действие агента.

Данная функция оценивает, какая будет ожидаемая суммарная награда, когда окружение будет в состоянии s , а агент примет действие a . Тогда, если мы будем знать Q-функцию оптимальной стратегии – наилучшей стратегией будет брать действие, которое дает максимальную награду. Для решения данной проблемы используется уравнение Беллмана, которое дает возможность итеративно приближать Q-функцию [4].

$$Q^*(s, a) = E_{s' \sim \varepsilon} [r + \gamma \max_{a'} Q^*(s', a') | s, a], \quad (7)$$

где $Q^*(s, a)$ – Q-функция оптимальной стратегии; $E_{s' \sim \varepsilon}$ – усреднение всех возможных состояний; ε – пространство возможных следующих состояний; r – награда на данном шаге; γ – дисконтирование награды; s' – возможное состояние среды на следующем шаге; a' – возможное действие агента на следующем шаге; s – состояние среды на данном шаге; a – действие агента на данном шаге.

Тогда в ситуациях, когда мы действительно имеем оптимальную функцию, у нас есть возможность использовать эту же функцию на дальнейших

состояниях. Получая результат, мы можем усреднить его и тогда мы придем к значению, которое выдает оптимальная функция на данном шаге. Мы можем параметризовать Q-функцию весами нейронной сети, тогда она должна будет предсказывать усреднение самой себя на шаг вперед, чтобы получать немного более оптимальное значение, тем самым приближаясь к оптимальной стратегии [5].

Главный источник данных для Q-Learning – то, какие состояния переходят в какие из-за определенных действий. Особенность данных алгоритмов обучения заключается в том, что для обучения можно использовать старые данные, то есть данные других обученных агентов.

В статье было рассмотрено, как происходит обучение с подкреплением, описаны важные аспекты и принципы данного подхода к обучению. Был сделан упор на описание методов, которые не требуют знания среды и позволяют обучаться агенту на основе опыта, полученного при взаимодействии со средой, что является преимуществом данных алгоритмов, так как обеспечивает их универсальность и применимость для широкого спектра задач. Рассмотренные подходы выделяют значимость Model-Free RL в контексте автономного обучения агентов в различных средах без заранее прописанных деталей окружения. Также можно выделить и небольшие недостатки, свойственные обучению с подкреплением, к числу которых можно отнести нестабильность обучения и проблему переноса обучения. Исследование этих проблем и поиск эффективных методов их решения остаются активной областью исследований. Сейчас, когда мы имеем большие технические возможности, появляются новые перспективы для данного направления, разрабатываются новые алгоритмы, улучшаются существующие методы, появляются новые архитектуры нейронных сетей огромных масштабов [6].

Список литературы:

1. Саттон, Р. С., Барто, Э. Дж. Обучение с подкреплением: Введение. – 2-е изд. / Р. С. Саттон, Э. Дж. Барто. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 552 с.
2. OpenAI. Spinning Up. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://spinningup.openai.com/en/latest>.
3. Deep Reinforcement Learning: Pong from Pixels. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://karpathy.github.io/2016/05/31/rl>.
4. Тимошкин М. О., Романова Е. Г. Применение метода глубокого Q-обучения для обучения агентов в логических играх // Математическое и компьютерное моделирование естественно-научных и социальных проблем. – Пенза: Пензенский государственный университет, 2022. – С. 199-206.
5. Mnih V., Kavukcuoglu K., Silver D., Graves A., Antonoglou I., Wierstra D., Riedmiller M. Playing Atari with Deep Reinforcement Learning, 2013.
6. Сероухов А. А., Серебрякова Т. А., Серебряков В. Г. Проблема обучения с подкреплением и методы ее решения // Вестник современных исследований. – 2019. – № 2.15 (29). – С. 74-76.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЭС НА ТКО

аспирант **Байрамгулов Альберт Ильгизович**,
науч. руководитель: доктор техн. наук, профессор
Саттаров Роберт Радилович,
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Аннотация. Рассмотрены способы повышения энергоэффективности ТЭС на твердых коммунальных отходах (ТКО). Повысить эффективность возможно, прежде всего, увеличением ее мощности. Наибольший энергетический эффект достигается при интеграции котла для сжигания ТКО в схему ТЭС, сжигающая органическое топливо. Предложено внедрение систем накопления электрической энергии (СНЭЭ) в ТЭС на ТКО.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, твердые коммунальные отходы, ТЭС на ТКО, энергоэффективность, система накопления электрической энергии.

WAYS TO IMPROVE THE ENERGY EFFICIENCY OF TPP ON MSW

Postgraduate Student **Bayramgulov Albert Ilgizovich**,
Academic Advisor: Doctor in Engineering, Professor **Sattarov Robert Radilovich**,
Ufa State Petroleum Technological University,
Ufa, Russian Federation

Abstract. Methods for increasing the energy efficiency of TPP on municipal solid waste (MSW) are considered. It is possible to increase efficiency first of all by increasing its power. The greatest energy effect is achieved by integrating a boiler for burning MSW into a TPP scheme that burns fossil fuels. It is proposed to introduce electrical energy storage systems (EESS) into TPP on MSW.

Keywords: renewable energy sources, municipal solid waste, TPP on MSW, energy efficiency, electrical energy storage system.

На сегодняшний день проблемы экологически безопасной эксплуатации ТЭС на ТКО решены. Сейчас приоритетным становятся поиски путей повышения энергоэффективности этих ТЭС. Повысить эффективность ТЭС на ТКО возможно, прежде всего, увеличением ее мощности. Зарубежный опыт строительства и эксплуатации таких ТЭС показывает, что повышение производительности по сжигаемым ТКО, например, с 6 до 35 т/ч, снижает капитальные и эксплуатационные затраты приблизительно на 40 % и 50 % соответственно.

Другим способом повышения эффективности ТЭС на ТКО является оптимальный выбор типа производимой и, соответственно, отпускаемой

энергии. Варианты использования энергопотенциала ТКО на предприятиях по термической переработке отходов очень разнообразны: от чистого получения электричества или тепловой энергии до их совместной выработки. Однако, как правило, мощность ТЭС на ТКО определена количеством образующихся в регионе отходов, а из-за сложности со сбытом тепловой энергии ТЭС работает главным образом в конденсационном режиме. В этом случае основным способом повышения энергоэффективности ТЭС на ТКО является увеличение КПД, прежде всего, в результате повышения параметров пара, а также путем реализации принципа совмещения: часть котлов электростанций сжигают традиционное органическое топливо, а часть – ТКО.

Коэффициент использования тепла при сжигании ТКО составляет 80-90 %, электрический КПД – на уровне 20 %. Относительно невысокий электрический КПД ТЭС на ТКО обусловлен, в первую очередь, низкими параметрами пара, повысить которые возможно путем применения коррозионно-стойких сталей при изготовлении пароперегревательных поверхностей и нанесения на них защитных покрытий [1]. Кроме того, следует организовать перегрев пара на вынесенных из котла теплообменных поверхностях, обогреваемых продуктами сгорания органического топлива. Увеличить электрический КПД установок для энергетической утилизации ТКО возможно также снижением температуры уходящих газов, уменьшением давления пара в конденсаторе, улучшением процесса горения, оптимизацией тепловой схемы (рис. 1). Зарубежный опыт показывает, что в результате реализации этих мероприятий и повышения параметров пара на ТЭС удастся достичь КПД на уровне 27-30 % [2].

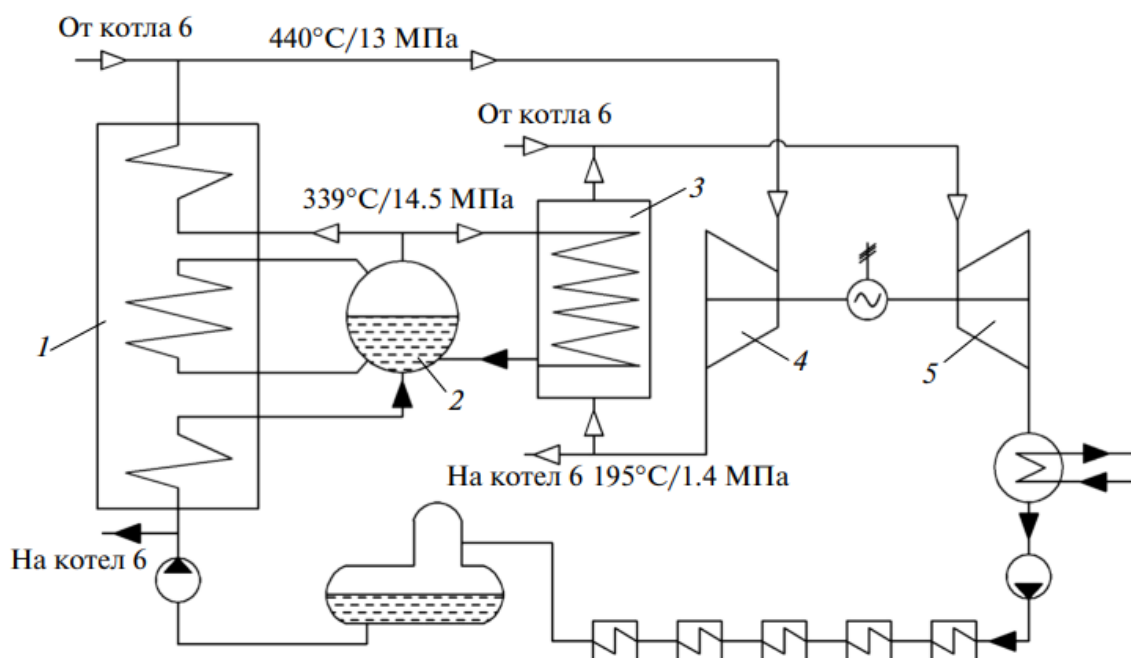


Рисунок 1 – Схема пароводяного тракта ТЭС на ТКО: 1 – котел; 2 – барабан котла; 3 – теплообменник для промежуточного перегрева пара; 4 – ступень турбины высокого давления; 5 – ступень турбины низкого давления

Наиболее показательный способ повышения энергоэффективности за счет перегрева пара можно осуществить также путем интеграции котла для сжигания ТКО в тепловую схему энергетической ТЭС, сжигающей органическое топливо. Такой способ применяют на электростанциях с газотурбинными установками (рис. 2) [3]. Также повысить энергоэффективность установок для сжигания ТКО возможно и при их совместной работе с угольной ТЭС (рис. 3) [4].

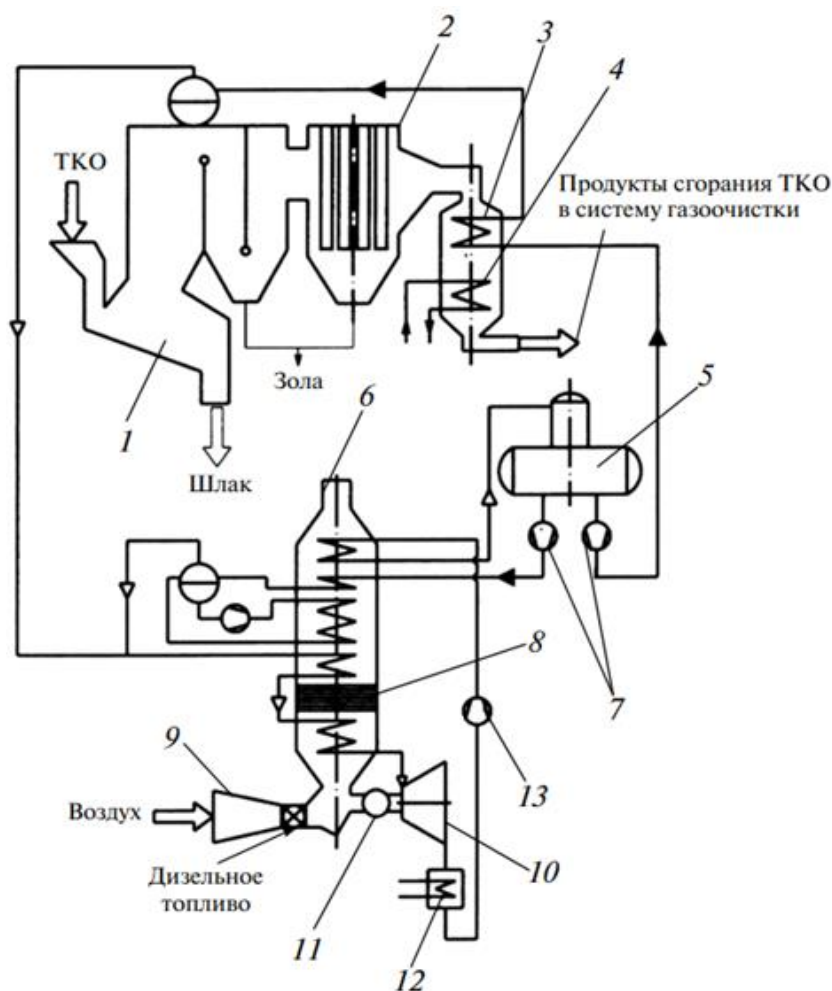


Рисунок 2 – Схема комбинированного парогазового цикла на ТЭС, сжигающей ТКО: 1 – котел для сжигания ТКО; 2 – электрофильтр; 3 – экономайзер; 4 – подогреватель сетевой воды; 5 – деаэратор; 6 – котел-утилизатор ПГУ; 7 – питательные насосы; 8 – система каталитического восстановления оксидов азота; 9 – газотурбинная установка; 10 – паротурбинная установка; 11 – электрогенератор; 12 – конденсатор; 13 – конденсатный насос [4]

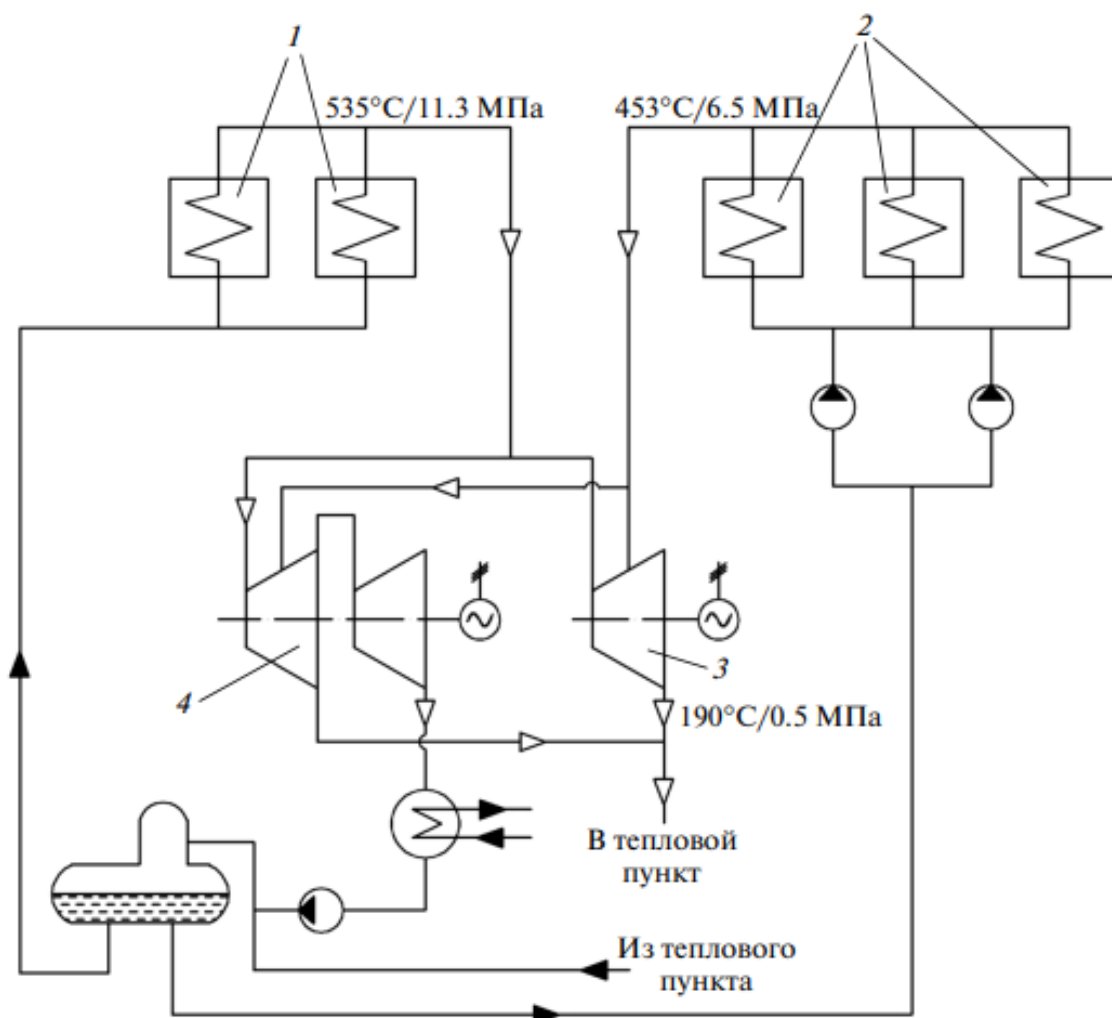


Рисунок 3 – Принципиальная тепловая схема угольной ТЭС, сжигающей ТКО:
 1 – угольные котлы; 2 – котлы для сжигания ТКО; 3 – турбина с противодавлением; 4 – турбина теплофикационная с регулируемым отбором пара

Для поддержания энергоэффективной работы ТЭС на ТКО также необходимо внедрение СНЭЭ. В связи с тем, что процесс использования электроэнергии является непостоянным во времени, поскольку зависит от желаний и потребностей потребителей. Мощность нагрузки меняется в зависимости от технологических процессов, расписания работы предприятий и времени суток. Оптимальным графиком производства электроэнергии для ТЭС на ТКО является равномерный режим. При таком графике имеется возможность включить в работу требуемое количество генераторных установок в режиме максимального для них КПД. Для решения задач совмещения неравномерности мощности нагрузок и генерирования электроэнергии используются СНЭЭ [5].

В свете этого возникает задача оценки энергоэффективности применения СНЭЭ на объектах ТЭС на ТКО в зависимости от таких параметров, как характер нагрузки, вид источников электроэнергии и режим их работы, параметры системы электроснабжения, требования к надежности, качеству и бесперебойности электроснабжения.

Список литературы:

1. Тугов, А. Н. Опыт использования твердых коммунальных отходов в энергетике / Н. А. Тугов // Теплоэнергетика. – 2015. – № 12. – С. 13-22.
2. Тугов, А. Н. Исследование процессов и технологий энергетической утилизации бытовых отходов для разработки отечественной ТЭС на ТБО: 05.14.14: автореф. дис. ... докт. техн. наук / Н. А. Тугов; ОАО «ВТИ». – Москва, 2012. – 43 с.
3. Родионов, В. И. Энергетическая утилизация ТКО в России/ В. И. Родионов // Управление отходами. – 2017. – № 8. – С. 14-18.
4. Зеликов, Е. Н. Перспективы использования газотурбинных технологий на электростанциях, сжигающих отходы / Е. Н. Зеликов // Энергохозяйство за рубежом. – 2007. – № 4. – С. 26-29.
5. Добрынин, Е. В. Оценка эффективности использования накопителей энергии/ Е. В. Добрынин // Экспозиция Нефть Газ. – 2020. – № 6. – С.110-113.
6. Байрамгулов, А. И., Саттаров, Р. Р. Анализ современных способов переработки твердых коммунальных отходов для выработки электрической и тепловой энергии / А. И. Байрамгулов, Р. Р. Саттаров // Электропривод, электротехнологии и электрооборудование предприятий. – 2023. – С. 314-317.

© Байрамгулов А. И., 2024

СИСТЕМЫ ВОДО-ВОЗДУШНОГО ОТОПЛЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

канд. техн. наук, доцент **Гладышев Николай Николаевич**,
студент **Попов Гаврил Сергеевич**,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
инженер **Долженко Ольга Андреевна**,
Государственное унитарное предприятие
«Топливо-энергетический комплекс Санкт-Петербурга»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Основное реформирование систем централизованного теплоснабжения с целью снижения расхода потребляемого топлива должно осуществляться путем перевода систем водяного отопления на водо-воздушное с использованием комбинированной энергии.

Ключевые слова: отопление, вентиляция, отопительная нагрузка, тепловые потери, ограждающие конструкции, инфильтрация, воздухообмен.

WATER-AIR HEATING SYSTEMS FOR MODERN RESIDENTIAL BUILDINGS

PhD in Technology, Associate Professor **Gladyshev Nikolay Nikolaevich**,
Student **Popov Gavril Cergeevich**,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Engineer **Dolgenko Olga Andreevna**,
State Unitary Enterprise "Fuel and Energy Complex of St. Petersburg"
Saint Petersburg, Russian Federation,

Abstract. The main reform of district heating systems in order to reduce the consumption of consumed fuel should be carried out by converting water heating systems to water-air heating using combined energy.

Keywords: heating, ventilation, heating load, heat losses, enclosing structures, infiltration.

Системы жизнеобеспечения современного человека требуют непрерывного подвода к ним различных видов энергии. Потребляемыми видами энергии в сфере ЖКХ являются электрическая и тепловая. В настоящее время в ЖКХ потребность в тепловой энергии значительно превышает потребность в электрической энергии. Вновь вводимые когенерационные источники энергоснабжения, работающие по парогазовому циклу (ТЭЦ ПГУ), нацелены на

значительное увеличение производства электрической энергии, что создает необходимые условия для реформирования систем централизованного теплоснабжения путем перевода систем отопления на совместное потребление тепловой и электрической энергии в системах водо-воздушного отопления.

С началом отопительного периода к каждому зданию требуется сбалансированный подвод теплоты, соответствующий его отопительной нагрузке ($Q_{от}$), для компенсации возникающих тепловых потерь через ограждающие конструкции здания ($Q_{огр}$) и на нагревание наружного воздуха, поступающего в отапливаемые помещения здания и обеспечивающего требуемый воздухообмен ($Q_{инф}$) [1].

$$Q_{от} = Q_{огр} + Q_{инф} . \quad (1)$$

В предлагаемых системах водо-воздушного отопления вентиляция совмещается с отоплением, что предполагает разделение отопительной нагрузки на две части. Одна часть отопительной нагрузки, соответствующая теплопотерям через ограждающие конструкции, покрывается с использованием водяного теплоносителя и приборов водяного отопления. Другая часть, соответствующая инфильтрационной нагрузке, покрывается с помощью приточно-вытяжной вентиляции с регулируемым воздухообменом путем установки электрического подогревателя на потоке приточного воздуха.

$$Q_{от} = Q_{вот} + N_{возд} , \quad (2)$$

где $Q_{огр} = Q_{вот}$ – тепловая энергия, поступающая с сетевой водой в отопительные приборы системы водяного отопления;

$Q_{инф} = N_{возд}$ – электрическая энергия, используемая для нагревания наружного воздуха в системе приточно-вытяжной вентиляции.

На рисунке представлена схема водо-воздушного отопления отдельной квартиры. Сетевая вода по магистральному трубопроводу 1 при температуре $\sim 70^\circ\text{C}$ подводится в ИТП здания, в котором разделяется на два потока. Один из которых обеспечивает подогрев водопроводной воды в теплообменнике от 3 до 65°C , используемой в закрытом контуре ГВС. Другой, проходя теплообменник 4, обеспечивает подогрев воды до такой же температуры, циркулирующей в контуре отопления 5, с независимым присоединением отопительных приборов 6.

Пониженная температура воды в контуре водяного отопления до 65°C обеспечивает подвод теплоты только для компенсации тепловых потерь через ограждающие конструкции при расчетных параметрах наружного воздуха.

Инфильтрационная часть выполняет роль регулирующей отопительной нагрузки. Наружный воздух под напором приточного вентилятора 7 по приточному воздухопроводу 8 поступает в теплорекуператор 9, в котором повышает свою температуру за счет теплоты удаляемого из отапливаемого помещения воздуха по вытяжному воздухопроводу 10 с помощью вытяжного вентилятора 11. Окончательное повышение температуры наружного воздуха происходит в электрокалорифере 12 с использованием электрической энергии.

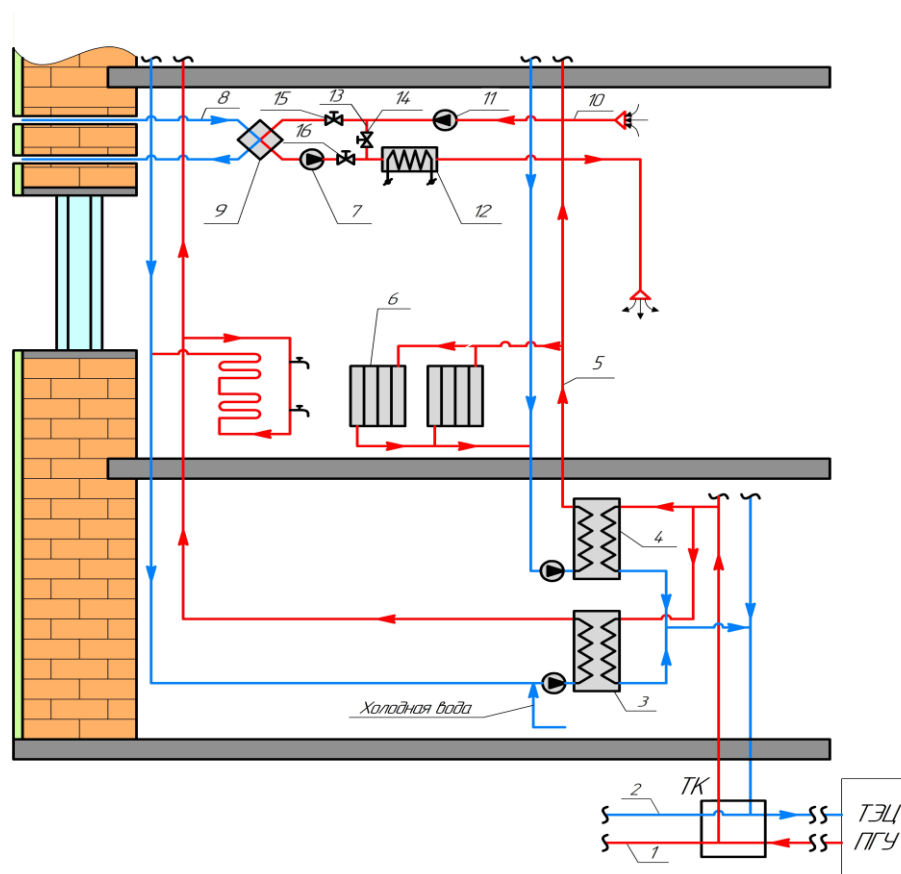


Рисунок – Схема системы водо-воздушного отопления:

- 1 – прямой трубопровод; 2 – обратный трубопровод; 3 – теплообменник ГВС;
 4 – теплообменник отопительного контура; 5 – контур отопления;
 6 – отопительные приборы; 7 – приточный вентилятор; 8 – приточный
 воздухопровод; 9 – теплорекуператор; 10 – вытяжной воздухопровод; 11 – вытяжной
 вентилятор; 12 – электрокалорифер; 13 – переключатель между всасывающим и
 вытяжным воздухопроводом; 14 – регулирующий воздушный клапан;
 15, 16 – воздушные заслонки

Включение электрокалорифера в работу по сигналу датчика внутренней температуры с учетом всех возможных теплоступлений от бытовых приборов и людей обеспечивает поддержание внутренней температуры в отапливаемом помещении в автоматическом режиме и исключает перетапливание и недоотапливание вентилируемых помещений [2].

Регулирование системы водяного отопления при повышении температуры наружного воздуха и снижении тепловых потерь через ограждения осуществляется путем ограничения подвода сетевой воды к отопительным приборам с помощью регулятора расхода, получающего сигнал от датчика наружной температуры.

В приточно-вытяжной системе вентиляции предусматривается установка переключки 13 между всасывающим и вытяжным воздухопроводами с регулирующим воздушным клапаном 14. Установка такой переключки позволяет исключить подачу наружного воздуха при отсутствии людей в отапливаемом помещении, т. е. в тот момент, когда воздухообмен в помещении не нужен. В

этом случае закрываются воздушные заслонки 15 и 16 на всасывающем и вытяжном воздуховодах и открывается воздушный клапан 14, при этом температурный режим поддерживается путем рециркуляции внутреннего воздуха через электрокалориферную установку, что снижает затраты теплоты на ненужный подогрев наружного воздуха.

В качестве примера оценки эффективности предлагаемой системы водовоздушного отопления по сравнению с традиционной водяной системой отопления может служить сравнение расходов потребляемого топлива, затрачиваемого для производства энергии, используемой в сравниваемых системах отопления. В качестве объекта теплоснабжения рассматривается жилой дом простейшей конструкции, подключенный к системе централизованного теплоснабжения.

Таблица – Геометрические характеристики жилого дома и расчетные параметры сетевой воды и нагреваемого воздуха

Длина дома	a	10 м
Ширина дома	b	10 м
Площадь окон	$S_{ок}$	3 м ²
Количество окон	$n_{ок}$	6
Площадь двери	$F_{дв}$	3 м ²
Высота потолка	h	3 м
Высота дома	H	5 м
Внутренняя температура воздуха	$t_{вр}$	20 °С
Наружная температура воздуха	$t_{нро}$	-24 °С
Температура сетевой воды в прямом трубопроводе	τ_1	70 °С
Температура воды в обратном трубопроводе	τ_2	50 °С

Определение тепловых потерь через ограждающие конструкции производилось при следующих значениях сопротивлений теплопередачи: $R_{ст} = R_{пол} = R_{пот} = 6.11 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт}$, $R_{ок} = 0,56 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт}$. $Q_{огр} = 3706 \text{ Вт}$.

Инфильтрационная составляющая отопительной нагрузки при кратности воздухообмена $m = 0,35 \text{ ч}^{-1}$ и соответствующем расходе наружного воздуха

$$G_{в-х} = \rho_v \cdot V \cdot m / 3600 \text{ кг/с}$$

$$Q_{инф} = 0,28 G_{в-х} c_{рв} \cdot (t_{вр} - t_{нро}) = 1502 \text{ Вт}$$

Суммарная отопительная нагрузка составляет:

$$Q_{от} = Q_{огр} + Q_{инф} = 3706 + 1502 = 5208 \text{ Вт}.$$

Секундный расход условного топлива, затрачиваемый на производство энергии, потребляемой в традиционных системах водяного отопления с естественной вентиляцией при кратности воздухообмена, $m = 0,35 \text{ ч}^{-1}$, можно произвести по формуле, принимая следующие значения КПД источника, транспорта теплоты и КПД регулирования отбора теплоты из тепловой сети: $\eta_{\text{ист}} = 0,85$; $\eta_{\text{тр}}^{\text{т}} = 0,93$; $\eta_{\text{рег}}^{\text{т}} = 0,8$ [3].

$$B_{\text{т}}^{\text{у}} = \frac{Q_{\text{от}}}{Q_{\text{усл}}^{\text{н}} \eta_{\text{ист}} \eta_{\text{тр}}^{\text{т}} \eta_{\text{рег}}^{\text{т}}} = 0,280 \text{ г/с.}$$

Применение приточно-вытяжной системы вентиляции с установкой теплорекуператора позволяет снизить инфильтрационную составляющую отопительной нагрузки до величины $Q_{\text{инф рек}} = 901 \text{ Вт}$ при сохранении кратности воздухообмена, $m = 0,35 \text{ ч}^{-1}$.

В этом случае суммарная отопительная нагрузка будет равна:

$$Q_{\text{отрек}} = Q_{\text{огр}} + Q_{\text{инф рек}} = 3706 + 901 = 4607 \text{ Вт.}$$

При этом расход потребляемого топлива в источнике теплоснабжения при сохранении всех принятых значений КПД снизится до величины:

$$B_{\text{трек}}^{\text{у}} = \frac{Q_{\text{отрек}}}{Q_{\text{усл}}^{\text{н}} \eta_{\text{ист}} \eta_{\text{тр}}^{\text{т}} \eta_{\text{рег}}^{\text{т}}} = 0,257 \text{ г/с.}$$

Расход топлива, потребляемого в системе водо-воздушного отопления для производства электрической энергии, $N_{\text{возд}} = Q_{\text{инф рек}}$, используемой в электрокалориферной установке, и для производства тепловой энергии, используемой в батареях водяного отопления, $Q_{\text{вот}} = Q_{\text{огр}}$, определяем отдельно по следующим формулам:

$$B_{\text{тэ}}^{\text{у}} = \frac{N_{\text{возд}}}{Q_{\text{усл}}^{\text{н}} \eta_{\text{ист}} \eta_{\text{тр}}^{\text{э}} \eta_{\text{рег}}^{\text{э}}} = 0,039 \text{ г/с,}$$

где $\eta_{\text{тр}}^{\text{э}} = 0,95$ – КПД транспорта электрической энергии;

$\eta_{\text{рег}}^{\text{э}} = 0,98$ – КПД регулирования отбора электрической энергии.

$$B_{\text{тт}}^{\text{у}} = \frac{Q_{\text{вот}}}{Q_{\text{усл}}^{\text{н}} \eta_{\text{ист}} \eta_{\text{трп}}^{\text{т}} \eta_{\text{регп}}^{\text{т}}} = 0,174 \text{ г/с,}$$

где $\eta_{\text{трп}}^{\text{т}} = 0,95$ – КПД транспорта теплоты при пониженной температуре сетевой воды ($70 \text{ }^{\circ}\text{C}$);

$\eta_{\text{регп}}^{\text{т}} = 0,9$ – КПД регулирования отбора тепловой энергии из тепловой сети при пониженной температуре сетевой воды ($70 \text{ }^{\circ}\text{C}$).

Суммарный расход топлива составит:

$$B_{\text{твв}}^{\text{у}} = B_{\text{тэ}}^{\text{у}} + B_{\text{тт}}^{\text{у}} = 0,039 + 0,174 = 0,213 \text{ г/с}$$

Экономия топлива при переводе жилого здания на водо-воздушное отопление по сравнению с расходом топлива, используемого при традиционной системе централизованными водяного теплоснабжения с повышенной температурой сетевой воды, составит 24 %.

$$\Delta B_{\text{т}}^{\text{у}} = \frac{B_{\text{т}}^{\text{у}} - B_{\text{твв}}^{\text{у}}}{B_{\text{т}}^{\text{у}}} = \frac{0,280 - 0,213}{0,280} = 0,24$$

Вывод

Предлагаемая система водо-воздушного отопления, совмещенная с вентиляцией, является перспективной разработкой, позволяющей существенно повысить эффективность существующих систем централизованного теплоснабжения с сокращением расхода потребляемого топлива до 20 – 25 % и улучшением экологической обстановки в черте крупных населенных пунктов. Указанный результат достигается путем снижения тепловых потерь при снижении температуры сетевой воды в магистральных трубопроводах и повышения качества регулирования подвода энергии в системы отопления при использовании электрической энергии.

Список литературы:

1. Гладышев, Н. Н. Ресурсосберегающие технологии в системах централизованного теплоснабжения ЖКХ: монография / Н. Н. Гладышев. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2020. – 137 с.
2. Гладышев Н. Н., Червинский В. Н. Системы отопления в многоквартирных домах с применением электрической и тепловой энергии // Энергетика, экология и бизнес: материалы 3-й Международной науч.-практ. конференции. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2019. – С. 52-55.
3. Низкотемпературные системы теплоснабжения в России / В. П. Панферов, О. Ф. Гавей, С. А. Голяк, А. М. Уливанов // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2012. – № 8 (128). – С. 58-59.

© Гладышев Н. Н., Попов Г. С., Долженко О. А., 2024

МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ПОТЕРЬ В СЕТЯХ РЭС

магистрант **Абдуллина Аида Радиковна**,
Казанский государственный энергетический университет,
студент **Шайдуллин Рим Маратович**,
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент
Литвиненко Руслан Сергеевич,
Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева–КАИ,
г. Казань, Россия

Аннотация. Мероприятия по снижению потерь в распределительных сетях (РЭС) представляют собой действия и программы, направленные на уменьшение энергетических потерь в электрических сетях. Такие мероприятия могут включать в себя модернизацию оборудования, улучшение технического обслуживания и контроль за эффективностью работы сетей. Это помогает повысить энергоэффективность и экономическую эффективность работы электросетей.

Ключевые слова: электроэнергия, потери электроэнергии, потребление, счетчик, распределительные сети.

MEASURES TO REDUCE LOSSES IN RES NETWORKS

Master Student **Abdullina Aida Radikovna**,
Kazan State Power Energy University,
Student **Shaidullin Rim Maratovich**,
Kazan National Research Technical
Academic Advisor: PhD in Technical, Associate Professor
Litvinenko Ruslan Sergeevich,
University Named After A.N. Tupolev–KAI,
Kazan, Russian Federation

Abstract. Measures to reduce losses in distribution networks (RES) are actions and programs aimed at reducing energy losses in electric networks. Such activities may include upgrading equipment, improving maintenance, and monitoring network performance. This helps to increase energy efficiency and economic efficiency of the electric grid.

Keywords: electricity, electricity losses, consumption, meter, distribution networks.

Потребление электроэнергии в распределительных сетях играет важную роль в оценке эффективности работы распределительных энергосистем. Оно отражает состояние системы учета энергии и показывает, насколько успешно

осуществляются операции по поставке энергии. Этот показатель отчетливо указывает на проблемы, требующие немедленного решения в сфере развития и модернизации электросетей, улучшения методов и средств их эксплуатации, повышения точности учета энергии, эффективного взимания платежей от потребителей и других аспектов.

По мнению специалистов, потери электроэнергии на уровне 10 % являются приемлемыми с физической точки зрения. Передовая энергетическая индустрия стран бывшего Советского Союза гордится невысоким уровнем потерь электроэнергии, который не превышает 10 % даже в периоды экономических кризисов. Однако, сегодня эти потери выросли в 1,5-2 раза, а иногда и в 3 раза, что делает проблему снижения потерь электроэнергии в электрических сетях более актуальной и важной в условиях экономического кризиса [1].

Известно, что существует стандартный набор мероприятий по сокращению потерь электроэнергии, описанных в специальной инструкции для отрасли. Согласно научным расчетам, основной вклад в снижение технических потерь электроэнергии может быть достигнут через техническое обновление, реконструкцию, увеличение пропускной способности и обеспечение надежности работы электрических сетей, а также балансировку их режимов посредством внедрения капиталоемких мер. Среди стратегических мероприятий особенно важны следующие:

- расширение сетей передачи электроэнергии и увеличение пропускной способности уже действующих линий для передачи активной мощности от электростанций, чтобы устранить недостатки и избыточные транзитные потоки;
- развитие альтернативных и возобновляемых источников энергии (включая малые ГЭС, ветряные и приливные электростанции, геотермальные установки) для обеспечения небольших мощностей в удаленных узлах с дефицитом электроэнергии.

Очевидно, на ближайшую и удаленную перспективу останутся актуальными оптимизация режимов электрических сетей по активной и реактивной мощности, регулирование напряжения в сетях, оптимизация загрузки трансформаторов, выполнение работ под напряжением и т. п.

К приоритетным мероприятиям по снижению технических потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях 0,4-35 кВ относятся:

- использование 10 кВ в качестве основного напряжения распределительной сети;
- увеличение доли сетей с напряжением 35 кВ;
- сокращение радиуса действия и строительство ВЛ (0,4 кВ) в трехфазном исполнении по всей длине;
- применение самонесущих изолированных и защищенных проводов для ВЛ с напряжением 0,4-10 кВ;
- использование максимального допустимого сечения провода в электрических сетях с напряжением в 0,4-10 кВ с целью адаптации их пропускной способности к росту нагрузок в течение всего срока службы;
- разработка и внедрение нового, более экономичного электрооборудования, в частности, распределительных трансформаторов с

уменьшенными активными и реактивными потерями холостого хода, встроенных в КТП и ЗТП конденсаторных батарей;

- применение столбовых трансформаторов малой мощности (6-10/0,4 кВ) для сокращения протяженности сетей с напряжением в 0,4 кВ и потерь электроэнергии в них;

- более широкое использование устройств автоматического регулирования напряжения под нагрузкой, вольтодобавочных трансформаторов, средств местного регулирования напряжения для повышения качества электроэнергии и снижения ее потерь;

- комплексная автоматизация и телемеханизация электрических сетей, применение коммутационных аппаратов нового поколения, средств дистанционного определения мест повреждения в электрических сетях для сокращения длительности неоптимальных ремонтных и послеаварийных режимов, поиска и ликвидации аварий;

- повышение достоверности измерений в электрических сетях на основе использования новых информационных технологий, автоматизации обработки телеметрической информации [2].

Требуется разработать инновационные стратегии отбора мероприятий для сокращения технических потерь и провести оценку их эффективности в рамках деятельности в энергетической сфере. Сейчас при принятии решений о вложении средств необходимо ориентироваться не только на общественную выгоду, но и на финансовый результат конкретного предприятия. Главная цель – обеспечить максимальную прибыль для акционеров, достигая заданных уровней рентабельности производства, эффективного распределения электроэнергии и прочих целей.

В период финансовых трудностей и ограниченности бюджета, выделенного на модернизацию электрических сетей, становится очевидно, что каждый вклад в улучшение системы учета оправдывается быстрее, чем затраты на увеличение мощности сетей или компенсацию реактивной энергии. Современные условия диктуют необходимость совершенствования системы учета электроэнергии для достижения прямых и эффективных результатов. Замена старых однофазных счетчиков класса 2,5 на новый класс 2,0 позволяет увеличить собираемость средств за переданную потребителям электроэнергию на 10 – 20 %. Эксперты оценивают, что в денежном выражении этот шаг приносит от 1 до 3 млрд рублей в год по России. Этот диапазон соответствует существующим тарифам на электроэнергию и возможному их увеличению.

Борьба с коммерческими потерями электроэнергии зависит от внедрения автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ). Эти системы должны быть доступны как для промышленных объектов, так и для домашних потребителей, интегрироваться с программным и техническим обеспечением АСДУ и обеспечивать надежную связь и обмен информацией. Важной частью процесса также является метрологическая аттестация систем контроля и учета электроэнергии.

Внедрение автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ) является неотъемлемой частью современной бизнес-

среды, представляющей собой сложную и масштабную задачу, требующую значительных инвестиций и высокой квалификации специалистов. Для ее успешного решения необходимо поэтапное развитие системы учета, ее модернизация, обеспечение метрологической поддержки измерений электроэнергии и совершенствование нормативной базы.

Основные цели данного развития включают в себя:

- Внедрение коммерческого учета электроэнергии (мощности) при помощи разработанных и аттестованных методик выполнения измерений (МВИ) для энергообъектов, соответствующих типовым МВИ;

- Проведение регулярной поверки счетчиков индукционной системы для определения их точности;

- Замена индукционных счетчиков на электронные для коммерческого учета электроэнергии (за исключением бытовых однофазных счетчиков);

- Разработка нормативной и технической базы для периодической поверки измерительных трансформаторов тока и напряжения в рабочих условиях с целью оценки их фактической точности;

- Создание льготной системы налогообложения для производителей АСКУЭ и оборудования для энергосбережения;

- Усовершенствование законодательной основы для предотвращения хищений электроэнергии и ужесточение ответственности за них, как это практикуется в развитых странах;

- Разработка нормативной базы для ликвидации «бесхозных» потребителей и электрических сетей, обеспечение безубыточных условий их взятия на баланс и обслуживание энергоснабжающими организациями;

- Разработка законодательной и технической базы для внедрения приборов учета электроэнергии с предоплатой [3].

На этапе внедрения мероприятий по снижению потерь электроэнергии в сетях особую важность имеет человеческий фактор. Это включает в себя систематическое обучение и повышение квалификации персонала, осознание важности эффективного решения поставленных задач, мотивацию и стимулирование, а также взаимодействие с общественностью для широкого информирования о целях и задачах снижения потерь. Для обеспечения эффективной работы персонала в области энергосбыта и электрических сетей крайне важно строго следить за соблюдением нормативов по учету электроэнергии, точностью расчетов технических потерь и принятием соответствующих мер по их снижению.

Сотрудники должны быть ознакомлены с требованиями, уметь их выполнять и чувствовать заинтересованность в реальном сокращении потерь, а не просто формально следить за ними. Обязательно проводить регулярное обучение персонала с проверкой усвоения знаний через экзамены. Обучение должно охватывать всех сотрудников, начиная от руководителей и заканчивая обычными исполнителями.

Руководители должны обладать умением решать общие управленческие задачи в процессе снижения потерь в сетях, в то время как исполнители должны быть способны решать конкретные задачи. Целью обучения необходимо сделать

не только приобретение новых знаний и навыков, но и обмен передовым опытом и распространение этого опыта между всеми предприятиями энергосистемы. Однако недостаточно просто иметь знания и навыки. В компаниях энергоснабжения необходимо разработать и утвердить систему вознаграждения за сокращение потерь электроэнергии в сетях, выявление краж электроэнергии с обязательным выделением части прибыли от уменьшения потерь (до 50 %) для персонала, принимавшего участие в этом процессе [4].

Необходимо внедрить новые методы для регулирования потерь электроэнергии в сетях, учитывая, как их техническое, так и систематическое составляющее ошибок в расчетах и учете энергии. Контроль за работой контролеров, мастеров и монтеров в РЭС должен быть строже осуществляться со стороны руководства энергосистемы, предприятий, районов и электросетей, чтобы предотвратить личное обогащение за счет хищений и незаконного подключения к сетям. Необходимо создать экономический стимул для персонала, награждая их за активность и эффективность в сокращении потерь электроэнергии.

Список литературы:

1. Закличанов, А. И. Электрические сети. Перспективные направления развития / А. И. Закличанов, С. А. Панфилов // Материалы XXI научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва: в 3-х частях, Саранск, 22–29 мая 2017 года / Составитель А. В. Столяров. Ответственный за выпуск П. В. Сенин. – Часть 1. – Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2017. – С. 84-87.
2. Евдокунин, Г. А. Электрические системы и сети: учебное пособие / Г. А. Евдокунин. – Изд. 3-е, испр. и доп. – Санкт-Петербург: Синтез Бук, 2011.
3. Электрические системы и сети. Установившиеся режимы электрических сетей / А. Ю. Арестова, А. В. Лыкин, Ю. М. Сидоркин, Я. А. Фролова. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2020. – 98 с.
4. Интеллектуальные электрические сети и их каналы связи: учебное пособие / И. В. Игнатенко, С. А. Власенко, Е. Ю. Тряпкин, Л. С. Демина. – Хабаровск: Дальневосточный государственный университет путей сообщения, 2023. – 86 с.

© Абдуллина А. Р., Шайдуллин Р. М., 2024

АКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД В МОНИТОРИНГЕ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПОДСТАНЦИЙ

студент **Валюк Анастасия Сергеевна**,
студент **Акбулатова Азалия Данисовна**,
студент **Алексеев Владислав Вадимович**,
студент **Аминова Камиля Рамилевна**,
студент **Патунин Владислав Александрович**,
науч. руководитель: канд. техн. наук **Вассунова Юлия Юрьевна**,
Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. В данной работе мы исследуем акустический метод как систему мониторинга для высоковольтного оборудования, сосредоточив внимание на применении ультразвуковых датчиков, как для бесконтактных, так и для контактных измерений. Вливаясь в проблемы, описываются проблемы и преимущества этого подхода, подчеркивается, как акустический метод может пересмотреть методы обслуживания в подстанциях.

Ключевые слова: акустический метод, мониторинг, высоковольтное оборудование, подстанции, ультразвуковые датчики.

ACOUSTIC METHOD IN MONITORING HIGH-VOLTAGE SUBSTATION EQUIPMENT

Student **Valyuk Anastasia Sergeevna**,
Student **Akbulatova Azalia Danisovna**,
Student **Alekseev Vladislav Vadimovich**,
Student **Kamilya Ramilevna Aminova**,
Student **Patunin Vladislav Alexandrovich**,
Academic Advisor: PhD in Technology **Vassunova Yulia Yurievna**,
Kazan State Power University,
Kazan, Russian Federation

Abstract. In this paper, we investigate the acoustic method as a monitoring system for high-voltage equipment, focusing on the use of ultrasonic sensors for both non-contact and contact measurements. Merging into the problems, the goals and objectives, problems and advantages of this approach are described, we emphasize how the acoustic method can redefine the methods of maintenance in substations.

Keywords: acoustic method, monitoring, high-voltage equipment, substations, ultrasonic sensors.

Высоковольтное оборудование в подстанциях играет важную роль в эффективном распределении энергии. Мониторинг этих объектов имеет большое

значение для предотвращения сбоев, обеспечения безопасности эксплуатации и продления срока службы оборудования. Из-за отсутствия надежной системы мониторинга состояния оборудования на подстанциях возникают сложности в предотвращении возможных повреждений и аварийных ситуаций.

Частые аварийные ситуации, связанные с человеческим фактором, старением оборудования и погодными условиями, вызывает простой электроэнергии. Недоотпуск электроэнергии влияет на работу предприятий, организаций и домашнего хозяйства, что приводит к экономическим потерям для сетевых компаний. Аварии могут привести к человеческим жертвам и нанести значительный ущерб окружающей среде. Существующие методы диагностики контактных и бесконтактных датчиков часто ограничены в точности и эффективности. Недостаточная возможность предсказания возможных отказов и неисправностей приводит к рискам аварийных ситуаций, что может быть критично для работы энергетической системы [1].

Следить за состоянием высоковольтного оборудования подстанций является критически важной задачей для обеспечения надежной работы энергосистемы. Традиционные методы мониторинга могут быть неэффективными или ограниченными в возможностях детектирования проблем.

Цель работы – повышение безопасности и надежности энергетического оборудования через систему мониторинга его состояния. Акустический метод – это метод, используемый для обнаружения активности частичного разряда в высоковольтном энергетическом оборудовании, таком как трансформаторы, кабели и распределительные устройства. Этот метод включает в себя мониторинг звуковых волн, генерируемых частичными разрядами в оборудовании, что может предоставить ценную информацию о условиях изоляции и потенциальных рисках отказа оборудования. Акустический метод мониторинга позволяет оперативно выявлять потенциальные проблемы в высоковольтном оборудовании подстанций, такие как трение, изоляция, короткое замыкание и другие дефекты, что способствует предотвращению аварийных ситуаций и повышению надежности работы энергосистемы [2, 3].

Одно распространенное применение ультразвуковых датчиков в энергетическом оборудовании – обнаружение частичного разряда в высоковольтном оборудовании, таком как трансформаторы и распределительные устройства. Частичный разряд – это электрический разряд, который может привести к сбою оборудования, если его оставить незамеченным. Ультразвуковые датчики могут обнаружить высокочастотный шум, генерируемый частичным разрядом, что позволяет командам технического обслуживания выявлять и решать проблемы, прежде чем они обострятся.

Одним из ключевых преимуществ акустического метода является его способность обнаруживать частичную активность разряда без необходимости физического доступа к оборудованию, что делает его удобным и экономически эффективным диагностическим инструментом. Прислушиваясь к звуковым волнам, создаваемым в результате частичных разрядов, специалисты могут выявлять потенциальные неисправности и принимать профилактические меры, чтобы избежать дорогостоящих сбоев и отключений [4]. По сравнению с

другими традиционными методами обнаружения частичных разрядов, таких как электрические и оптические методы, акустический метод предлагает несколько уникальных преимуществ. Например, его можно использовать для онлайн-мониторинга, позволяя непрерывной оценке состояния оборудования без необходимости отключения или перерывов в источнике питания. Кроме того, акустический анализ частичных разрядов эффективен при обнаружении разломов в сложных и труднодоступных компонентах, обеспечивая всестороннюю оценку всей системы.

Ультразвуковые датчики – это устройства, которые используют звуковые волны с частотами выше диапазона слуха человека, обычно выше 20 кГц, для различных применений, включая измерение, визуализацию и обнаружение. Акустический метод с использованием ультразвуковых датчиков особенно ценен в области мониторинга состояния и предсказательного обслуживания энергетического оборудования. Эти датчики способны обнаруживать изменения в механическом оборудовании и конструкциях, анализируя отраженные ультразвуковые волны [5, 6].

Существующие устройства, используемые в акустическом методе для мониторинга энергетического оборудования:

1. Ультразвуковые датчики обычно используются для обнаружения высокочастотных звуков, излучаемых оборудованием. Эти датчики могут подбирать ненормальные звуки, такие как трение, кавитация или электрические разряды. Например, SDT Leakchecker представляет собой портативное ультразвуковое устройство, используемое для обнаружения утечек воздуха и газа в энергетическом оборудовании, таких как котлы и компрессоры.

2. Инструменты анализа вибрации. Хотя это не строго акустические инструменты вибрационного анализа, такие как тестирование вибрации Fluke 810, но их также можно использовать для мониторинга вращающегося механизма, таких как насосы, двигатели и вентиляторы. Вибрации производят слышимые звуки, которые можно проанализировать для обнаружения механических разломов или смещений в оборудовании.

3. Измерители уровня звука способны измерять интенсивность звука в децибелах (дБ). Например, измеритель уровня звука Larson Davis LXT используется для мониторинга шума окружающей среды на электростанциях.

4. Distran Ultra m pro – ультразвуковой прибор для визуализации утечек и повышения энергоэффективности установок.

5. SMi Batcam V.2 – компактная ультразвуковая камера с 112 микрофонами для диагностики оборудования и обнаружения повреждений и утечек.

6. Акустический датчик частичных разрядов AR-Sensor от компании DIMRUS – может использоваться как с переносными приборами, так и в стационарных системах мониторинга и диагностики. Работает на частоте 40 кГц, регистрируя акустические импульсы от места возникновения дефекта.

7. Прибор DIM-Loc – идеальное решение для оперативной регистрации и анализа частичных разрядов в высоковольтном оборудовании. Он позволяет

диагностировать дефекты и локализовать их местоположение. DIM-Loc эффективно применяется для измерения частичных разрядов в силовых и измерительных трансформаторах, КРУЭ, кабельных линиях и муфтах, а также в опорной и подвесной изоляции.

Известные аналоги применяют только один вариант диагностики: контактный или бесконтактный. Более того, многие не проводят предиктивный анализ и не выдают заключения о дальнейших действиях.

Для того чтобы предложить систему мониторинга для определения технического состояния энергетического оборудования подстанций с использованием ультразвуковых датчиков, мы проводили исследования. В лаборатории КГЭУ проведен эксперимент с использованием ультразвуковой камеры NL для обнаружения дефектов изоляторов. Мы исследовали высоковольтные изоляторы и выяснили, что интенсивность разряда увеличивается со временем, что может привести к полному разрушению изоляции. Наши рекомендации – произвести ремонт или замену поврежденных компонентов, чтобы избежать возможного разрушения изоляции (рис. 1).



Рисунок 1 – Проведение исследования

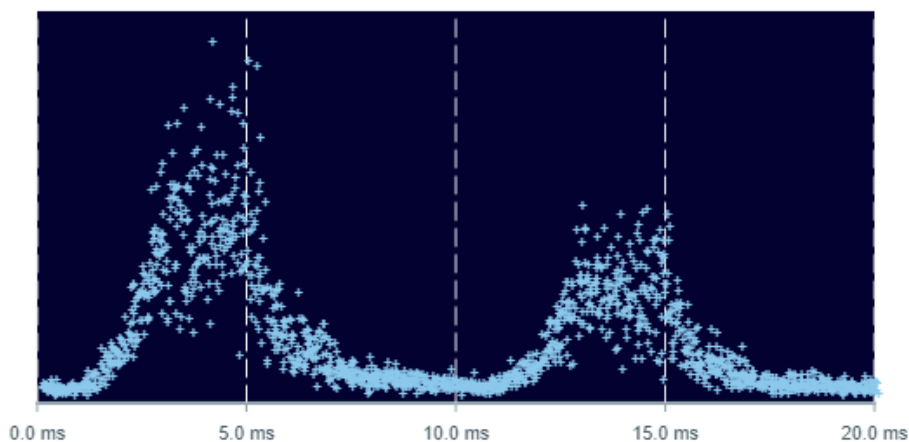


Рисунок 2 – Амплитудно-фазное распределение

Универсальный прибор с подключением двух видов датчиков: контактных и бесконтактных. С помощью видеокамеры проецируется источник ультразвука. Используются минимум четыре датчика для локализации источника разряда и дефекта. Определяя разницу прихода сигнала по времени до каждого датчика, мы определяем местоположение источника. Наложение на фазу сетевого напряжения позволяет построить амплитудно-фазовое распределение, определяющее уровень технического состояния и остаточный ресурс (рис. 2, 3).

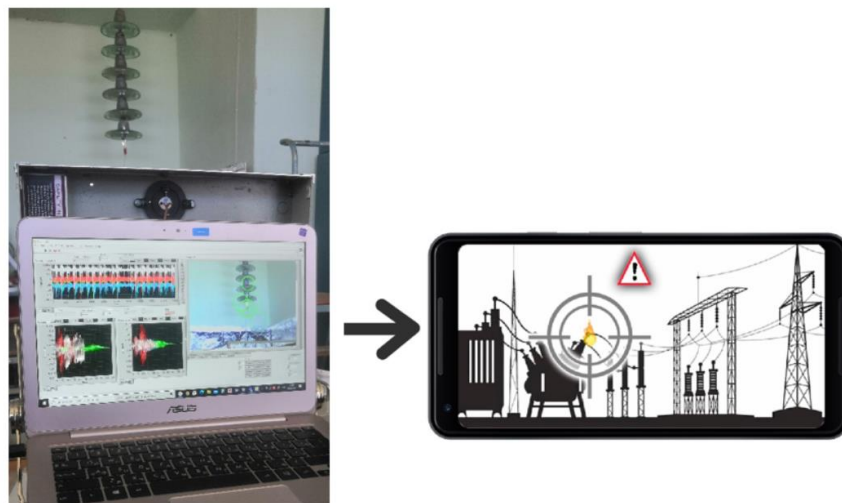


Рисунок 3 – Фото прибора, который планируется разработать

Преимущества данной системы:

1. Обнаружение мельчайших дефектов и неисправностей в энергетическом оборудовании.
2. Прогнозирование отказов оборудования для предотвращения аварийных ситуаций.
3. Компактный и портативный дизайн для удобства работы на месте.
4. Хранение данных и мониторинг состояния оборудования через облачные сервисы.
5. Быстрая и эффективная проверка оборудования с использованием ультразвуковых датчиков.
6. Разработка специализированного программного обеспечения для анализа полученных данных и предиктивного прогнозирования возможных отказов.
7. Возможность подключения к облачным сервисам для хранения и анализа данных, а также для удаленного мониторинга состояния оборудования.

Потенциальный рынок для данного продукта включает широкий спектр компаний и организаций, работающих в области энергетики и промышленности, которые могут воспользоваться преимуществами интеллектуального прибора для диагностики и анализа состояния своего оборудования:

1. Промышленные предприятия. Крупные промышленные компании, включая производственные и энергетические предприятия, которые имеют большое количество оборудования и машин, могут быть заинтересованы в

использовании интеллектуального прибора для диагностики и предиктивного анализа состояния своего оборудования. Это позволит им повысить эффективность обслуживания и предотвращать аварийные ситуации.

2. Энергетические компании. Компании, занимающиеся производством, передачей и распределением электроэнергии, могут использовать интеллектуальный прибор для контроля состояния своего оборудования, что поможет им оптимизировать процессы обслуживания и увеличить надежность своих систем.

3. Обслуживающие компании. Специализированные сервисные центры и компании, занимающиеся техническим обслуживанием оборудования, могут быть заинтересованы в использовании интеллектуального прибора для предоставления услуг по диагностике и анализу состояния оборудования своим клиентам.

4. Инженерные компании. Компании, занимающиеся проектированием и строительством энергетических объектов, могут использовать интеллектуальный прибор для контроля качества установленного оборудования и его дальнейшего обслуживания.

5. Государственные органы и надзорные организации. Органы государственного контроля и надзора за энергетическими объектами также могут быть заинтересованы в использовании интеллектуального прибора для мониторинга состояния оборудования и обеспечения безопасности эксплуатации.

Ультразвуковые датчики преобразуют звуковые колебания в электрические сигналы, которые затем анализируются специальным программным обеспечением [7].

Анализ звуковых сигналов может включать в себя определение частоты, амплитуды, длительности и других параметров колебаний, которые могут указывать на наличие определенных неисправностей. Например, изменение частоты или амплитуды звукового сигнала может свидетельствовать о трениях, износе или других проблемах в работе оборудования [8].

Благодаря возможности анализа данных в реальном времени и созданию истории изменений звуковых сигналов, операторы могут оперативно реагировать на выявленные проблемы и предпринимать необходимые меры по обслуживанию или ремонту оборудования. Такой подход позволяет снизить риск аварийных ситуаций, увеличить эффективность обслуживания и продлить срок службы энергетического оборудования.

Таким образом, акустический метод является эффективным инструментом для мониторинга высоковольтного оборудования подстанций, позволяя оперативно выявлять потенциальные проблемы и предотвращать аварийные ситуации. Использование ультразвуковых датчиков дополняет этот метод, обеспечивая точный и надежный мониторинг. Создание системы мониторинга на основе акустического метода может значительно повысить надежность работы энергосистемы. Предлагаемый прибор для диагностики энергетического оборудования с использованием ультразвуковых датчиков решает проблему оперативного обнаружения дефектов и неисправностей. Потенциальные

потребители – энергетические компании, инженерные службы и технические специалисты. Позволяет проводить точную диагностику, избежать простоев и сэкономить время и ресурсы на ремонте и замене оборудования.

Список литературы:

1. Диагностика технического состояния электрооборудования систем электроснабжения / В. А. Шабанов [и др.] // Открытое акционерное общество «ТНК-ВР Холдинг», Уфимский государственный нефтяной технический университет. – Уфа: Нефтегазовое дело, 2012.
2. Баширов М. Г., Хуснутдинова И. Г. Разработка электромагнитно-акустического метода диагностики электроэнергетического оборудования // Наука. Технология. Производство-2014: тезисы докладов Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2014. – С. 68-70.
3. Вдовико В. П. Методология системы диагностики электрооборудования высокого напряжения // Электричество. – 2010. – № 2. – С. 14-20.
4. Патент на изобретение RUS 2431152. Способ диагностики механизмов и систем с электрическим приводом / Кузеев И. Р., Баширов М. Г., Прахов И. В., Баширова Э. М., Самородов А. В., 23.11.2009.
5. Мордкович А. Г., Туркот В. А. Проблемы и перспективы применения систем мониторинга и оперативной диагностики трансформаторного оборудования: сборник докладов IX Международного симпозиума «Электротехника-2030». – Москва, 2007. – С. 48-54.
6. Русов, В. А. Измерение частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования / В. А. Русов. – Екатеринбург: УрГУПС, 2011. – 368 с.
7. Славинский А. З., Устинов В. Н. Обзор по направлению «Материалы и разработка новых методов испытаний и средств диагностики» // Энергия единой сети. – 2016. – № 4. – С. 6-11.
8. Гимадиев Р. А., Ившин И. В., Мухортов И. С., Билалов Ф. Ф., Валиуллин Р. Р., Мифтахова Н. К. Эффективность методики оценки результатов контроля технического состояния кабельных линий среднего напряжения // Энергетика Татарстана. – 2016. – № 2. – С. 68-71.

© Валюк А. С., Акбулатова А. Д., Алексеев В. В.,
Аминова К. Р., Патунин В. А., 2024

ТЕХНОЛОГИИ СЖИГАНИЯ КОРОДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА В КОТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ

магистрант **Живоглазова Юлия Владимировна**,
аспирант **Капишников Артём Витальевич**,
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент
Жуков Евгений Борисович,
Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул, Российская Федерация

Аннотация. В представленной статье рассмотрены два метода использования кородревесных отходов: в форме чистого топлива и как добавки к бурому углю с целью улучшения технико-экономических и экологических показателей работы котла. Основное внимание уделено современным направлениям в области энергетики, включая возможности сжигания возобновляемых источников энергии. Приведены результаты анализа основных характеристик альтернативных видов топлива. Также проведен анализ существующих технологий сжигания легких парусных частиц, с выделением их основных преимуществ и недостатков.

Ключевые слова: реконструкция, биотопливо, вихревое сжигание, паровой котел, топливо.

TECHNOLOGIES FOR BURNING WOOD-CHIP FUEL IN BOILER UNITS

Master Student **Yulia Vladimirovna Zhivoglazova**,
Postgraduate Student **Artem Vitalievich Kapishnikov**,
Scientific advisor: PhD in Technology, Associate Professor
Evgeny Borisovich Zhukov,
Altai State Technical University named after I.I. Polzunov,
Barnaul, Russian Federation

Abstract. The article presents two methods of using wood chip waste: as pure fuel and as an additive to brown coal to improve the technical, economic and environmental performance of the boiler. The focus is on modern trends in the field of energy, including the possibilities of burning renewable energy sources. The results of the analysis of the main characteristics of alternative fuels are presented. The analysis of existing technologies for burning light sail particles is also carried out, highlighting their main features.

Keywords: reconstruction, biofuel, vortex combustion, steam boiler, fuel.

В современной эпохе повышение экологической и энергетической эффективности котельных установок приобретает ключевое значение в процессе

их проектирования. Один из ведущих подходов к улучшению экономических показателей таких установок заключается в интеграции низкосортных углей в топливный баланс или в совместном использовании низкосортных углей с твердыми видами топлива из растительной биомассы.

Среди основных видов растительной биомассы, применяемых в малых и средних энергетических системах, следует выделить: кородревесные отходы, солому, бумагу, камыш, а также скорлупу орехов, семечек и их оболочки.

Низкое содержание серы и азота в кородревесных отходах (КДО) снижает вредные выбросы при их сжигании, что, в свою очередь, способствует повышению экологических характеристик котельных установок, применяющих КДО в качестве топлива.

Применение растительной биомассы в качестве добавки к традиционным видам топлива помогает улучшить технические, экономические и экологические характеристики котельных установок.

Сжигание кородревесных отходов в котельных агрегатах представляет собой специфический процесс с рядом характеристик и преимуществ. Котлы, функционирующие на основе кородревесных отходов (КДО), широко распространены за счет доступности и относительно низкой стоимости данного вида топлива. Они применяются в различных сферах, включая теплофикацию, электрификацию, процессы сушки древесины и другие технологические процессы.

Один из примеров котлов, использующих кородревесные отходы, представляют котлы от компании Wartsila. В этих котлах применяется технология BioGrate, основанная на слоевом сжигании кородревесных отходов. Топливо подается снизу через центр кольцевой конусообразной решетки. Данная решетка состоит из концентрических колец, каждое второе из которых вращается, в то время как остальные остаются неподвижными. Вращение кольцевых элементов осуществляется при помощи гидравлических цилиндров; более того, соседние вращающиеся кольца вращаются в противоположных направлениях. Например, если первое кольцо вращается по часовой стрелке, то второе кольцо остается неподвижным, а третье кольцо вращается против часовой стрелки. Такая конструкция обеспечивает равномерное распределение топлива по всей решетке, что приводит к формированию ровного слоя горящего топлива с необходимой толщиной.

Одним из основных недостатков таких котлов является усложнение конструкции за счет введения камеры догорания. Из-за этого легкие парусные частицы топлива не полностью сгорают в топочной камере, что снижает эффективность работы котла.

Данная проблема была успешно решена благодаря технологии, разработанной для реконструкции котла БКЗ-75-39, установленного на Братской ТЭЦ-6, в лаборатории кафедры «Котло- и реакторостроение» АлтГТУ.

В процессе исследований, направленных на определение динамики термического разложения топлива, были подробно изучены свойства кородревесных отходов (КДО). Частицы топлива подвергались сжиганию в специальной установке под названием «Механотрон». Эта установка позволяет

провести анализ ряда характеристик сжигаемого топлива, включая массу частицы, температуру как внутри, так и на поверхности частицы, выход летучих веществ, а также динамику сушки и выгорания древесных отходов. Эксперименты проводились на частицах с массой от 0,5 до 1,5 грамма при температурах в диапазоне от 600 до 900 °С.

На приборе «Дериватограф» исследовались процессы сушки топлива и построены графические зависимости изменения массы частицы от времени ее пребывания в зоне высоких температур.

Из-за выделения и последующего горения летучих веществ процесс сжигания древесины на начальной стадии отличается от соответствующей стадии сжигания кокса. Пиролиз, являющийся основным процессом в этом контексте, представляет собой совокупность параллельных и последовательных реакций.

Кроме того, была установлена зависимость выделения летучих веществ от температуры бертенирования (термического разложения без доступа кислорода). График, показывающий, как меняется самая низкая теплота сгорания в зависимости от температуры высушивания образцов древесных отходов. Эти данные были получены для каждой аналитической пробы.

Для сушки частицы древесины массой 0,2 грамма при температуре 550 °С требуется примерно 18 секунд, а максимальное значение теплоты сгорания достигается при температуре 260 °С. Это позволяет сделать вывод о необходимости оптимизации времени пребывания частиц в топочной камере, что зависит от способа сушки и характера движения частиц в топке.

Основным критерием при сжигании частиц топлива было обеспечение задержания легких парусных частиц в топочной камере до полного их выгорания. Для достижения этой цели была внедрена вихревая аэродинамика.

Для создания вихревой аэродинамики были установлены воздухопроводы для подачи воздуха через нижние дутья в холодную воронку и для подачи топливовоздушной смеси через горелки с соответствующими скоростями для формирования вихря. Применение нижнего дутья через холодную воронку способствует более стабильному горению и повышает степень выгорания частиц топлива.

Во время реконструкции в первую очередь была изменена система подачи топлива. Теперь для подачи кородревесных отходов установлены три системы пневматической загрузки. Они включают пылевые вентиляторы, трубопроводы и вспомогательное оборудование пневмосистемы. Топливо пропускается через трубопроводы и пылевые вентиляторы, что позволяет измельчить его частицы. А транспортирующий агент обеспечивает сушку топлива.

Была разработана система сушки кородревесных отходов (КДО) с возможностью регулировки температуры сушильного агента. Для сушки КДО используется смесь, включающая горячий воздух из воздухоподогревателя и дымовые газы. Горячий воздух из воздухоподогревателя второй ступени котла служит сушильным и транспортирующим агентом. Максимальная температура сушильного агента составляет 330 °С и регулируется в зависимости от влажности КДО путем добавления внешнего воздуха.

Берется 10–20 % охлажденных дымовых газов из газохода котла. Благодаря низкому содержанию кислорода эти газы безопасны и могут использоваться как сушильный агент, что позволяет снизить нагрузку на конвективный газоход котла. С помощью дымососа дымовые газы подаются в воздухоподогреватель. На входе в первую ступень их температура составляет 470 °С, на выходе из второй ступени – 320 °С. Максимальная температура, при которой может работать дымосос, – 400 °С.

Во время пусконаладочных работ были опробованы несколько способов подачи топлива:

- Смесь угля и кородревесных отходов (КДО) с сушкой горячим воздухом;
- Смесь угля и КДО с сушкой горячими дымовыми газами;
- Загрузка углем по штатной схеме;
- Смесь угля и КДО с загрузкой КДО и угля через мельницы.

По результатам наблюдений во всех режимах работы было зафиксировано повышение коэффициента полезного действия (КПД), стабильное горение и вихревая аэродинамика, а также отсутствие обрывов факела и крупномасштабных пульсаций.

Таблица – Параметры котла БКЗ-75-39 до и после реконструкции [1]

Наименование параметра	Обозначение	Ед. измерения	Значение до реконструкции	Значение после реконструкции
Паропроизводительность	$D_{пе}$	т/ч	75	75
Давление перегретого пара	$P_{пе}$	МПа	4	4
Температура перегретого пара	$t_{пе}$	°С	440	440
Температура питательной воды	$t_{п.в.}$	°С	104	104
Доля угля в смеси	$g_{угля}$	-	1	0,65
Доля КДО в смеси	$g_{кдо}$	-	-	0,35
Теплота сгорания смеси	Q_i^r	кДж/кг	15290,9	12681,8
Температура горячего воздуха	$t_{г.в.}$	°С	334	334
Температура уходящих газов	$t_{ух}$	°С	120	120
КПД котла	η	%		91,06
Расход топлива, подаваемого в топку	B	кг/с		5,24

Расход топлива, подаваемого в топку	V	т/ч	16	18,85
Расчетный расход топлива	V_p	кг/с		5,13
Расчетный расход топлива	V_p	т/ч		18,48

В данной работе были изучены свойства кородревесных отходов и рассмотрены две технологии их сжигания: технология BioGrate от компании Wartsila с применением слоевого сжигания КДО и технология совместного сжигания КДО и бурого угля на примере котла БКЗ-75-39-440. Из проведенных экспериментов и расчетов следует, что для обеспечения полного выгорания топлива в топочной камере наиболее перспективным подходом является организация вихревой аэродинамики. Этот метод обеспечивает высокий коэффициент полезного действия (КПД) котла, а также способствует повышению его экономических и экологических характеристик.

Список литературы:

1. Жуков Е. Б., Меняев К. В. Водогрейные котлы: учебное пособие / Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2019. – 150 с. – Текст: непосредственный.
2. Баклыгина, Н. Энергия из отходов. Энергетическая утилизация отходов [Электронный ресурс]: инф. журн. / Баклыгина Н. – Электрон. текстовые дан. – Москва [б.и.], 2018. – Режим доступа: <https://1-engineer.ru/energiya-iz-othodov-energeticheskaya-utilizaciya-othodov/>, свободный. (дата обращения: 10.04.2024). – Текст : электронный.
3. Меняев, К. В. Методы испытания углей: учебное пособие / К. В. Меняев / Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2014. – 63 с. – Текст: непосредственный.
4. Жуков Е. Б., Меняев К. В. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Физико-химические свойства и подготовка к сжиганию органических топлив» для студентов направления 141100 «Энергетическое машиностроение» / Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Издательство АлтГТУ, 2013. – с. 60. – Текст: непосредственный.
5. Голубев В. А. Обоснование и совершенствование способов энергетического использования растительных отходов: дисс. ... канд. техн. наук / Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. – Барнаул, 2014. – Текст: непосредственный.

© Живоглазова Ю. В., Капишников А. В., 2024

ОЦЕНКА УРОВНЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПЕРСОНАЛА ОБЪЕКТОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

канд. техн. наук **Кондратенко Александр Николаевич**,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В работе предложена оценка уровня профессиональной подготовленности обслуживающего персонала. Рассмотренная оценка обучаемости, представляющая собой математическую формализацию процесса профессиональной подготовки операторов на основе выходных показателей, характеризующих этот процесс, без раскрытия его микроструктуры. Она позволяет решать важные практические задачи, составляющие основу системы профессиональной подготовки обслуживающего персонала объектов теплоэнергетики.

Ключевые слова: профессиональная подготовка, объекты теплоэнергетики, модель обучаемости.

MATHEMATICAL MODEL FOR ASSESSING THE LEVEL OF PROFESSIONAL PREPAREDNESS OF THE MAINTENANCE PERSONNEL OF THERMAL POWER FACILITIES

PhD in Technology **Kondratenko Alexander Nikolaevich**,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. The paper offers an assessment of the level of professional preparedness of the service personnel. The considered assessment of learning ability, which is a mathematical formalization of the process of professional training of operators based on output indicators characterizing this process, without revealing its microstructure. It allows you to solve important practical tasks that form the basis of the system of professional training of maintenance personnel of thermal power facilities.

Keywords: professional training, thermal power engineering facilities, learning model.

Реализация управленческих решений по использованию объектов теплоэнергетики производится непосредственно обслуживающим персоналом и

во многом определяется качеством его деятельности. В свою очередь качество деятельности обслуживающего персонала зависит от уровня его профессиональной подготовленности.

Начальным этапом в обеспечении профессиональной подготовленности обслуживающего персонала является оценка профессиональной пригодности, которая должна решаться до начала профессиональной подготовки в рамках профессиональной ориентации до профессионального отбора.

Непременным условием работы системы обучения является получение, обработка, хранение и передача различного рода информации.

Рассмотрим основные элементы теории информации. Любое сообщение, любая информация есть совокупность сведений о некоторой физической системе. Сообщение имеет смысл только тогда, когда ее состояние заранее неизвестно. Например, некоторое сообщение x ("Нарушение режима работы системы охлаждения"), которое имеет конечное множество состояний: x_1 ("Неисправность охлаждающего насоса"), x_2 ("Большое количество включенных потребителей охлаждающей воды"), x_3 ("Засоренной приемной решетки охлаждающего насоса"), x_n ("Закрытие или неисправность клапана слива системы охлаждения"), с вероятностями $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$. В качестве меры априорной неопределенности системы применяют специальную характеристику системы – энтропию. Энтропией $H(X)$ системы X называют взятую с обратным знаком сумму произведений вероятностей различных состояний системы на логарифм этих вероятностей:

$$H(X) = - \sum_{i=1}^n p_i \log p_i \quad (1.1)$$

Энтропия обладает рядом свойств, оправдывающих ее выбор в качестве меры неопределенности:

- обращается в нуль, когда одно из состояний системы достоверно, остальные – невозможны (поскольку вероятность достоверного события $p=1$, а $\log 1=0$);
- обращается в максимум, когда все состояния системы равновероятны;
- увеличивается с увеличением числа состояний;
- обладает свойством аддитивности, т. е. при объединении нескольких независимых систем в одну, их энтропия складывается.

Единица измерения энтропии зависит от принятого основания логарифма в формуле (1.1). Если используется основание 2 (двоичный логарифмом $\log_2 P_i$), то энтропию измеряют в двоичных единицах – битах. Тогда используется основание e (натуральный логарифм $\ln P_i$), то энтропию измеряют в натах.

В результате получения сведений о физической системе ее неопределенность может быть уменьшена. Чем больше информации о системе, тем меньше неопределенность ее состояния. Поэтому количество информации измеряется уменьшением энтропии системы

$$I_1 = H(X) - H_1(X) . \quad (1.2)$$

То количество информации, приобретенное при полном выяснении состояния физической системы, равно энтропии этой системы.

$$I_x = H(X) - 0 = - \sum_{i=1}^n p_i * \log p_i \quad (1.3)$$

Теория информации позволяет решать ряд задач при планировании и организации системы подготовки обслуживающего персонала и

прогнозировании ее результатов. Основная трудность при решении этих задач состоит в составлении информации о системе (I). Речь идет о том, что для каждого заведующего опытными специалистами должна быть составлена полная или конкретная информация о его заведовании, наподобие той, которая приведена выше в качестве примера. Для реализации системного подхода в эту информацию должны войти вопросы не только касающиеся устройства изделия или системы, правила его эксплуатации и предупреждения аварийности, но и вопросы взаимодействия механизмов и систем заведования конкретного специалиста с другими системами и механизмами и характер их проявления.

Вторая трудность возникает при обеспечении объективного контроля за ходом процесса обучения. Традиционные формы контроля требуют значительных затрат времени для опроса всех обучаемых, кроме того, качество устного контроля зависит от индивидуальных особенностей, уровня подготовки и опыта руководителя. Часто недостаток времени делает устный контроль формальным, а оценки необъективными. Указанных недостатков лишен тестовый контроль. А наличие на объекте теплоэнергетики и соответствующего программного обеспечения делают его незаменимым для массового контроля знаний обучаемых [5]. Главными преимуществами тестового машинного контроля являются: массовость, оперативность, объективность, возможность быстрой статистической обработки результатов контроля, экономия времени.

После разработки информации о системе и тестовых карт задачи планирования и прогнозирования результатов подготовки обслуживающего персонала существенно упрощаются. В основу планирования положена зависимость (1.4) уровня профессиональной подготовки от времени, затраченного на ее подготовку, составленная на основе теории информации и носящая наименование математической модели обучаемости:

$$Q(t) = Q_{np} - (Q_{np} - Q_0) e^{-t/t_c}, \quad (1.4)$$

где $Q(t)$ – функция уровня профессиональной подготовленности (уровень полученных знаний в результате усвоения информации о системе) в зависимости от времени, затраченного на ее усвоение. Практически $Q(t)$ оценивается количеством правильных ответов в результате тестирования;

Q_{np} – предельный уровень подготовленности оператора, соответствующий его потенциальным возможностям по усвоению информации о системе данного типа, если время на его подготовку будет бесконечно большим;

Q_0 – исходный уровень подготовленности оператора, до начала процесса обучения. Q_0 характеризует начальный уровень знаний конкретного специалиста предметной области, приобретенный им либо в учебном центре, либо путем передачи опыта другими специалистами и т. д.;

t – время, затраченное на специальную подготовку;

t_0 – коэффициент, характеризующий способности оператора к обучению.

Физический смысл коэффициента t_0 , выраженного в единицах времени, можно представить из следующих соображений: он характеризует время достижения оператором предельного уровня Q_{np} при условии, что зависимость уровня подготовленности от времени носила бы линейный характер,

представленный на рисунке 1, касательной к кривей обучаемости, приведенной из точки с координатами $Q(t)=Q_0$ и $t=0$. Очевидно, что более крутой характер касательной характеризует оператора как более способного к обучению.

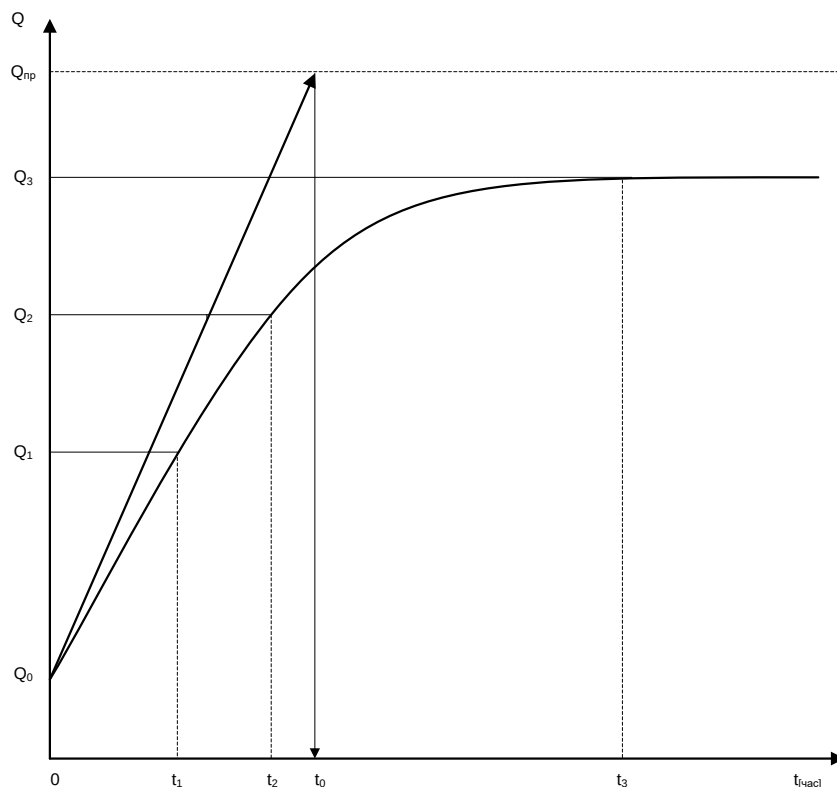


Рисунок 1 – Зависимость уровня подготовленности оператора от времени, затраченного на его подготовку (обучение)

Зависимость (1.4) позволяет достаточно наглядно представить динамику роста уровня профессиональной подготовленности оператора с течением времени, затраченного на его подготовку.

При использовании зависимости (1.4) необходимо определиться в способах нахождения $Q_{пр}$, Q_0 и t_0 , которые фигурируют в выражении константы. Q_0 первоначально может определяться по количеству правильных ответов в результате тестирования до начала процесса занятий по специальности. Учитывая, что при первоначальном тестировании в Q_0 могут войти случайно угаданные ответы – данная величина может уточняться в процессе специальной подготовки по зависимости (1.5), построенной по 3-м точкам экспериментальной кривой (см. рис. 1). Для получения этих точек через промежутки времени t_1 ; $t_2=2t_1$; и $t_3=4t_1$ необходимо определить соответствующие уровни значений Q_1 , Q_2 и Q_3 . После чего Q_0 определяется из выражения [1, 3]:

$$Q_0 = Q_1 - \frac{(Q_2 - Q_1)^2}{2(Q_3 - Q_2)} * \left(1 + \sqrt{\frac{4Q_3 - 3Q_2 - Q_1}{Q_2 - Q_1}}\right) \quad (1.5)$$

Для определения $Q_{пр}$ и t_0 могут быть использованы выражения (1.6 – 1.9) [1, 3]:

Для одной точки экспериментальной кривой:

$$Q_{\text{пр}} = \frac{Q_1 - Q_0 * e^{-t/t_0}}{1 - e^{-t/t_0}} \quad (1.6)$$

$$t_0 = \frac{t_1}{\ln[(Q_{\text{пр}} - Q_0)/(Q_{\text{пр}} - Q_1)]} \quad (1.7)$$

или более точное для 2-х точек экспериментальной кривой:

$$Q_{\text{пр}} = \frac{Q_1^2 - Q_0 * Q_2}{2 * Q_1 - (Q_2 + Q_0)} \quad (1.8)$$

$$t_0 = \frac{t_1}{\ln[(Q_1 - Q_0)/(Q_2 - Q_1)]} \quad (1.9)$$

Таким образом, построена математическая модель обучаемости, представляющая собой математическую формализацию процесса профессиональной подготовки операторов на основе выходных показателей, характеризующих этот процесс, без раскрытия его микроструктуры. Она позволяет решать важные практические задачи, составляющие основу системы профессиональной подготовки специалистов, обслуживающих объекты теплоэнергетики.

При реализации предложенной математической модели на практике, целью интенсификации процесса специальной подготовки обслуживающего персонала необходимо учитывать, что после достижения человеком определенного уровня знаний, если к ним не обращаться, начинается фаза деградации или потери знаний в результате забывания. Этот процесс объясняется свойствами человеческой памяти. Обычно различают три вида памяти [2]: непосредственную (оперативную), кратковременную и долговременную.

Поступившие от органов чувств сведения 10-15 секунд (до 160) находятся в оперативной памяти. Большая часть из них теряется, а меньшая (3-4 %) при обязательном наличии подкреплений (повторений) переходит в кратковременную память, где она хранится 24-48 часов, в течение которых большая часть теряется, а меньшая (10 % поступившей или 0,3-0,4 % от первоначальной) переходит в долговременную память [4].

Рассмотренные свойства памяти человека показывают необходимость повторений, как при запоминании информации, так и для ее сохранения. На рисунке 2 представлена кривая роста и восстанавливаемости знаний.

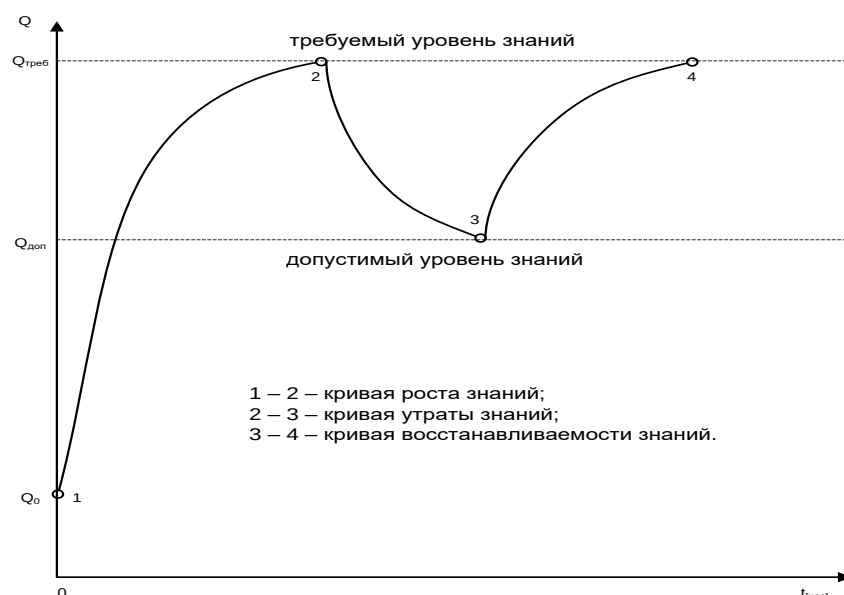


Рисунок 2 – Кривая роста и восстанавливаемости знаний

Список литературы:

1. Зинченко, В. П. Введение в эргономику / В. П. Зинченко. – Москва: «Сов. Радио», 1974. – 350 с. – Текст : непосредственный.
2. Основы инженерной психологии / Под редакцией В. Ф. Ломова. – Москва: «Высшая школа», 1986. – 335 с. – Текст: непосредственный.
3. Трапезников, В. А. Управление и научно-технический прогресс / В. А. Трапезников. – Москва: «Наука», 1983. – 224 с. – Текст: непосредственный.
4. Нурмиев, И. И. Теплоэнергетика XXI века: автоматизация для эффективности, безопасности и экономии / И. И. Нурмиев, О. В. Борисова // Грани науки 2023: Сборник трудов Международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону-Мадрид, 27 ноября 2023 года. – Ростов-на-Дону - Мадрид: ДиректСайнс (ИП Шкуркин Д.В.), ООО "Сфера", 2023. – С. 301-304. – EDN MGQVKM. <https://elibrary.ru/item.asp?id=59281786>
5. Эйтерник, А. Ю. Способы повышения энергоэффективности при помощи инновационных технологий в теплоэнергетике / А. Ю. Эйтерник, О. В. Борисова // Энергетика, инфокоммуникационные технологии и высшее образование : Международная научно-техническая конференция. Электронный сборник научных статей по материалам конференции В 3-х томах, Алматы, Казань, 20–21 октября 2022 года. Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2023. – С. 150-153. – EDN PLIEBW. <https://elibrary.ru/item.asp?id=50076467>

© Кондратенко А. Н., 2024

ИНТЕГРАЦИЯ РОБОТОВ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

студент **Багров Валерий Владимирович**,
науч. руководитель: **Игнатьева Татьяна Юрьевна**,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна
Высшая школа технологии и энергетики,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В работе исследуется роль робототехники в автоматизации производственных процессов. Рассматриваются способы, особенности, преимущества и недостатки интеграции робототехнических систем в схемы автоматизации предприятий. Затрагивается проблема совместной работы робота и человека на предприятии. Автор анализирует современные тенденции в промышленной робототехнике и роботостроении.

Ключевые слова: автоматизация, робототехника, робот, кобот, производство, взаимодействие робота и человека.

INTEGRATING ROBOTS INTO PRODUCTION PROCESSES

Student **Bagrov Valeriy Vladimirovich**,
Academic Advisor: **Ignatieva Tatyana Yuryevna**,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. The research work examines the role of robotics in the automation of production processes. The methods, features, advantages and disadvantages of integrating robotic systems into enterprise automation schemes are considered. The problem of the human-robot interaction an enterprise is touched upon. The author analyzes the current trends in industrial robotics.

Keywords: automation, robotics, robot, collaborative robot, industry, robot-human interaction.

Современная промышленность стремится к повышению производительности, качества и безопасности производственных процессов. Одним из ключевых направлений достижения этих целей является интеграция робототехники в автоматизацию предприятий. Использование робототехнических систем в автоматизации позволяет выполнять различные трудные, иногда непосильные человеку, задачи за минимальное время [1].

Все промышленные революции вызвали желание человека переложить или распределить свои рабочие обязанности на машину и достигать при этом большей производительности. От одной «индустрии» до другой меняется только

сложность задач и устройства их выполняющих машин. На данный момент в мире происходит четвертая промышленная революция (индустрия 4.0). Индустрия 4.0 – автоматизация производств с использованием современных технологий, таких как интернет вещей (IoT) и межмашинная коммуникация (M2M), интегрируемые для улучшения самоконтроля системы и связи между ее компонентами. На рисунке 1 можно увидеть, как менялись технологии, используемые для автоматизации производственных процессов.



Рисунок 1 – Этапы развития автоматизации предприятий

Люди начали думать о создании устройства, которое сможет выполнять некоторую работу самостоятельно вместо них, очень давно. Сведения о первых автоматах – механических устройствах, имитирующих деятельность живых организмов, встречаются с древности. В III веке до н.э. Филон Византийский изобрел механическую служанку, которая смешивала вино и воду в одном сосуде. Упоминание слова «робот» в литературе зарегистрировано в начале 20 века. Робот – автоматическое устройство, предназначенное для выполнения задач. С тех пор технологии сильно шагнули вперед.

Сегодня стал возможным прямой обмен информацией робота с роботом, и, кроме того, автоматизированные системы могут координировать их работу, оптимизируя распределение задач, и уменьшать время цикла производства, без участия оператора благодаря современным технологиям. Роботы применяются во множестве сфер: развлечения, медицина, научные исследования, исследование космоса, ликвидация последствий аварий, промышленность и во многих других сферах. В промышленности одним из важных преимуществ роботизации предприятия является повышение безопасности труда [2]. Робот может выполнять опасные или вредные для жизни человека операции, например, подъем тяжестей и работу с агрессивными средами, также он может выполнять высокоточные операции манипулирования, которые человек выполнить физически не способен. А автоматизированные системы контролируют работу

роботов и предотвращают аварийные ситуации или своевременно предупреждают об их возможности.

На данный момент лидерами среди стран с наибольшим количеством установленных на предприятиях роботов являются Япония, Германия и Швеция. Россия имеет один из самых низких уровней роботизации среди других стран мира. Средний мировой показатель составляет около 100 роботов на 10 000 работников производственных сфер, в то время как в России он составляет 10 роботов на то же количество человек [3]. Недостаточный уровень технологий в сфере робототехники заставляет российские предприятия использовать готовые решения иностранных производителей.

Активнее всего в России развивается роботизация складов, так как все большую популярность набирают продажи товаров в интернете на маркетплейсах. Ярким примером этого является разработка компании «Яндекс» полностью автоматизированного склада goods to person (товар к человеку). Эта концепция позволяет через единый интерфейс склада заказать товар, и робот доставит его в заданное место. Одной из последних разработок в данном проекте был складской робот “Dilectus”. Внешний вид робота представлен на рисунке 2 [4]. Также компания разработала робота-инвентаризатора “Spectro”, который сканирует палеты с товарами и проводит полную инвентаризацию за 1,5 часа, на что у группы из 5 человек уходит 4 недели [5].

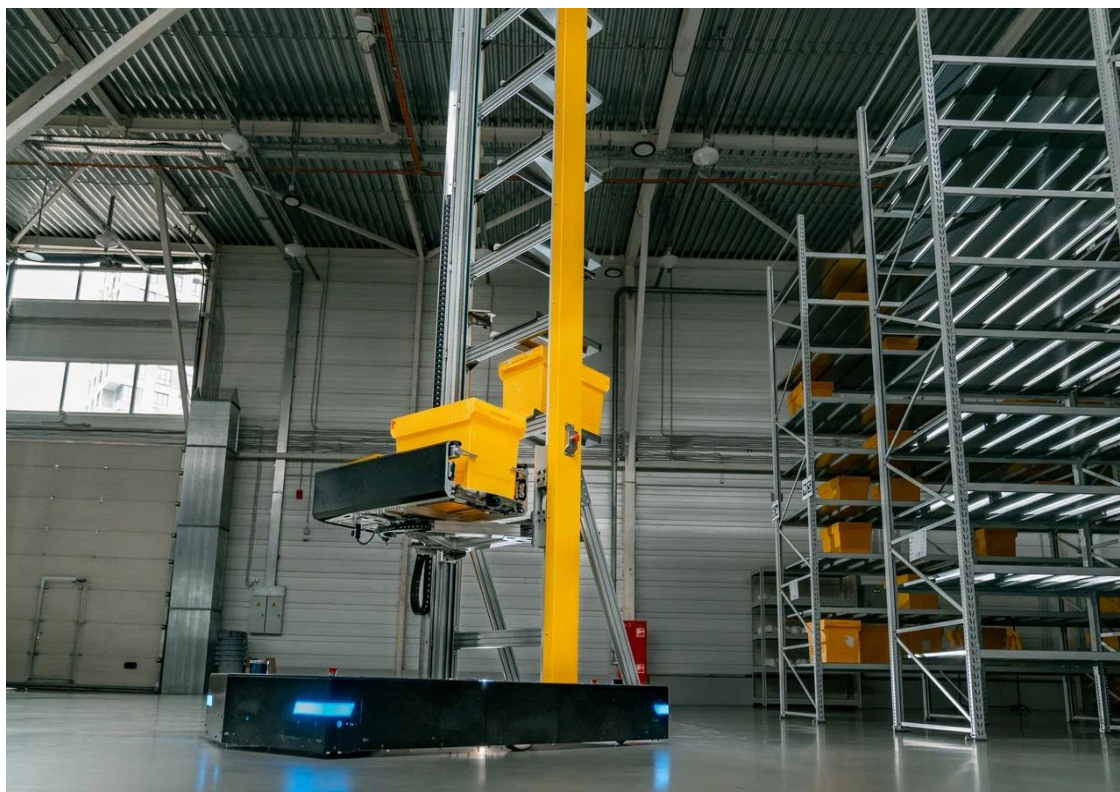


Рисунок 2 – Фото робота “Dilectus” на испытаниях

Согласно исследованиям, роботизация дает значительный прирост в производительности, установка роботов на крупные предприятия повышает производительность труда на 44,5 %, а на средние и малые – на 54,7 % [6].

Производители автомобилей оптимизируют создание новых моделей транспортных средств, используя абстрактное мышление человека и преимущества роботизированных систем.

Робототехнические системы – это совокупность микроконтроллерных, сенсорных и механических устройств, совместно функционирующих с целью выполнения заданного процесса или операции.

Робототехнические системы могут работать автономно и совместно с человеком. На любом предприятии работают люди, и при интеграции роботов в производственные процессы всегда рассматривается их совместная работа. Робот, который разработан для работы вместе с человеком в едином рабочем пространстве, называется кобот [7]. Коботам нашли применение в легкой, пищевой промышленности и в автомобильной индустрии.

При проектировании коботов необходимо учитывать многие факторы. Сейчас взаимодействие робота с человеком активно изучается для увеличения производительности их совместного труда. В результате проведенного компанией “SoftBank” исследования выяснилось, что людям комфортнее работать с роботами, которые совершают или имитируют ошибки, чем с теми, которые идеально выполняют задания [8].

Интеграция робототехники и автоматизации может заставить волноваться некоторых людей, так как они могут быть уволены и заменены роботом. Робот имеет некоторые преимущества перед человеком в глазах работодателя, например, стабильное выполнение рабочих обязанностей: он не возьмет отпуск или больничный и всегда будет на работе вовремя. Некоторые профессии и правда становятся неактуальными с приходом автоматизации, но появляются новые. С появлением новых объектов автоматизации появляется необходимость в новых работниках, которые будут разрабатывать эффективные алгоритмы управления, обеспечивающие синхронизацию работы робота и автоматизированной системы, обеспечивать безопасное взаимодействие между роботами и людьми и многое другое [9].

Таким образом, интеграция робототехники представляет собой мощный инструмент для повышения эффективности и безопасности производственных процессов. С развитием технологий и методов управления эта тенденция будет продолжать усиливаться, открывая новые возможности для совершенствования промышленности.

Список литературы:

1. Борисова, О. В. Роботизированная автоматизация процессов проектирования и разработки продукции / О. В. Борисова, Р. А. Шарифуллина // Современные наука и образование: достижения и перспективы развития: сборник трудов по материалам III Национальной научно-практической конференции, Керчь, 15–16 мая 2023 года / Редколлегия: Е.П. Масюткин [и др.]. – Керчь: ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», 2023. – С. 15-20. – EDN GTWBAR.

2. Дудникова, С. А. Инновации в области робототехники и автоматических систем в машиностроении / С. А. Дудникова, О. В. Борисова // Механики XXI века. – 2023. – № 22. – С. 117-120. – EDN USZVHR.
3. Пирогова, А. М. Роботизация и автоматизация: влияние на трудовой рынок и экономику / А. М. Пирогова // Общество, образование, наука в современных парадигмах развития: материалы IV Национальной научно-практической конференции, Керчь, 09-10 ноября 2023 года. – Керчь: ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», 2023. – С. 105-109. – EDN PSEWMI
4. Пресс-релиз: Новый складской робот Яндекс Маркета будет собирать заказы вместе с сотрудниками: [офиц. сайт] – URL: <https://ir.yandex.ru/press-releases?year=2023&id=01-21-08-2023> (дата обращения: 20.04.2024).
5. Ирина Юзбеков, Владислав Скобелев «Яндекс» создал промышленных роботов для складов и дарксторов / редакция Forbes / [статья на сайте] – URL: <https://www.forbes.ru/tekhnologii/473089-andeks-sozdal-promyslennyh-roboto> (дата обращения: 20.04.2024).
6. Федюнина, А. А. Влияние роботизации на производительность промышленных предприятий в России / А. А. Федюнина, Н. А. Городный, Ю. В. Симачев // Российский журнал менеджмента. – 2023. – Т. 21, № 1. – С. 66-88. – DOI 10.21638/spbu18.2023.104. – EDN HSVFAI.
7. Rinat Galin, Roman Meshcheryakov (2019) Automation and robotics in the context of Industry 4.0: the shift to collaborative robots, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 537 032073, V A Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences, 65 Profsoyuznaya Street, Moscow, 117997, Russia
8. Середкина, Е. В. Взаимодействие человека и робота: социально-гуманитарная экспертиза / Е. В. Середкина, И. И. Безукладников, Е. Н. Ядова // Социально-гуманитарные знания. – 2019. – № 10. – С. 102-108. – EDN FQWSJM.
9. Lindsay Sanneman, Christopher Fourie, Julie Shah (2020) The State of Industrial Robotics: Emerging Technologies, Challenges, and Key Research Directions

© Багров В. В., 2024

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ОБРАЗЕЦ СТЕНДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

магистрант **Маслов Савелий Юрьевич**,
магистрант **Хамидуллин Ильдар Ниязович**,
науч. руководитель: доктор техн. наук, доцент **Иванов Дмитрий Алексеевич**,
Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. В работе представлен экспериментальный образец учебного стенда для изучения принципов работы основных логических элементов и логических функций на базе отладочной платы Arduino UNO, с подключенными к ней периферийными устройствами, также рассмотрена Гарвардская архитектура микроконтроллера, входящего в состав отладочной платы Atmega328.

Ключевые слова: учебный стенд, логические элементы, логические функции, периферийные устройства, гарвардская архитектура, микроконтроллер.

EXPERIMENTAL SAMPLE OF THE STAND FOR STUDYING THE PRINCIPLES OF OPERATION OF LOGIC ELEMENTS

Master Student **Maslov Saveliy Yurevich**,
Master student **Khamidullin Ildar Niyazovich**,
Academic Advisor: PhD in Techtology, Associate Professor
Ivanov Dmitriy Alekseevich,
Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russian Federation

Abstract. The paper presents an experimental sample of a training bench for studying the principles of operation of basic logic elements and logic functions, based on the Arduino UNO debug board, with peripherals connected to it, the Harvard architecture of the microcontroller included in the Atmega328 debug board is also considered.

Keywords: training bench, logic elements, logic functions, peripherals, harvard architecture, microcontroller.

В настоящее время происходит активное развитие технологий, процессы производства автоматизируются, что позволяет минимизировать и упростить процесс человеческого труда, заменив его работой машины. В повседневной жизни мы также не можем обойтись без различных цифровых устройств, телефонов, планшетов, компьютеров и т. д. Все это стало возможно благодаря активному развитию полупроводниковых технологий, позволяющих уместить

огромные вычислительные мощности на небольшую площадь кристалла полупроводника (современные технологии позволяют создать кристалл размером 500 мм², который содержит около 14 миллиардов транзисторов).

Это привело к созданию микропроцессоров – цифровых устройств, способных обрабатывать цифровую информацию и управлять процессом обработки. В последующем ученые модернизировали данные устройства, создавая на их основе специальные устройства – микропроцессоры, имеющие в своем составе несколько видов памяти (ПЗУ и ОЗУ), процессор, устройства ввода/вывода и служащие для управления различными периферийными модулями.

Все цифровые устройства так или иначе работают, используя логические элементы (обычно комбинации простейших логических элементов), к ним относятся: НЕ, И, И НЕ, ИЛИ, ИЛИ НЕ, исключающее ИЛИ (сложение по модулю 2). В связи с этим понимание работы таких элементов играет ключевую роль в подготовке специалистов, инженеров, способных осуществлять программирование уже более сложных систем. В рамках данной статьи разработан учебный стенд для изучения работы всех логических элементов, включая также логические функции, реализованные на базовых элементах.

Данный стенд был выполнен на базе отладочной платы Arduino UNO, в состав которой входит микроконтроллер Atmega128. Данный МК имеет улучшенную Гарвардскую архитектуру [1].

В отличие от архитектуры Фон Неймана, где нет разделения памяти программ и их данных (однородная память), в Гарвардской архитектуре память программ и данных представляют собой разные физические устройства, включая также разделенные шины команд и шины данных (см. рис. 1) [2].

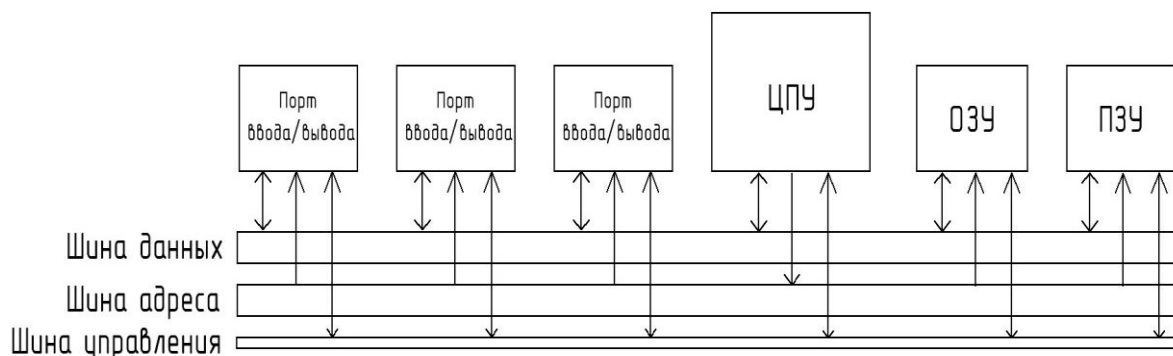


Рисунок 1 – Схема устройства микропроцессорной системы на базе Гарвардской архитектуры

Плюсами данной архитектуры являются более высокое быстродействие и защита от нарушения работы управляющих программ при наличии ошибок в ней, а также при вирусных атаках.

Рассмотрим процесс чтения и записи данных в микроконтроллере Гарвардской архитектуры. При чтении данных из ячейки памяти центральное процессорное устройство (ЦПУ) выводит на шину адреса (ША) адрес необходимой ячейки, после чего на шину управления (ШУ) подается сигнал чтения RD, переводя сигнал в активное состояние (логический ноль). Все это время сигнал для работы с

памятью MREQ находится в активном состоянии (логический ноль), при этом сигнал для работы с портами ввода/вывода IORQ находится в неактивном (логическая единица) состоянии.

Для записи ячейки в память ЦПУ также на ША выставляет адрес необходимой ячейки, далее на ШД передает байт информации, процессор переводит сигнал записи WR в активное состояние, после чего происходит запись данных в память МК.

Работа с портами ввода вывода производится аналогичным образом, но при активном сигнале на IORQ (логический ноль) и неактивном сигнале на MREQ (логическая единица) [3].

После изучения внутренней структуры выбранного МК перейдем к рассмотрению экспериментального образца (далее ЭО), позволяющего изучить принцип работы базовых логических элементов и логических функций. Схема разработанного устройства представлена на рисунке 2.

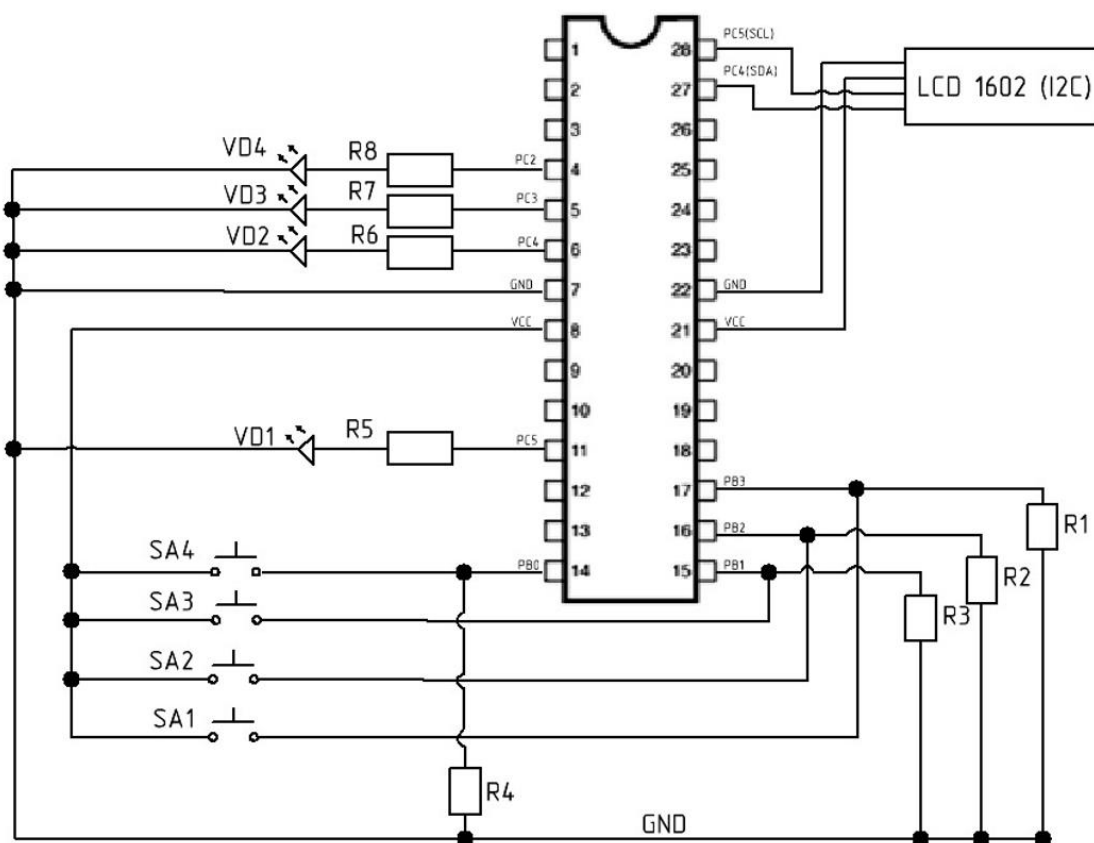


Рисунок 2 – Схема разработанного ЭО

Основными элементами являются тактовые кнопки (S1-S4), первые три эмитируют подачу сигналов на входы советующих логических элементов. Последняя осуществляет переключение между режимами работы. Для того чтобы исключить ложные срабатывания, в схему добавлены резисторы (R1-R4) номиналом 9,6 кОм), подтягивающие порты к нулю.

Для индикации используются зеленые светодиоды, причем первые три (VD1-VD3) показывают наличие сигнала логической единицы на советующих портах

(PB0 - PB3), а светодиод (VD4) показывает выходной сигнал, который получается при определенной комбинации входных.

Для наглядной демонстрации включенного режима к схеме подключен также LCD-дисплей 1602. На нем можно увидеть, в каком режиме работает устройство, а также состояния выхода (либо 0, либо 1).

Блок-схема работы программы представлена на рисунке 3.

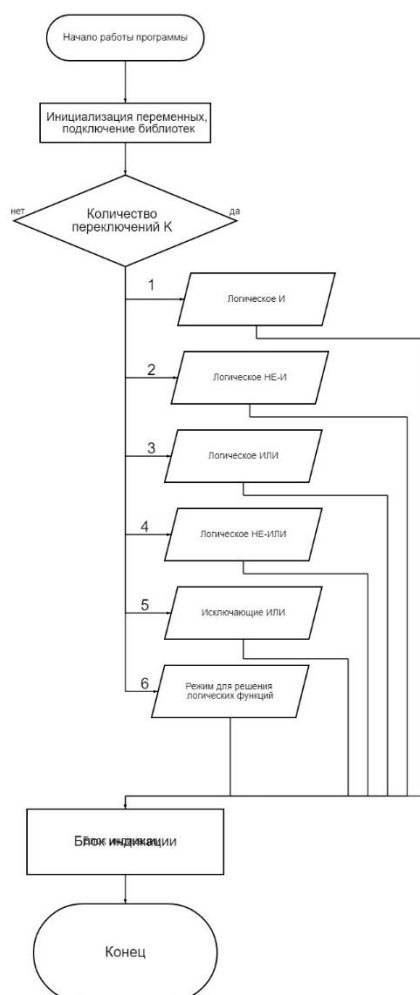


Рисунок 3 – Блок-схема работы программы

Выполнение программы начинается с подключения необходимых библиотек, в частности, для работы с LCD-дисплеем по последовательному интерфейсу I2C была использована библиотека «LCD_1602_RUS», позволяющая выводить на жидкокристаллический экран знаки Кириллицы [4].

Регулировка режимов осуществляется кнопкой S4, при этом после того, как количество переключений кнопки k достигнет максимального значения 6, она сбросится в единицу и цикл пойдет заново. Для наглядности предполагается, что входные сигналы с кнопок обозначаются латинскими буквами A, B, C (светодиоды VD1-VD3), а выходной сигнал буквой D (светодиод VD4).

Они записываются в одноименные целочисленные беззнаковые константы (тип unsigned int). После нажатия кнопки, в зависимости от соответствующего значения k в блок switch-case, происходит выборка алгоритма обработки

поступающих входных сигналов. К примеру, в режиме «Логическое НЕ-И» значения трех переменных А, В, С перемножаются, после чего их значение инвертируется, и на выходе имеем логический 0 при наличии сигнала логической единицы на всех выводах, и логическую 1 в остальных случаях [5].

При достижении значения $k = 5$ (исключающее или), вход С отключается, что приводит к уменьшению комбинаций сигналов с 2^3 до 2^2 (с 8 до 4).

Также при достижении значения, равного 6, происходит переход в режим решения пользовательской логической функции, которая записывается в виде строки (к примеру $(A+B)*C$). Список всех режимов представлен в таблице.

Таблица – Режимы работы экспериментального образца

Количество переключений (значение k)	Режим работы
1	Логическое И
2	Логическое НЕ-И
3	Логическое ИЛИ
4	Логическое ИЛИ-НЕ
5	Исключающее ИЛИ
6	Пользовательский режим

После выполнения алгоритмов обработки сигнал попадает в блок индикации, в котором на LCD-дисплей выводится информация о режиме работы устройства, и его выходного значения (рис. 4).

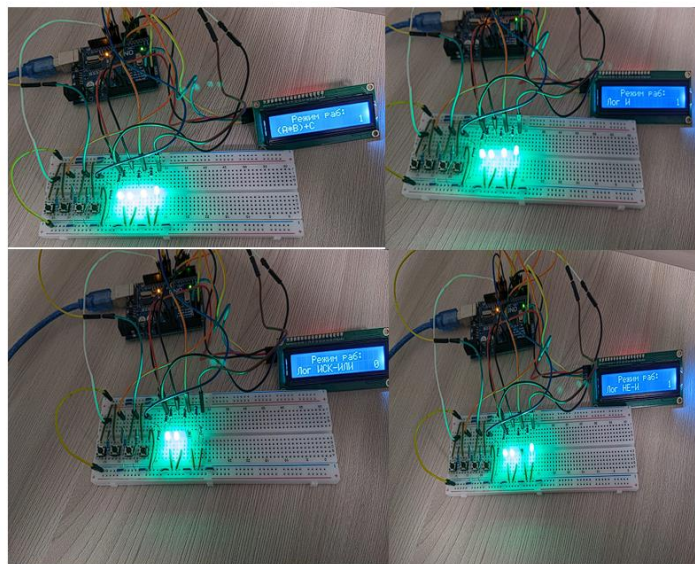


Рисунок 4 – Внешний вид экспериментального образца и четыре режима его работы: а) пользовательский; б) логическое И; в) исключающее ИЛИ; д) логическое НЕ-И

Вывод. Полученный экспериментальный образец можно использовать для наглядной демонстрации работы основных логических элементов, а также простейших логических функций, которые студенты могут задать самостоятельно в соответствующей части программы, дальнейшая работа

направлена на доработку устройства и создание для него корпуса с применением технологий 3D-печати.

Список литературы:

1. Максимов, Н. В., Партыка, Т. Л., Попов, И. И. Архитектура ЭВМ и вычислительных систем: учебник / Н. В. Максимов, Т. Л. Партыка, И. И. Попов. – М.: ФОРУМ; ИНФРА-М, 2013. – С.154-155.
2. Павлов, А. В. Архитектура вычислительных систем / А. В. Павлов. – СПб: Университет ИТМО, 2016. – С. 31-32.
3. Белов, А. В. Микроконтроллеры AVR: от азов программирования до создания практических устройств / А. В. Белов. – СПб.: Наука и Техника, 2023. – С. 56-57.
4. GitHub: [сайт]. – 2024. – URL: https://github.com/ssilver2007/LCD_1602_RUS (дата обращения: 25.04.2024). – Текст : электронный.
5. Керниган Б., Ритчи Д. К36 Язык программирования СиД / Пер. с англ. – 3-е изд., испр. – СПб.: «Невский Диалект», 2001. – 352 с: ил.

© Маслов С. Ю., Хамидуллин И. Н., 2024

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ И РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

студент Должанская Кристина Артуровна,
студент Сгибнева Елена Александровна,
студент Толбаева Зарина Ерболатовна,
науч. руководитель: ст. преподаватель Дронов Алексей Александрович,
Филиал «Восход» Московского авиационного института (национальный
исследовательский университет)
г. Байконур, Республика Казахстан

Аннотация. В данной статье предлагается разработать систему, выполняющую следующие основные задачи: автоматическое распознавание схемы исходной электрической цепи; составление по результатам распознавания исходной цепи топологических уравнений в матричной форме; решение полученных систем уравнений соответствующими методами (по уравнениям Кирхгофа, методами контурных токов, узловых потенциалов). В работе приведены этапы реализации данной автоматизированной системы.

Ключевые слова: распознавание элементов цепи, автоматическое распознавание, электрическая цепь, алгоритмы анализа изображений, автоматизированный расчет матриц, анализ электрической цепи.

AUTOMATED SYSTEM FOR RECOGNIZING AND CALCULATING ELECTRICAL CIRCUITS

Student Dolzhanskaya Kristina Arturovna,
Student Sgibneva Elena Aleksandrovna,
Student Tolbaeva Zarina Erbolatovna,
Academic Advisor: Senior lecturer Dronov Aleksey Aleksandrovich,
Branch “Voskhod” Moscow Aviation Institute (National Research University)
Baikonur, Republic of Kazakhstan

Abstract. This article proposes to develop a system that performs the following main tasks: automatic recognition of the source electrical circuit diagram; drawing up topological equations in matrix form based on the results of recognition of the original chain; solving the resulting systems of equations using appropriate methods (using Kirchhoff's equations, methods of loop currents, nodal potentials). The work describes the stages of implementation of this automated system.

Keywords: recognition of circuit elements, automatic recognition, electrical circuit, image analysis algorithms, automated calculation of matrices, electrical circuit analysis.

При построении и анализе электрических цепей возникает задача расчета электрических схем. Под электрической цепью понимается совокупность

соединенных друг с другом источников и приемников электрической энергии, а также измерительных приборов, коммутирующих элементов и соединительных проводов, по которым может протекать электрический ток.

Расчет состоит из выполнения двух этапов: анализ исходной структуры с составлением топологических уравнений и решение этих уравнений.

На рисунке 1 показан результат анализа электрической цепи с заданием направлений токов, узлов и независимыми контурами, подготовленными для составления уравнений состояния цепи. Существует несколько методов расчета цепей, основанных на законах Кирхгофа, таких как методы контурных токов и узловых потенциалов. Все эти уравнения являются топологическими уравнениями и создаются после анализа исходной схемы.

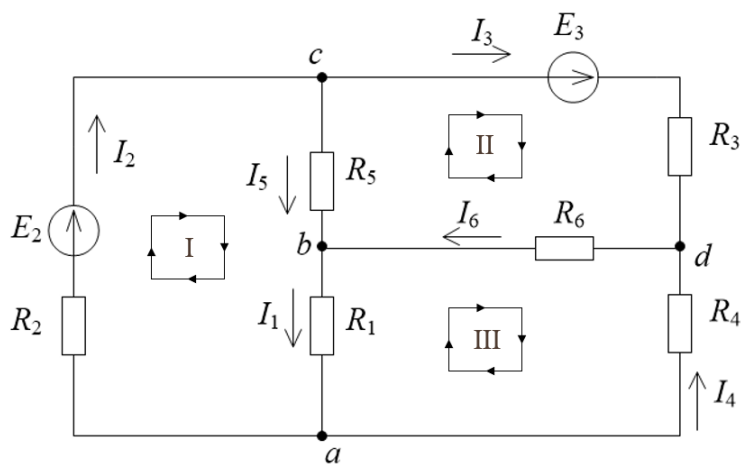


Рисунок 1 – Электрическая схема

Задача подготовки схемы к расчету и сам расчет полученных систем уравнений являются достаточно сложной задачей, так как количество ветвей, а, следовательно, и уравнений может быть достаточно велико.

В настоящее время существуют программные продукты, предназначенные для расчета электрических цепей, но в основном они решают вторую задачу – непосредственно расчет полученных систем уравнений. Расчет можно выполнять в типовых математических пакетах MathLab, MathCad, Microsoft Excel. Существуют специальные средства, которые позволяют рассчитать соответствующую схему. Основная проблема всех этих средств в том, что они требуют либо перечерчивания схемы, либо ввода уже готовых уравнений. И то и другое при соответствующей сложности (большом числе элементов в схеме) может приводить к ошибкам.

Также есть аналоги, связанные с распознаванием элементов схемы. К примеру, нейросеть KONERGY (<https://konergy.ru>) (рис. 2) позволяет распознать графическое изображение схемы, но ориентирована на решение других проблем, связанных не с составлением топологических уравнений, а с анализом состава схемы.

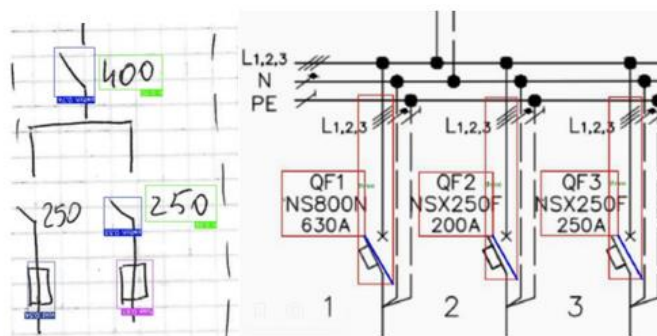


Рисунок 2 – Пример работы нейросети

Поэтому предлагается разработать систему, которая бы автоматизировала обе задачи, т. е. выполняла следующие функции: автоматическое распознавание исходной электрической схемы, составление топологических уравнений на основе распознанной структуры цепи и выполнение их решения по заданным методам (предлагается использовать три основных метода, которые чаще всего используются при расчетах: метод по законам Кирхгофа, методы контурных токов и узловых потенциалов).

Для решения первой задачи необходимо разработать специализированный векторизатор для распознавания электрических схем, позволяющий анализировать все соединения элементов.

Для решения задачи разработки специализированного векторизатора для распознавания электрических схем необходимо определить алгоритмы анализа изображений, исходные данные для распознавания и форматы представления конечных результатов. Для распознавания принципиальных схем также необходима база условно-графических отображений элементов. Перед обработкой изображения его следует конвертировать в монохром, удалить шумы и ненужные элементы для улучшения читаемости. Затем изображение может быть интерпретировано как двумерный булевый массив, где каждому элементу соответствует отдельный пиксель с отличающимся от фона цветом (по умолчанию – белого).

Задачу распознавания элементов на электрических схемах можно разделить на макроэтапы:

1. Идентификация линий связей с сохранением начальной и конечной точек.
2. Обнаружение мест условно-графических обозначений (УГО).
3. Анализ УГО с применением списка стандартных образцов (эталонов).
4. Распознавание буквенных обозначений.
5. Сохранение полученных результатов.

На рисунке 3 приведен пример программы, реализованный на языке Python с использованием библиотеки OpenCV, обрабатывающий исходное изображение и распознающий элементы электрической цепи по углам [3].

```

# Считывание изображения
img = cv2.imread('photo_5210763514917019641_x.jpg')

# Конвертация изображения в оттенки серого
gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2GRAY)

# Бинаризация пикселей (перевод в черно-белое)
_, threshold = cv2.threshold(gray, 127, 255, cv2.THRESH_BINARY)

# Функция нахождения контура
contours, _ = cv2.findContours(threshold, cv2.RETR_TREE, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

i = square = 0
# Цикл для присвоения имен фигурам
for contour in contours:
    # Первая итерация игнорируется, т.к. функция рассматривает все изображение как фигуру
    if i == 0:
        i = 1
        continue
    # Получение фигуры путем аппроксимации (получения приближенного значения)
    approx = cv2.approxPolyDP(contour, 0.01 * cv2.arcLength(contour, True), True)
    # Обводка контура
    cv2.drawContours(img, [contour], 0, (0, 0, 255), 2)

    # Нахождение центральной точки фигуры
    M = cv2.moments(contour)
    if M['m00'] != 0.0:
        x = int(M['m10'] / M['m00'])
        y = int(M['m01'] / M['m00'])

    if len(approx) == 4:
        cv2.putText(img, 'R', (x, y), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.6, (0, 0, 0), 2)
        cv2.drawContours(img, [contour], 0, (255, 0, 0), 3)
        square = square + 1
    elif len(approx) > 10:
        cv2.putText(img, 'circle', (x, y), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.6, (0, 0, 0), 2)
        cv2.drawContours(img, [contour], 0, (0, 255, 0), 3)

```

Рисунок 3 – Листинг программы для нахождения фигур на изображении

На рисунке 4 приведен результат распознавания элементов схемы с помощью разработанной программы.

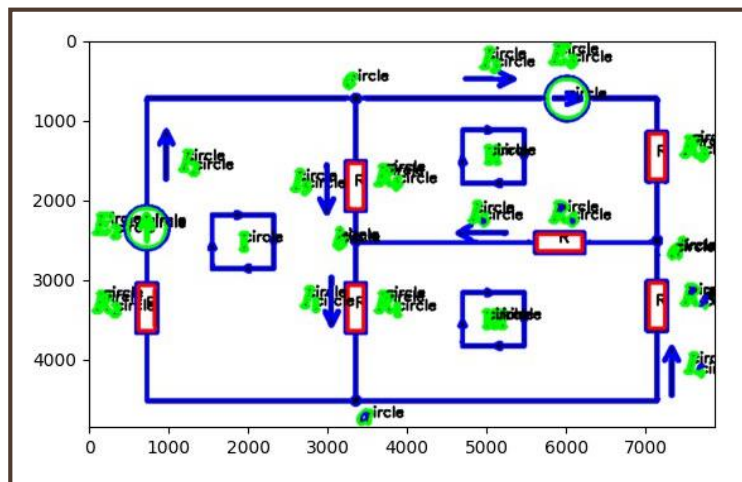
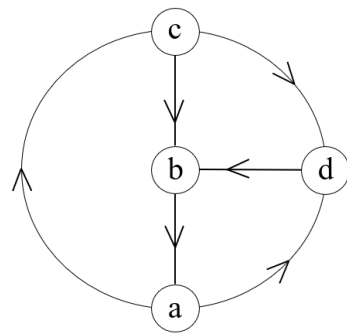


Рисунок 4 – Пример распознавания элементов цепи

Для решения второй задачи используется представление схемы в виде графа. Для перехода от схемы электрической цепи к графу следует заменить элементы ветвями графа, а узлы цепи – вершинами.

Ориентированный граф содержит полную информацию о топологии цепи. Опорные направления тока и напряжения помечаются на ветвях графа стрелками. Стрелка, направленная от вершины, соответствующей полюсу цепи с положительным потенциалом, указывает положительное направление тока через ветвь (рис. 5).



Матрица смежности:

	a	b	c	d
a	0	1	1	1
b	1	0	1	1
c	1	1	0	1
d	1	1	1	0

Матрица инцидентности:

	a	b	c	d
I_1	-1	0	1	0
I_2	0	1	-1	0
I_3	1	-1	0	0
I_4	0	1	0	-1
I_5	0	0	-1	1
I_6	-1	0	0	1

Рисунок 5 – Ориентированный граф и матрицы смежности и инцидентности

Содержащаяся в направленном графе информация может быть полностью представлена топологическими матрицами смежности и инцидентности, которые служат его аналитическим описанием.

На основе полученного графа цепи строятся три матрицы – пассивных элементов, активных элементов и соответствия числовых значений (матрица сопротивлений) (рис. 6).

$$B = \begin{matrix} I \\ II \\ III \end{matrix} \begin{pmatrix} I_1 & I_2 & I_3 & I_4 & I_5 & I_6 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 1 \\ -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

$$E = \begin{matrix} I \\ II \\ III \end{matrix} \begin{matrix} \Sigma E \\ E_2 \\ E_3 \\ 0 \end{matrix}$$

$$R = \begin{pmatrix} R_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_6 \end{pmatrix}$$

Рисунок 6 – Пример исходных матриц

Далее полученные матрицы преобразуются в системы уравнений, соответствующие выбранному методу решения.

Для метода контурных токов получаем следующее уравнение (1) [2]:

$$B \cdot R \cdot B^T \cdot I_K = E, \quad (1)$$

где $B \cdot R \cdot B^T = Z_k$ – матрица контурных сопротивлений;

B^T – транспонированная матрица B;

I_K – столбец контурных токов.

На рисунке 7 приведено преобразование матриц под вид уравнения (1).

$$B \cdot R = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 1 \\ -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_1 & R_2 & 0 & 0 & R_5 & 0 \\ 0 & 0 & R_3 & 0 & -R_5 & R_6 \\ -R_1 & 0 & 0 & -R_4 & 0 & -R_6 \end{pmatrix}$$

$$Z_K = B \cdot R \cdot B^T =$$

$$= \begin{pmatrix} R_1 & R_2 & 0 & 0 & R_5 & 0 \\ 0 & 0 & R_3 & 0 & -R_5 & R_6 \\ -R_1 & 0 & 0 & -R_4 & 0 & -R_6 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (R_1 + R_2 + R_5) & -R_5 & -R_1 \\ -R_5 & (R_3 + R_5 + R_6) & -R_6 \\ -R_1 & -R_6 & (R_1 + R_4 + R_6) \end{pmatrix}$$

$$Z_K \cdot I_K = E - \text{решение в матричной форме}$$

$$\begin{pmatrix} (R_1 + R_2 + R_5) & -R_5 & -R_1 \\ -R_5 & (R_3 + R_5 + R_6) & -R_6 \\ -R_1 & -R_6 & (R_1 + R_4 + R_6) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} I_I \\ I_{II} \\ I_{III} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_2 \\ E_3 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} (R_1 + R_2 + R_5) & -R_5 & -R_1 \\ -R_5 & (R_3 + R_5 + R_6) & -R_6 \\ -R_1 & -R_6 & (R_1 + R_4 + R_6) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} I_I \\ I_{II} \\ I_{III} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_2 \\ E_3 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$I_K = Z_K^{-1} \cdot E$$

$$I = I_K^T \cdot B,$$

где I_K^T - транспонированная матрица (строка) контурных токов.

$$I_K^T = (I_I \quad I_{II} \quad I_{III})$$

$$I = I_K^T \cdot B = (I_I \quad I_{II} \quad I_{III}) \cdot \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 1 \\ -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 \end{pmatrix} =$$

$$= ((I_I - I_{III}) \quad I_I \quad I_{II} \quad -I_{III} \quad (I_I - I_{II}) \quad (I_{II} - I_{III}))$$

Рисунок 7 – Пример преобразования матриц

На последнем этапе производится расчет полученной системы уравнений. Для расчета предлагается использовать итерационные численные методы. Конечным результатом решения результирующей матрицы является получение значений токов в ветвях схемы.

Продукт разрабатывается для автоматизации процесса расчетов электрических схем, что приведет к повышению скорости, точности и проверки правильности расчетов. Предполагается использование продукта как методической помощи студентам, изучающим методы расчетов электрических схем, так как будет предоставлено подробное решение в текстовом и графическом виде. Также возможно расширение функционала продукта: расчета более сложных схем (с большим количеством элементов разных видов) и использование других видов расчета (переходных процессов и т. п.).

Список литературы:

1. Алгоритм распознавания принципиальных электрических схем на этапе проектирования информационно-измерительных систем / В. А. Секачев, Ю. П. Муха [и др.] // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». 2018. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/algoritm-raspoznavaniya>

printsipialnyh-elektricheskikh-shem-na-etape-proektirovaniya-informatsionno-izmeritelnyh-sistem/viewer (дата обращения: 20.02.2024).

2. Прянишников, В. А. Теоретические основы электротехники: курс лекций / В. А. Прянишников. – 4-е изд. – СПб.: КОРОНА принт, 2004. – 368 с., ил.

3. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.geeksforgeeks.org/how-to-detect-shapes-in-images-in-python-using-opencv/> (дата обращения: 20.02.2024).

4. Handwritten Electric Circuit Diagram Recognition: An Approach Based on Finite State Machine / Lakshman Naika R, Dinesh R, and Prabhanjan S. // International Journal of Machine Learning and Computing, Vol. 9, No. 3, June 2019. URL: https://www.researchgate.net/publication/335140824_Handwritten_Electric_Circuit_Diagram_Recognition_An_Approach_Based_on_Finite_State_Machine (дата обращения: 20.02.2024).

5. Алгоритмы распознавания объектов / А. А. Цветков, Д. К. Шорох, М. Г. Зубарева [и др.] // Технические науки: проблемы и перспективы: материалы IV Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2016 г.). – Санкт-Петербург: Свое издательство, 2016. – С. 20-28. – URL: <https://moluch.ru/conf/tech/archive/166/10825/> (дата обращения: 20.02.2024 г.).

© Должанская К. А., Сгибнева Е. А., Толбаева З. Е., 2024

СОВРЕМЕННОЕ ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЕ НА ЦПС КАК ВАЖНЫЙ ФАКТОР РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЕКТОРА

магистрант **Рахматуллин Самат Султанович**,
науч. руководитель: доктор техн. наук, доцент **Касимов Василь Амирович**,
Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. В настоящей работе, основанной на анализе научных источников и специализированной литературы, предпринимается попытка исследовать важные и актуальные аспекты эксплуатации современных систем телеуправления на цифровых подстанциях, поддерживающих стандарт МЭК 61850 и предназначенных для повышения эффективности контроля и управления электроэнергетическим оборудованием и энергоустановками в существующих интеллектуальных энергосистемах.

Ключевые слова: электроэнергетика, энергосистема, ПС, РЗА, ТУ, АСУ, цифровизация.

MODERN TELECONTROL AT DS AS AN IMPORTANT FACTOR IN THE DEVELOPMENT OF THE ELECTRIC POWER SECTOR

Master Student **Rakhmatullin Samat Sultanovich**,
Academic Advisor: Doctor of Technonogy, Associate Professor
Kasimov Vasil Amirovich,
Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russian Federation

Abstract. In this paper, based on the analysis of scientific sources and specialized literature, an attempt is made to investigate important and relevant aspects of the operation of modern telecontrol systems in digital substations supporting the IEC 61850 standard and designed to improve the efficiency of monitoring and control of electric power equipment and power units in existing intelligent power systems.

Keywords: electric power industry, power system, substation, RPA, telecontrol, ACS, digitalization.

В современной экономике электроэнергетический сектор играет ключевую роль в развитии производства, промышленности и обеспечении жизнедеятельности цивилизованного общества. Одной из основных задач электроэнергетики является повышение эффективности и надежности электроснабжения критически важных потребителей. В последние годы для решения этой задачи активно внедряются цифровые технологии, которые позволяют оптимизировать процессы управления и контроля в энергосистеме.

Сегодня одной из наиболее перспективных технологий является так называемая цифровая подстанция или ЦПС. ЦПС – это инновационная концепция, которая предполагает полную автоматизацию и интеллектуализацию всех процессов на подстанции (ПС), начиная от сбора данных и заканчивая управлением оборудованием. Такой подход позволяет значительно повысить эффективность работы ПС, снизить риски аварийных ситуаций и обеспечить более высокий уровень надежности энергообеспечения. Большинство традиционных методов управления ЦПС не соответствуют имеющимся требованиям к уровню автоматизации. В связи с этим в последние годы активно разрабатываются системы дистанционного телеуправления (ТУ) ЦПС на основе цифровых технологий и решений [1, с. 4].

Цель данной работы – рассмотреть актуальные аспекты использования современного ТУ на ЦПС, направленного на повышение эффективности работы интеллектуальных энергосистем.

Анализ литературы показал, что на сегодняшний день одним из наиболее перспективных направлений модернизации хозяйствующих субъектов электросетевого комплекса является внедрение цифровых технологий в управление ПС, которые обуславливают возникновение и развитие ЦПС. Последние представляют собой совокупность цифровых устройств и аппаратно-программного обеспечения, которые осуществляют сбор, обработку и передачу данных о работе ЦПС в режиме реального времени. Такой подход позволяет операторам получать цельную картину о состоянии эксплуатируемой энергосистемы и оперативно реагировать на любые изменения, происходящие в ней [2, с. 144].

Как было упомянуто, цифровые решения в области ТУ ЦПС являются актуальным направлением развития энергетического снабжения. Они способствуют повышению качества управления установками в энергосистемах, а также снижению затрат на их обслуживание. Кроме того, использование ТУ улучшает технико-экономические показатели функционирования электрооборудования на самих ЦПС [1, с. 49].

Рассмотрим основные компоненты ЦПС:

1. Интеллектуальные измерительные приборы. Они представляют собой устройства, которые измеряют параметры электрической сети (напряжение, ток, мощность) и передают их в систему управления. Такие приборы могут быть установлены на всех уровнях напряжения (высоком, среднем и низком) и в различных точках электросети.

2. Система управления и сбора данных (СУСД). СУСД – это программное обеспечение (ПО), которое обрабатывает данные, полученные от интеллектуальных измерительных приборов, и формирует управляющие сигналы для устройств релейной защиты и автоматики (РЗА). СУСД также обеспечивает мониторинг и диагностику состояния различного электрооборудования ЦПС.

3. Устройства РЗА. Они направлены на защиту ЦПС от повреждений, аварий и нарушений нормального режима работы. РЗА на ЦПС реализуется на базе современных микропроцессорных реле.

4. Коммуникационная инфраструктура. Ее предназначение – обмен данными между всеми компонентами ЦПС с помощью технологий Ethernet, Wi-Fi, GSM и др.

5. Система отображения информации (СОИ). СОИ – комплекс устройств, отображающих данные о состоянии оборудования ЦПС в удобном для восприятия персонала электросетевых организаций виде. Для работы СОИ применяются сенсорные экраны и мониторы.

6. Система учета электроэнергии (СУЭ), потребляемой на ЦПС.

7. Система мониторинга и диагностики (СМД) состояния оборудования ЦПС. В СМД используются датчики регистрации данных и ПО, которое анализирует полученную информацию.

8. Системы защиты от киберугроз. В связи с активным использованием цифровых технологий в энергетике, вопросы кибербезопасности становятся все более актуальными. Системы от кибератак обеспечивают защиту ЦПС от несанкционированного доступа, вредоносных программ и иного вмешательства злоумышленников [3, с. 49].

Важным элементом ЦПС является цифровое ТУ. Данная технология позволяет удаленно контролировать оборудование ЦПС с помощью компьютерных или переносных мобильных устройств, что существенно упрощает процесс управления и снижает риск ошибок персонала, связанных с человеческими факторами. ТУ на ЦПС базируется на применении автоматизированных систем управления (АСУ), систем телемеханики, SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) и беспроводных решений [2, с. 145].

Рассмотрим ключевые принципы организации ТУ на ЦПС более детально. Специалисты отмечают, что АСУ позволяют осуществлять оперативный контроль за состоянием электроэнергетического оборудования, а также своевременно выявлять и устранять возникшие неисправности. Телемеханические системы направлены на решение задач по передаче технологической информации о работе оборудования ЦПС на диспетчерский пункт. Их правильная эксплуатация способствует оперативному реагированию на изменения в работе ЦПС и принятию своевременных мер по обеспечению надежности снабжения электрической энергией критически важных потребителей. Упомянутые SCADA-системы представляют собой программные комплексы, выполняющие функции сбора, обработки и отображения различных данных о функционировании современных ЦПС. SCADA позволяют анализировать информацию о работе энергоустановок и выявлять тенденции, которые могут повлиять на безопасность процесса энергообеспечения. Что касается беспроводных решений, то они внедряются для связи между устройствами ЦПС и диспетчерским центром. Такой подход минимизирует затраты на закупку и использование протяженных проводных линий. Беспроводные технологии также обеспечивают гибкость и мобильность систем ТУ, не прибегая к осуществлению сложной прокладки кабелей [4, с. 21].

Работа стандартных систем ТУ базируется на протоколе IEC 60870 – распространенном стандарте управления энергосистемами и связанных с ними коммуникационных сетей. Он определяет сопутствующий стандарт,

обеспечивающий взаимодействие между защитным оборудованием и устройствами системы управления на ПС. Типовая структурная схема телемеханизации ПС с централизованным сбором данных телеметрии и управлением объектов на основе IEC 60870-5-103 показана на рисунке 1 [5, с. 4612].

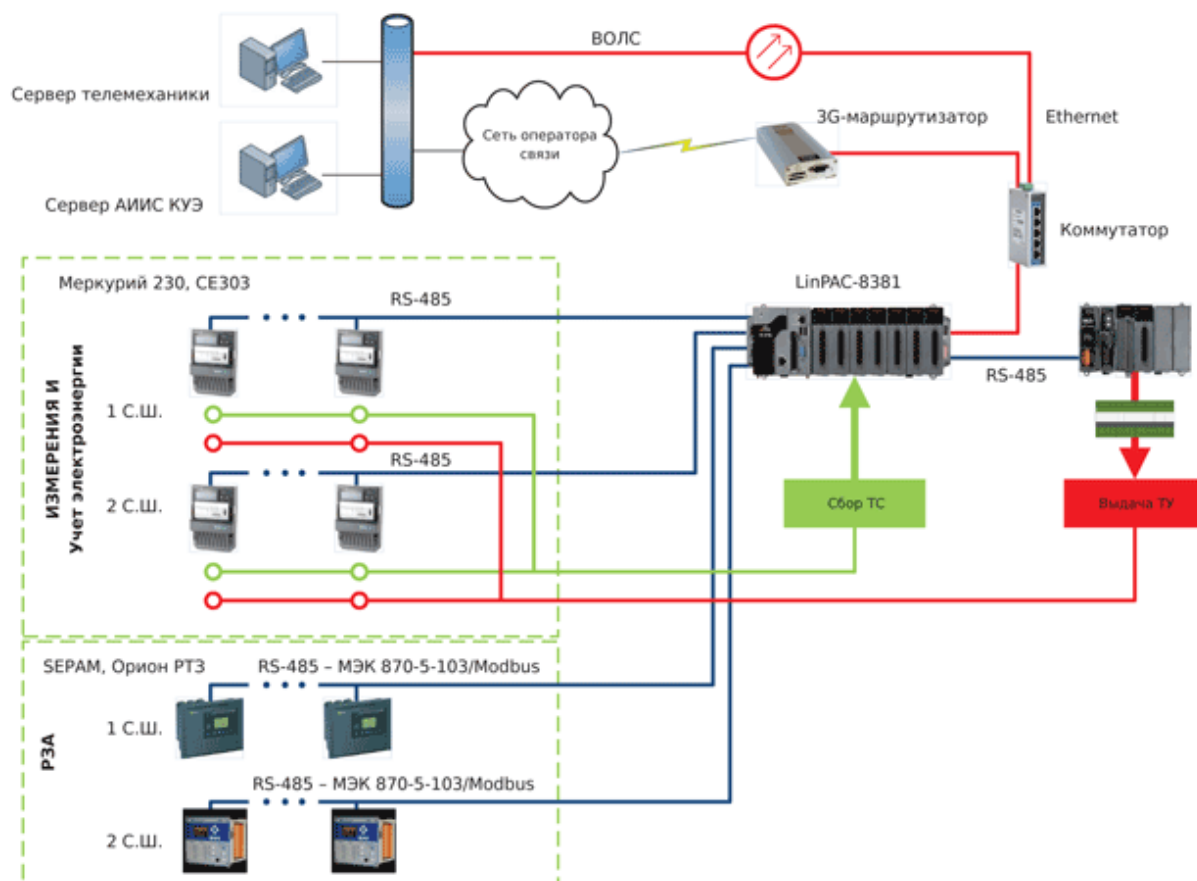


Рисунок 1 – Схема телемеханизации ПС на основе IEC 60870-5-103

В свою очередь, современное ТУ на ЦПС реализуется с помощью специализированного протокола обмена данными IEC (МЭК) 61850. Этот новый стандарт определяет актуальные форматы сообщений и требования к цифровому электрооборудованию, а также обеспечивает совместимость интеллектуальной аппаратуры разных производителей. Это делает возможным масштабируемость установленного комплекса устройств ТУ. Еще одним существенным отличием МЭК 61850 от протоколов МЭК 60870-5-10х является наличие технологии GOOSE в части информационного обмена. Нельзя не упомянуть, что в МЭК 61850-90-4 описывается система управления устройствами, которые используют протокол MMS для обмена данными. В серии коммутаторов Моха Power Trans имеется возможность мониторинга по протоколу MMS, за счет чего повышается эффективность управления всем оборудованием на ЦПС, а также уменьшаются затраты на развертывание и обслуживание системы. Структурная взаимосвязь шины станции и шины процесса через MMS-связь и GOOSE-сообщения на современном комплексе ТУ по IEC 61850 представлена на рисунке 2 [6, с. 350].

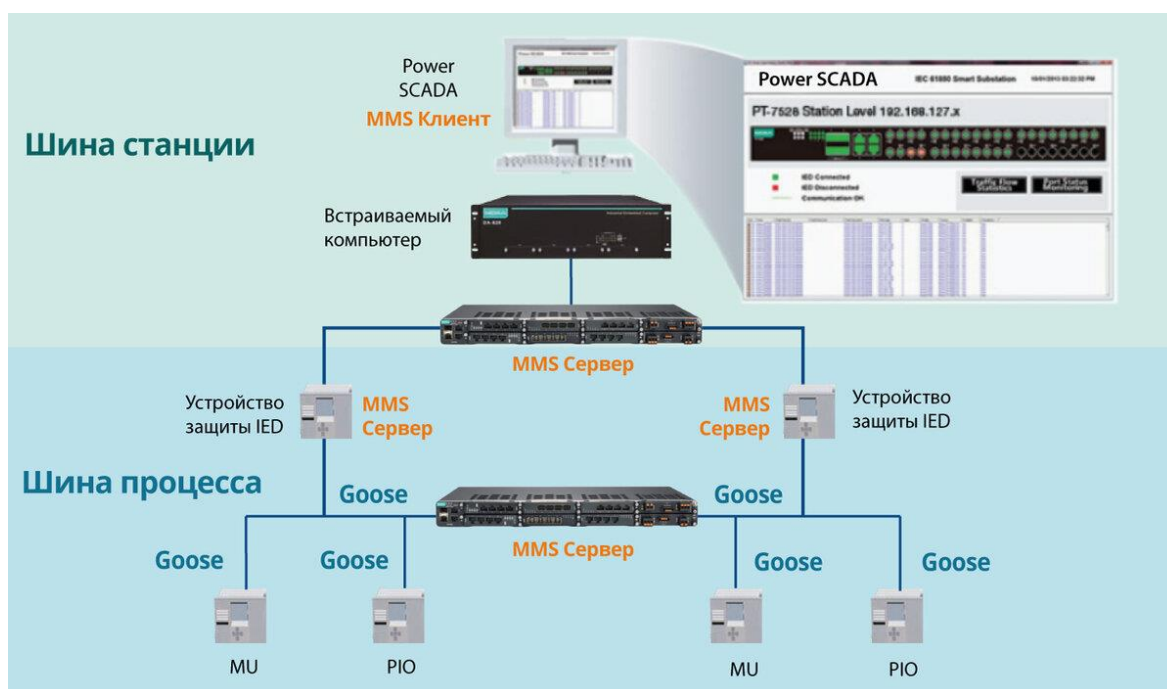


Рисунок 2 – Взаимосвязь шин в системе ТУ по IEC 61850

Основные достоинства и преимущества применения современного ТУ на ЦПС: повышение безопасности энергетического снабжения за счет снижения риска возникновения аварий; повышение надежности энергоснабжения, благодаря использованию резервированных каналов связи и оборудования, характеризующегося высокими показателями отказоустойчивости; снижение затрат на обслуживание и ремонт энергоустановок за счет сокращения количества ответственного персонала и минимизации расходов на их содержание; оптимизация и повышение эффективности функционирования энергосистемы цифрового типа за счет автоматизации электроэнергетических процессов, оперативного реагирования на изменения в работе ЦПС, детального анализа информации и прогнозирования потенциальных неисправностей; улучшение качества работы операторов электросетевых организаций благодаря автоматизации их задач и более точному контролю параметров ЦПС.

Из недостатков важно отметить то, что внедрение современного ТУ на ЦПС требует существенных инвестиционных расходов в разработку новых технологий, модернизацию имеющихся энергетических устройств и обучение соответствующего персонала. Кроме того, сегодня присутствует риск несанкционированного доступа и кибератак на цифровые системы ТУ, для устранения которого следует обеспечить высокий уровень кибербезопасности, чтобы защитить критически важную инфраструктуру ЦПС и иных объектов электроэнергетики [7, с. 36].

Ученые отмечают, что использование современного комплекса устройств ТУ на ЦПС является перспективным направлением развития всей сферы электроэнергетики. Однако для дальнейшего совершенствования интеллектуальных энергосистем необходимо обеспечить справедливое распределение выгод от внедрения цифрового ТУ между компаниями и сотрудниками. Такой подход позволит избежать потери рабочих мест и будет

способствовать устойчивому развитию электроэнергетического сектора. Для успешного применения цифровых технологий в области ТУ важно также заниматься решением ряда существующих проблем. В настоящее время одним из ключевых ограничений является сложность интеграции ЦПС с традиционными системами управления и мониторинга, а также с АСУ технологическими процессами (АСУ ТП). Ожидается, что преодоление имеющихся трудностей в данном направлении будет способствовать улучшению стабильности функционирования энергообъектов. Что касается поддержания необходимых показателей защиты от киберугроз, то необходимо предпринимать соответствующие меры безопасности, которые могут включать использование криптографического шифрования данных, многофакторную аутентификацию пользователей и устройств, а также регулярное обновление ПО. В данном контексте важной задачей также является обучение и подготовка персонала, работающего с ЦПС. Необходимо проводить тренинги и семинары по работе с цифровым оборудованием и новыми ПО [8, с. 97].

Таким образом, современное ТУ на ЦПС – важный шаг на пути к созданию интеллектуальной энергетики будущего. Как показал анализ, разработка новых технологий и реализация инновационных решений в данном направлении уже сегодня позволяет повысить надежность, безопасность и эффективность работы умных энергосистем, а также способствует снижению затрат на эксплуатацию ЦПС и обеспечению устойчивого развития отрасли в целом.

Список литературы:

1. Дорохов, Д. В. Комплекс цифровых решений в сфере телеуправления подстанциями / Д. В. Дорохов. – Текст : непосредственный // Энергетик. – 2020. – № 2. – С. 47-51.
2. Рахматуллин, С. С. К вопросу о важности техобслуживания микропроцессорной релейной защиты в электроэнергетике / С. С. Рахматуллин. – Текст : непосредственный // Академическая публицистика. – 2024. – № 4. – С. 143-145.
3. Лобов, Б. Н., Лызарь, И. О., Левчук, В. Э. Понятие «цифровая подстанция» / Б. Н. Лобов, И. О. Лызарь, В. Э. Левчук. – Текст : непосредственный // Молодой исследователь Дона. – 2020. – № 3. – С. 49-52.
4. Попова, М. В., Струков, А. Н., Козлов, Е. А. Использование цифровых технологий в электроэнергетике России / М. В. Попова, А. Н. Струков, Е. А. Козлов. – Текст : непосредственный // Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. – 2020. – № 32. – С. 20-23.
5. Башкатов, И. В. Исследование коммуникационного стандарта IEC 60870 применяемый для создания систем телемеханики подстанций / И. В. Башкатов. – Текст : электронный // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 1–20 мая 2017 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2017. – С. 4611-4616. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35108687> (дата обращения: 26.04.2024). – EDN XQQHKKX.

6. Афенин, А. И., Скорик, В. Г. Реализация управляющих воздействий по протоколу МЭК 61850. Переход к цифровым подстанциям / А. И. Афенин, В. Г. Скорик. – Текст : непосредственный // Электропривод на транспорте и в промышленности. – 2018. – С. 349-356.
7. Боченков, И. Н. и др. Опыт реализации подсистемы телемеханики цифровой подстанции / И. Н. Боченков [и др.]. – Текст : непосредственный // Электрические станции. – 2023. – № 4. – С. 36-39.
8. Данилин, А. А. и др. Цифровая подстанция. Подходы к реализации / А. А. Данилин [и др.]. – Текст : непосредственный // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2012. – № 3. – С. 96-99.

© Рахматуллин С. С., 2024

АВТОНОМНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ДЛЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ДУГОВЫХ НАГРУЗОК ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

студент **Мерзлая Дарья Михайловна**,
науч. руководитель: доктор техн. наук, профессор
Сафронов Алексей Анатольевич,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В данной статье рассматривается проблема обеспечения энергией нелинейных дуговых нагрузок в переработке органосодержащих веществ с использованием автономных источников питания. Описывается ключевая роль автономных источников питания в обеспечении стабильности и эффективности процессов переработки, особенности их применения в подаче энергии на дуговые нагрузки, такие как печи и реакторы. Важность безопасности и энергоэффективности процессов переработки подчеркивается как основной аспект использования автономных источников питания. Исследования и разработки в области оптимизации энергопотребления и обеспечения надежности систем являются ключевыми направлениями для улучшения процессов переработки и снижения негативного воздействия на окружающую среду.

Ключевые слова: автономные источники питания, генератор плазмы, плазменная переработка, нелинейные дуговые нагрузки.

AUTONOMOUS POWER SUPPLIES FOR NONLINEAR AC ARC LOADS

Student **Merzlaya Daria Mikhailovna**,
Academic Advisor: Doctor of Technology, Professor
Safronov Alexei Anatolievich,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. This paper considers the problem of energy supply to nonlinear arc loads in the processing of organic-containing substances using autonomous power supplies. The key role of autonomous power supplies in ensuring the stability and efficiency of processing processes is described, as well as the specifics of their application in supplying energy to arc loads such as furnaces and reactors. The importance of safety and energy efficiency of refining processes is emphasized as a key aspect of the use of autonomous power supplies. Research and development in the

field of energy optimization and system reliability are key areas for improving refining processes and reducing environmental impact.

Keyword: autonomous power supplies, plasma generator, plasma recycling, nonlinear arc loads.

Для улучшения экологической ситуации в стране, развития энергоэффективной экономики и соответствия требованиям общества и государственной политики в области возобновляемой энергии, важно активно решать проблему переработки отходов. Ключевым направлением в этом процессе является разработка, производство и широкое внедрение отечественных технологий автономной энергетики.

Автономные источники электроэнергии – это устройства, способные обеспечить электропитание независимо от общих и централизованных источников энергии. Они представляют собой самостоятельные системы, которые могут использоваться в случае отключения основного электроснабжения или в местах, где доступ к централизованным источникам энергии ограничен или отсутствует [1].

Необходимость автономных источников электроэнергии обусловлена рядом причин:

1. Обеспечение непрерывности работы. В современном мире многие процессы и устройства требуют постоянного электропитания для своей работы. Автономные источники электроэнергии позволяют обеспечить надежное электроснабжение в любых условиях, что особенно важно для предприятий, медицинских учреждений, телекоммуникаций и других сфер.

2. Обеспечение безопасности. В случае аварий, стихийных бедствий, технологических сбоев или террористических акций электроснабжение может быть нарушено. Автономные источники электроэнергии обеспечивают необходимые ресурсы для поддержания жизнеобеспечения, связи с внешним миром и обеспечения безопасности.

3. Экономия времени и средств. В регионах с недостаточной инфраструктурой или в удаленных местах установка автономных источников электроэнергии может быть более эффективным вариантом, чем прокладка длинной линии электропередачи до объекта. Это позволяет сэкономить как время, так и финансовые ресурсы.

Таким образом, автономные источники электроэнергии играют важную роль в обеспечении стабильного и надежного электроснабжения в различных условиях и обстоятельствах, что делает их неотъемлемой частью современной инфраструктуры и индустрии.

В настоящее время большое значение приобретают автономные системы электропитания, работающие на возобновляемых источниках энергии. Их использование позволит сократить расходы на производство энергии, что приведет к повышению эффективности различных отраслей экономики. Увеличение числа ветровых и солнечных электростанций, а также использование биогаза в энергетике свидетельствует о растущем интересе в мире к альтернативным источникам энергии.

Одним из главных вызовов для современного общества является обработка и утилизация органических отходов, которые создают обильный объем токсичных и опасных веществ, загрязняющих окружающую среду. В этом контексте технологии плазменной переработки органосодержащих веществ представляют собой истинный прорыв в области переработки отходов и снижения их отрицательного воздействия на окружающую среду.

Для внедрения новых энергоэффективных плазменных технологий по переработке органосодержащих веществ в сельскохозяйственной, газовой и нефтедобывающей отраслях необходимо использовать автономные источники электропитания для плазмотронов переменного тока в случае, если на местах переработки отсутствует стационарная электросеть.

Плазменная переработка – это метод обработки материалов, основанный на использовании плазмы, четвертого состояния вещества, при котором вещество нагревается до высоких температур и разлагается на атомы и молекулы. В случае органосодержащих веществ, такой процесс позволяет разрушить органические соединения, превращая их в более безопасные компоненты или даже в энергию.

Плазмотрон переменного тока является нестандартной нагрузкой для источника питания, параметры которой, такие как мощность, напряжение, ток, пульсации токов и напряжений, зависят от различных факторов, таких как изменения в расходе газа, режиме горения дуги, рабочих параметрах, геометрии электродуговой камеры и др. Это требует специфических характеристик от источника питания, например, необходимость наличия регулирующего элемента, который обеспечивает стабильность работы, способность поддерживать необходимый уровень мощности и обеспечивать стабильное горение дуги при переходе тока через нулевую отметку.

Автономные источники питания для плазмотронов могут быть созданы на базе дизельных или микротурбинных двигателей. Выбор привода зависит от таких факторов, как мощность энергетической установки, вид топлива и его характеристики [2].

Дизельный двигатель может быть использован как автономный источник питания для плазменной переработки органосодержащих веществ с помощью плазмотрона. Принцип работы такой системы заключается в том, что дизельный двигатель генерирует электрическую энергию, которая затем подается на плазмотрон для создания плазменного разряда.

Преимущества использования дизельного двигателя в качестве источника питания для плазменной переработки органосодержащих веществ включают:

1. Надежность и долговечность: дизельные двигатели известны своей долговечностью и способностью работать в тяжелых условиях.
2. Независимость от стационарной электросети: дизельные генераторы позволяют работать автономно, что особенно важно при переработке материалов на удаленных объектах или в условиях, где нет доступа к электросети.
3. Эффективность: плазменная технология позволяет превратить органические вещества в полезные продукты и не создает отходов.

4. Экологичность: хотя дизельные двигатели выдают выбросы, плазменная технология обеспечивает чистый процесс переработки органических веществ без вредного воздействия на окружающую среду.

Таким образом, использование дизельного двигателя в сочетании с плазмотроном для плазменной переработки органосодержащих веществ представляет собой эффективный и экологически чистый способ утилизации и переработки органических материалов.

Микротурбинный двигатель также может быть использован как автономный источник питания для плазменной переработки органосодержащих веществ с помощью плазмотрона. Принцип работы такой системы заключается в том, что микротурбина генерирует электрическую энергию, которая затем подается на плазмотрон для создания плазмы высокой температуры.

Микротурбина – это компактный газотурбинный двигатель, который может работать на различные виды топлива, включая природный газ, биогаз, дизельное топливо и другие. Он может использоваться как генератор электрической энергии для питания систем и оборудования, включая плазмотрон для плазменной переработки органосодержащих веществ.

Преимущества использования микротурбинного двигателя в качестве источника питания для плазменной переработки органосодержащих веществ включают:

1. Эффективность: микротурбины обладают высокой эффективностью преобразования топлива в электрическую энергию, что позволяет использовать их как эффективный источник питания для плазмотрона.

2. Бесперебойная работа: микротурбины обеспечивают надежное и стабильное электроснабжение, что особенно важно для процессов переработки органических веществ.

3. Экологичность: микротурбины работают с низкими выбросами и могут использоваться с различными видами топлива, включая биогаз и другие возобновляемые источники энергии.

4. Компактность и мобильность: микротурбинные системы компактны и могут быть легко установлены на различных объектах или транспортных средствах для автономной работы.

Таким образом, использование микротурбинного двигателя в сочетании с плазмотроном для плазменной переработки органосодержащих веществ представляет собой эффективный и универсальный способ переработки органических материалов с минимальным воздействием на окружающую среду.

Одной из возможных технологий производства электроэнергии и тепла при переработке отходов является технология получения на первой стадии энергетического газа, а на второй – сжигание данного газа в мини-ТЭЦ на базе газопоршневого двигателя с одновременным производством электрической и тепловой энергии [3]. При этом лучшие экономические показатели демонстрируют установки, оснащенные теплообменными агрегатами для утилизации тепла (мини-ТЭЦ) [4]. Если коэффициент использования топлива электростанций на базе газопоршневого двигателя составляет 32–35 %, то для мини-ТЭЦ (установок с когенерацией тепла) – 82–85 %.

Поэтому ключевое значение имеет применение принципа когенерации, который позволяет эффективно использовать энергию путем совместной генерации электроэнергии и тепла в одной установке, вместо отдельного производства в разных системах. Когенерация обладает рядом преимуществ, таких как повышенная энергоэффективность, экономичность, снижение выбросов и уменьшение нагрузки на централизованные энергосети.

Очевидно, что важную роль в данной системе играет двигатель, который определяет экономическую эффективность всей конструкции. Идеальным вариантом является двигатель, который работает на газообразном топливе (например, природный газ, синтезированный газ) и способен работать как в режиме стехиометрического сгорания, так и при обедненных смесях топлива и воздуха. Двигатели, работающие с обедненными смесями, используют лишний объем воздуха, что приводит к наличию остаточного кислорода в выхлопных газах после сгорания в цилиндрах. Электрическая мощность диапазона от 50 кВт до 1000 кВт обеспечивает достаточную мощность для питания плазмотронов переменного тока, установленных на установке по плазменной деструкции отходов и производства энергии для нужд потребителя.

Для питания нелинейных дуговых нагрузок, какими являются генераторы плазмы, следует учитывать определенные условия. Для устойчивой работы дуговой нагрузки в цепь питания необходимо установить токоограничивающие дроссели.

Электрическая мощность генератора плазмы:

$$P_{\text{пл}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{д}} \cdot I_{\text{л}},$$

где $U_{\text{д}}$ – напряжение на дуге; $I_{\text{л}}$ – линейный ток.

Реактивное сопротивление реактора [5]:

$$X = \frac{\sqrt{U_{\text{х}}^2 - U_{\text{д}}^2}}{I_{\text{л}}}.$$

Для компенсации реактивной мощности необходимо установить конденсаторную батарею. Схема питания плазмы будет выглядеть, как представлено на рисунке.

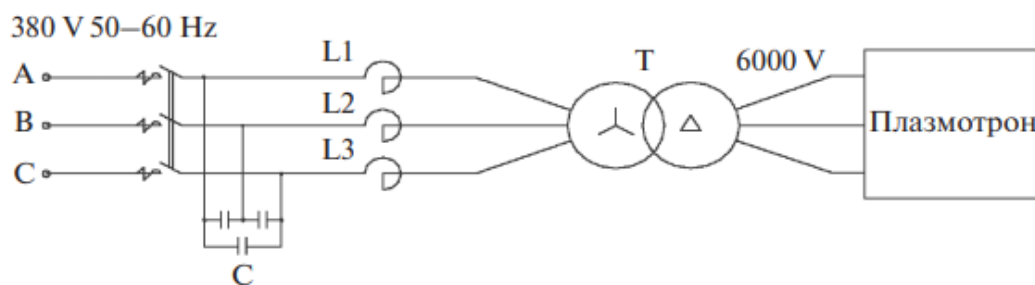


Рисунок – Схема питания плазмы

Для работы дуговой нагрузки с автономными источниками питания следует устанавливать дроссели и если не хватает активной мощности для работы нагрузки, то также необходимо устанавливать конденсаторную батарею.

Таким образом, плазменная переработка имеет достоинства, к которым относятся легкая автоматизация процесса, получение высоких температур, необходимых для химических реакций. Технологии плазменной переработки органосодержащих веществ представляют собой инновационный и перспективный подход к утилизации отходов, который способен значительно сократить негативное воздействие на окружающую среду и обеспечить более эффективное использование ресурсов. Внедрение этих технологий может стать важным шагом в решении проблемы обработки органических отходов и созданию более устойчивой и экологически безопасной обстановки.

Список литературы:

1. Скребнева Е. В., Пустовой В. А. Выбор автономного источника электроэнергии для промышленных предприятий на примере ООО ПО «Химпром» // Вестник КузГТУ. – 2017. – № 4 (122). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-avtonomnogo-istochnika-elektroenergii-dlya-promyshlennyh-predpriyatiy-na-primere-ooo-po-himprom> (дата обращения: 19.04.2024).
2. Автономные источники электропитания для установок плазменной переработки органосодержащих веществ / А. А. Сафронов, Ю. Д. Дудник, В. Е. Кузнецов [и др.] // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2021. – № 3. – С. 122-133. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46198299> (дата обращения: 20.04.2024). – EDN VLIMKJ.
3. Антропов, А. П. Новые технологии распределенной энергетики / А. П. Антропов, В. М. Батенин, В. М. Зайченко // Теплофизика высоких температур. – 2015. – Т. 53, № 1. – С. 111. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?doi=10.7868/S0040364415010019> (дата обращения: 22.04.2024). – EDN TfvOTB.
4. Наумов А. Л. МИНИ-ТЭЦ – очередной бум или объективная потребность отечественной энергетики // Журнал АВОК. – 2005. – С. 22–29. – URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3015 (дата обращения: 23.04.2024).
5. Рутберг, Ф. Г. Мощные генераторы плазмы / Ф. Г. Рутберг, И. А. Глебов. – Москва : Энергоатомиздат, 1985. – с. 29 – 100.

© Мерзлая Д. М., 2024

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
КОМБИНИРОВАННОГО ТОПЛИВНОГО БРИКЕТА,
СОДЕРЖАЩЕГО ЦЕЛЛЮЛОЗУ И СИНТЕТИЧЕСКИЕ ПОЛИМЕРЫ**

студент **Федорук Софья Сергеевна**,
старший преподаватель **Рыжиков Владимир Александрович**,
старший преподаватель **Ерохина Ольга Александровна**,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Исследуются основные физические свойства комбинированного топливного брикета и их зависимость от компоновки исходного сырья. Также рассматривается допустимость переработки отходов ламинированной бумаги, содержащих синтетические полимеры, как компонента топливных брикетов.

Ключевые слова: экология, энергетика, переработка отходов, утилизация, брикеты, твердое биотопливо.

**DETERMINATION OF THE BASIC PHYSICAL PROPERTIES
OF A COMBINED FUEL BRIQUETTE CONTAINING CELLULOSE
AND SYNTHETIC POLYMERS**

Student **Fedoruk Sofia Sergeevna**,
Senior Lecturer **Ryzhikov Vladimir Alexandrovich**,
Senior Lecturer **Erokhina Olga Alexandrovna**,
Saint Petersburg State University of Industrial Technology and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. The main physical properties of the combined fuel briquette and their dependence on the layout of the feedstock are investigated. Also, the feasibility of recycling laminated paper waste containing synthetic polymers as a component of fuel briquettes is being considered.

Keywords: ecology, energy, waste recycling, recycling, briquettes, solid biofuels.

Резкое увеличение потребления целлюлозно-бумажной продукции в последние десятилетия привело к существенному росту объемов образования отходов, содержащих в себе синтетические полимеры. Твердые промышленные отходы загрязняют окружающий нас природный ландшафт. Кроме того, они

могут являться источником поступления вредных химических, биологических и биохимических веществ в окружающую природную среду. Количество образовавшихся отходов зависит от величины города, характера используемых в нем отопительных систем и вида топлива, от развития сети общественного питания, степени городского благоустройства, местного климата. Отходы производства фактически занимают второе место после аварий на нефтепроводах. Сбор, обезвреживание, размещение и утилизация отходов достаточно важно в современной жизни. Если не принимать никаких мер по защите экологии, продолжительность жизни человека с каждым годом будет падать, флора и фауна в полной мере окажется под угрозой исчезновения.

Сортировка промышленных отходов на техническом уровне очень сложна и пока не находит широкого использования в России. Прямая переработка или сжигание огромных количеств отходов технически довольно проблематична, экологически небезопасна и экономически неэффективна. Преобладающим методом обращения с промышленными отходами было и остается размещение и захоронение на специальных полигонах. Полигоны эти размещены вблизи городов и принимают промышленные отходы. В этих условиях отходы подвергаются интенсивному биологическому разложению под влиянием бактерий, которое сопровождается выделением свалочного газа. Под термином «свалочный газ» предполагают смесь газов, образующихся в результате гниения органического мусора. При этом в процессе гниения выделяется двуокись углерода в составе свалочного газа, но без получения какой-либо полезной энергии.

В России в июле 2020 года был подписан Указ Президента о национальных целях развития России на период до 2030 года. Новый документ существенно усиливает значимость экологической повестки. В соответствии с ним в ближайшие десятилетия страна будет двигаться по «зеленому» направлению. В числе главных целей станет создание устойчивой системы обращения с твердыми коммунальными отходами, снижение вдвое вредных выбросов в воздух, оказывающих наибольшее негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека. Помимо этого, должны быть ликвидированы наиболее опасные объекты накопленного вреда природе и проведено экологическое оздоровление водных объектов [1].

В 2021 году правительство России утвердило Стратегию социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г. Приняв долгосрочную стратегию декарбонизации, Россия заняла подобающее ей место в процессе достижения целей глобального характера по защите климата – озвучена цель по достижению углеродной нейтральности Россией к 2060 г. Ряд европейских стран ставят подобную задачу к 2050 г., а Китай – с определенными оговорками – к 2060 г.; таким образом Россия после данного решения вошла в клуб стран, которые окажут существенное влияние на климатические процессы в ближайшие десятилетия. Для реализации такой цели далеко не на последнем месте стоит переработка отходов производств с получением чистой энергии и минимизацией вредных выбросов, в том числе и двуокиси углерода.

В данной работе были исследованы основные физические свойства комбинированного топливного брикета, содержащего целлюлозу и синтетические полимеры. В качестве исходного сырья используется древесная мука опилок лиственницы и обрезки ламинированной бумаги.

В лабораторных условиях Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД были проведены эксперименты по прессованию образцов с различной композицией в топливный брикет с заданной влажностью, которую определяли с помощью влагомера «ANDMF-50». Процесс прессования выполнялся на установке «Instron1121» с помощью специальной пресс-формы. Целью данного эксперимента являлось: рассчитать и проанализировать значения влажности, плотности и прочности полученного брикета при различных композициях сырья. Полученные результаты представлены в таблице [3].



Рисунок 1 – Влагомер AND MF – 50



Рисунок 2 – INSTRON-121

Таблица — Влажность, плотность и прочность брикетов при различной композиции сырья

Композиция сырья, %	Среднее значение влажности полученного брикета после релаксации W, %	Среднее значение плотности брикета после релаксации $\rho_{\text{ср}}$, кг/м ³	Прочность на сжатие (поперечная) $\sigma_{\text{сж}}$, МПа
0(лам. бум.)/100(древесина)	5,5	948	2
30(лам. бум.)/70(древесина)	4,4	1010	4
50(лам. бум.)/50(древесина)	3,7	1036	4,5
70(лам. бум.)/30(древесина)	3	1048	1,5
100(лам. бум.)/0(древесина)	2,2	1063	2



Рисунок 3 – График зависимости плотности брикета от композиции сырья при влажности 7,3 %

Для определения целесообразности внедрения данного топлива в промышленных масштабах необходимо провести ряд расчетов энергетической установки, в которой планируется сжечь топливо с дальнейшим полезным использованием выделившейся тепловой энергии. В нашем случае – это

котлоагрегат с низкотемпературной вихревой топкой В. В. Померанцева [4]. В качестве примера был взят котел БКЗ-85-13, с паропроизводительностью 85 т/ч и давлением перегретого пара 1,3 Мпа. В данной энергетической установке необходимо рассчитать: материальный баланс процесса горения топлива, тепловой баланс котлоагрегата, тепловой поверочный расчет топочной камеры и остальных тепловоспринимающих поверхностей нагрева, аэродинамический расчет котлоагрегата, расчет вредных выбросов оксидов азота и в завершение – расчет экономического эффекта от перехода с полностью угольного топлива на топливо, предложенное в данной работе [5].

Следует отметить, что именно принципы двухступенчатого сжигания с использованием вихревых топок Померанцева лежат в основе эффективных систем сжигания древесных пеллет.

Благодаря совокупности инновационной технологии изготовления брикетов и использования низкотемпературной вихревой топки Померанцева, можно достигнуть положительных эффектов по улучшению экологической составляющей окружающей среды и по полезному использованию тепла, полученного из отходов производства путем сжигания в НТВ-топке, а также получить сопутствующий экономический эффект от этой технологической цепочки.

Список литературы:

1. Государственное регулирование охраны окружающей среды: [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gosudarstvennoe-regulirovanie-ohrany-okruzhayuschey-sredy/viewer> (дата обращения: 11.04.2024). – Текст: электронный.
2. Распоряжение Правительства РФ от 29 октября 2021 г. № 3052-р Об утверждении Стратегии социально-экономического развития РФ с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г.: [сайт]. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402894476/?ysclid=lvcmgqolg7872899156> (дата обращения: 14.04.2024). – Текст: электронный.
3. Совместная переработка отходов картонно-бумажной макулатуры, содержащих целлюлозу и синтетические полимеры, и твердых древесных отходов, входящих в состав топливного брикета / В. А. Рыжиков, Э. Л. Аким, О. А. Ерохина, А. А. Пекарец // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы VII Международной научно-технической конференции имени профессора В.И. Комарова, Архангельск, 14–16 сентября 2023 года / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова». – RUS: Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 2023. – С. 65-69. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54700965> (дата обращения: 15.04.2024). – EDN KQJYIG.
4. Померанцев, В. В. Топки скоростного горения для древесного топлива / канд. техн. наук В. В. Померанцев; М-во тяжелого машиностроения СССР.

Главкотлотурбопром. Центр. науч.-исслед. ин-т им. И. И. Ползунова. - Москва; Ленинград: [Ленингр. отд-ние] Машгиза, 1948 (Л.: тип. "Профинтерн"). – 74 с.

5. Тепловой и аэродинамический расчеты котельных установок: учеб. пособие / С. Н. Смородин [и др.] ; М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. – 5-е изд., перераб. и доп. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2018. – 200 с.: ил. 41. – Текст: непосредственный. – ISBN 978-5-91646-150-3.

© Федорук С. С., Рыжиков В. А., Ерохина О. А., 2024

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ КОНТРОЛЛЕРОВ В СОВРЕМЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

студент **Медякова Валерия Сергеевна**,
студент **Шарифулина Ксения Алексеевна**,
канд. техн. наук, доцент **Борисова Ольга Владимировна**,
Казанский государственный энергетический университет
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. Применение программируемых логических контроллеров (ПЛК) является неотъемлемой частью современной промышленности. ПЛК представляют собой специализированные компьютеры, которые используются для автоматизации и управления различными процессами в промышленных предприятиях. Они выполняют функции мониторинга и контроля, а также обеспечивают регулировку и управление системами на основе заранее заданных программ. С постоянным развитием технологий применение ПЛК становится все более широким и эффективным. Они используются во множестве отраслей, начиная от автомобильной и пищевой промышленности до нефтегазового производства и энергетического сектора.

Ключевые слова: автоматизация, логические контроллеры, промышленность, система, производство, технологические процессы.

APPLICATION OF PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS IN MODERN INDUSTRY

Student **Medyakova Valeria Sergeevna**,
Student **Sharifulina Ksenia Alekseevna**,
PhD in Technology, Associate Professor **Borisova Olga Vladimirovna**,
Kazan State Energy University,
Kazan, Russian Federation

Abstract. The use of programmable logic controllers (PLCs) is an integral part of modern industry. PLCs are specialized computers that are used to automate and control various processes in industrial enterprises. They perform monitoring and control functions, as well as provide adjustment and management of systems based on predefined programs. With the constant development of technology, the use of PLC is becoming more widespread and effective. They are used in a variety of industries, ranging from the automotive and food industries to oil and gas production and the energy sector.

Keywords: automation, logic controllers, industry, system, production, technological processes.

Промышленность постоянно развивается, и одной из ключевых технологий, которая играет важную роль в автоматизации процессов производства, являются программируемые логические контроллеры (ПЛК). ПЛК – это специализированное устройство, предназначенное для контроля и управления различными процессами в промышленности.

Устройство работы ПЛК состоит из следующих основных компонентов:

1. Центральный процессор (CPU): выполняет обработку программы контроля, управляет внешними устройствами и осуществляет сбор информации из различных датчиков.

2. Память: хранит программу управления, данные ввода-вывода, результаты обработки и другую информацию.

3. Модуль ввода-вывода (I/O): соединяет ПЛК с физическими устройствами, такими как сенсоры, исполнительные механизмы, клапаны, датчики и другое оборудование.

4. Интерфейс: обеспечивает связь ПЛК с внешними устройствами, такими как персональный компьютер или операторское панельное устройство.

5. Программное обеспечение: используется для разработки и программирования ПЛК. Пользователь может создавать логические блоки, устанавливать условия и действия, задавать параметры и настройки системы.

6. Встроенные функции безопасности: ПЛК может быть оборудован различными функциями безопасности, такими как контроль доступа, предупреждения о перегрузке или аварийных ситуациях.

ПЛК работает по принципу сканирования циклического программного обработчика. Он выполняет заданную программу, считывает данные ввода-вывода, обрабатывает информацию, определяет логические условия и принимает решения на основе заданных алгоритмов и параметров. Таким образом, ПЛК обеспечивает автоматическое управление и контроль над процессами производства (рис. 1) [1].

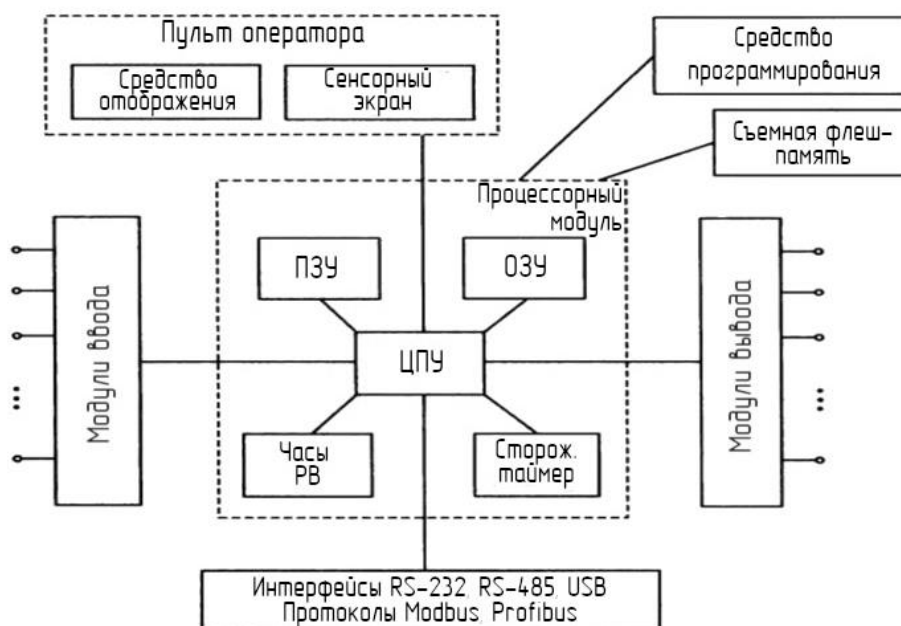


Рисунок 1 – Пример устройства ПЛК

Программируемые логические контроллеры имеют широкие возможности для настройки и программирования. Они позволяют инженерам создавать сложные алгоритмы управления и манипулировать данными в режиме реального времени. Благодаря этому ПЛК можно использовать для автоматизации различных процессов, начиная от простейших задач до сложных систем управления производством.

Программные логические контроллеры могут быть использованы для мониторинга состояния оборудования, определения неисправностей и предотвращения аварий. Они также обладают возможностью хранения данных и анализировать полученную информацию для оптимизации производственных процессов. ПЛК широко используются в производстве автомобилей, пищевой промышленности, нефтяной и газовой отрасли, электроэнергетике и других областях. Они помогают оптимизировать процессы производства, повышают эффективность и надежность работы оборудования [2].

Простым примером применения ПЛК может быть автоматизация процесса управления системами освещения в здании. В данном случае ПЛК будет использоваться для управления осветительными приборами в различных зонах здания в зависимости от определенных условий. Представим, что в здании есть различные помещения, такие как офисы, конференц-залы, кухни и туалеты. Система управления освещением с помощью ПЛК будет настроена таким образом, чтобы включать и выключать свет в каждом помещении в зависимости от наличия людей и освещенности.

ПЛК будет иметь датчики движения и датчики освещенности, размещенные в каждом помещении. Когда датчик движения обнаруживает присутствие человека, ПЛК получает сигнал и включает свет. Если датчик освещенности показывает, что в помещении достаточно естественного света, ПЛК может автоматически выключить искусственное освещение для экономии энергии.

Таким образом, ПЛК позволяет автоматизировать и оптимизировать управление освещением в здании, что приводит к повышению комфорта, энергоэффективности и снижению затрат на электроэнергию. Это лишь один из множества примеров применения ПЛК в бытовых условиях.

Выбор и установка программного логического контроллера (ПЛК) являются важными этапами в процессе применения данного оборудования в современной промышленности. При выборе ПЛК необходимо учитывать ряд факторов, таких как требуемая производительность, функциональные возможности, надежность, стоимость и совместимость с другими системами.

Одним из первых шагов при выборе ПЛК является определение требуемой производительности. Это зависит от объема и сложности задач, которые должен выполнять контроллер. Если система имеет большое количество входных и выходных модулей или операции требуют высокой скорости обработки данных, то необходимо выбрать ПЛК с мощным процессором и достаточным объемом памяти [3].

Функциональные возможности ПЛК также играют ключевую роль при выборе оборудования. Некоторые контроллеры имеют большое количество цифровых и аналоговых входов-выходов, а также специализированных модулей

для работы с различными типами датчиков и исполнительных механизмов. Важно определить, какие функции будут необходимы для конкретного процесса, и выбрать ПЛК с соответствующим набором возможностей.

В настоящее время, в связи с уходом с отечественного рынка некоторых производителей оборудования, комплектующих и материалов, задача всесторонней автоматизации производства стала особенно актуальной. Внедрение систем автоматизации на основе современных ПЛК (программируемых логических контроллеров) является одним из подходов к модернизации производственных предприятий с целью повышения уровня безопасности и улучшения качества процессов [4].

Можно выделить следующих ключевых иностранных производителей ПЛК: Allen-Bradley, Omron, Schneider Electric, Siemens. К самым известным российским разработчикам относят: АБАК, Овен, Segnetics, Fastwel, Текон.

ПЛК АБАК разработан для оптимизации технологических процессов, контроля расхода ресурсов при газовом бурении и добычи нефти, а также для управления телемеханическими системами на станциях АГНКС, ДНС и ГЗУ и многих других процессах.

Цифровые контроллеры могут быть запрограммированы с учетом требований конкретного производственного процесса. В связи с постоянно растущими требованиями к современному оборудованию, решения с использованием ПЛК в сфере автоматизации становятся ключевым фактором в промышленном производстве в 2022 году.

Основной режим АБАК заключается в его длительном автономном использовании, в том числе в неблагоприятных условиях, без необходимости технического обслуживания и вмешательства специалистов-ремонтников. Это оборудование, как правило, применяется для управления последовательностью процессов с помощью входов и выходов, позволяющих установить определенное состояние объекта или подать требуемое управляющее воздействие.

Цена может зависеть от мощности и функциональных возможностей контроллера, а также от бренда производителя. Не стоит забывать о том, что дешевые модели могут иметь ограниченные возможности или быть менее надежными, поэтому следует учитывать баланс между ценой и качеством.

В таблице представлена оценка значений характеристик ПЛК в баллах по 7 различным условиям [5].

Таблица – Квалиметрическая оценка эффективности ПЛК в баллах

№ п/п	Параметр / ПЛК	АБАК	Siemens	Yokogawa	ОВЕН
1	Средняя наработка на отказ	4	5	4	2
2	Количество типов интерфейса	5	4	4	3
3	Количество подключаемых модулей	5	4	2	1
4	Потребляемая мощность	5	4	3	4
5	Температурный диапазон	5	4	4	4
6	Количество протоколов	4	3	3	5
7	Скорость отклика, мс	4	5	4	3
Сумма баллов		32	29	24	22

Контроллер должен быть совместим с другими устройствами и программными продуктами, которые используются в системе автоматизации. Важно убедиться, что ПЛК поддерживает необходимые протоколы связи и может интегрироваться с другими компонентами системы (рис. 2) [6, 7].



Рисунок 2 – Современные ПЛК для АСУ ТП

После выбора ПЛК следует перейти к его установке. Установка контроллера требует определенных навыков и знаний, поэтому рекомендуется обратиться к специалистам или производителю для получения подробной инструкции. Важно

правильно подключить все модули, настроить параметры работы и проверить функциональность перед вводом контроллера в эксплуатацию.

Одной из главных тенденций будущего ПЛК является его интеграция с другими системами, такими как Интернет вещей (IoT), искусственный интеллект (ИИ) и облачные вычисления. Это позволяет создавать более гибкие и адаптивные системы управления, способные быстро реагировать на изменения условий работы.

Также следует отметить значительный прогресс в области графического интерфейса программирования ПЛК. В скором времени программирующий персонал сможет создавать сложные контроллеры с помощью интуитивно понятных графических элементов вместо написания кода на специализированных языках. Это снижает порог вхождения и упрощает процесс разработки и поддержки программного обеспечения.

В целом, применение программируемых логических контроллеров играет важную роль в повышении эффективности, гибкости и надежности промышленных систем. С их помощью компании могут достичь оптимальной производительности, сократить временные затраты и улучшить управление ресурсами, что неразрывно связано с развитием современной промышленности.

Список литературы:

1. Банников, Е. В. Использование ПЛК в промышленности / Е. В. Банников // International scientific review – 2019. – С. 25-28.
2. Новожилов, Б. М. Новые технологии в обучении программированию ПЛК / Б. М. Новожилов // Машиностроение и компьютерные технологии. – 2017. – № 8. – С. 30-39.
3. Немного про ПЛК. Часть 2 / Хабр: [сайт]. – 2022. – URL: <https://habr.com/ru/articles/698654/> (дата обращения: 25.04.2024).
4. Сафаров, И. М. и др. Комплексный критерий оценки эффективности программируемых логических контроллеров / И. М. Сафаров, Н. В. Богданова, Т. И. Латыпов // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 9 (105). – С. 245-257.
5. Сафаров, И. М. и др. Оценка суммарной эффективности программируемых логических контроллеров с целью реализации политики импортозамещения / И. М. Сафаров, Н. В. Богданова, Т. И. Латыпов // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 7 (103). – С. 166-181.
6. ТОП-10 программируемых логических контроллеров: как выбрать, цены, рейтинг [сайт]. – URL: <https://stekljannyj.ru/top-10-programmiruemyh-logiceskih-kontrollerov-kak-vybrat-ceny-rejting/> (дата обращения: 25.04.2024).
7. Клименко, А. А. Сравнение программируемых логических контроллеров на примере "ОВЕН ПЛК 200/ПЛК 210" и "SIEMENS SIMATIC S7-300" / А. А. Клименко, Д. В. Белых // Наука и производство Урала. – 2022. – Т.18. – С. 60-61.

© Медякова В. С., Шарифулина К. А., Борисова О. В., 2024

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ИНКРЕМЕНТАЛЬНОГО ЭНКОДЕРА

студент **Мазяркин Дмитрий Владимирович**,
науч. руководитель: ст. преподаватель **Ершов Кирилл Константинович**,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Данная статья рассматривает методы измерения частоты вращения с использованием инкрементального энкодера. В работе описываются основные принципы работы инкрементальных энкодеров, а также рассматривается анализ погрешностей измерений, возможные методы улучшения точности измерений.

Ключевые слова: инкрементальный энкодер, датчик положения, контур скорости, импульсы, приращение, погрешность.

Student **Mazyarkin Dmitry Vladimirovich**,
Academic Advisor: Senior Lecturer **Ershov Kirill Konstantinovich**,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy
St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. This article discusses methods for measuring rotation speed using an incremental encoder. The article describes the basic principles of operation of incremental encoders, and also discusses the analysis of measurement errors and possible methods for increasing measurement accuracy.

Keywords: incremental encoder, position sensor, speed loop, pulses, increment, error.

Энкодер (датчик положения) – это электронное устройство, предназначенное для измерения параметров вращения с необходимой точностью какой-либо детали. Измеряемыми параметрами могут быть: скорость вращения, угловое положение, направление вращения. Существует два типа датчиков положения: инкрементальный и абсолютный. Их отличие заключается только в том, что в абсолютном энкодере применяется код Грея.

Энкодеры используют для преобразования механического движения в электрический сигнал. Важно понимать, что на этом его функциональная роль заканчивается. Он передает сигналы другому устройству для последующей обработки. Это может быть не только программируемый логический контроллер, но и, например, счетчик, запрограммированный на измерение заданных параметров (в первую очередь – скорости) [1].

Оптические инкрементальные энкодеры наиболее точные из стандартных типов энкодеров. Внутри датчика положения работает диод, излучающий свет, который, проходя через специальный диск, попадает на принимающий фотоэлемент. После этого на входе компаратора появляется напряжение, которое заставляет его выдавать логическую единицу (рис. 1). Данная операция позволяет получить квадратурный сигнал от времени, по которому далее определяется скорость вращения.

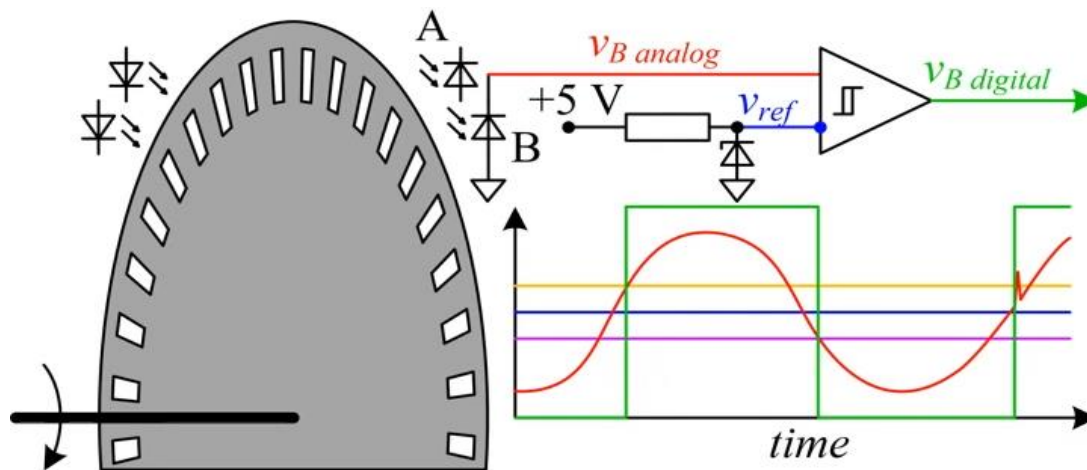


Рисунок 1 – Схема работы инкрементального энкодера

Скорость необходимо измерять быстро и точно, так как это имеет решающее значение во многих областях, включая: управление двигателями, робототехнику, промышленную автоматизацию, автомобилестроение, медицинское оборудование и т. д.

Рассмотрим схему векторного управления (рис. 2). Внутри реализуются контура токов, а внешне – контур скорости. Контур скорости задается по обратной связи от датчика положения, в нем необходимо сделать измерение, которое позволит достаточно точно и быстро определить скорость. На данном этапе возникают важные моменты:

1. Функция токового контура определяется периодом ШИМ и задержкой измерения тока. То есть быстрее ШИМ отрегулировать контур тока мы не можем, поэтому производится настройка, которая заменяет эквивалентную функцию апериодическому звену с 2-кратной постоянной времени ШИМ.

2. Производительность контура скорости определяется временем реакции контура тока и задержкой измерения скорости.

Поэтому, чем быстрее измеряется скорость, тем лучше и быстрее контур ее регулирования. Помимо этого, ко многим механизмам предъявляются требования точности определения скорости.

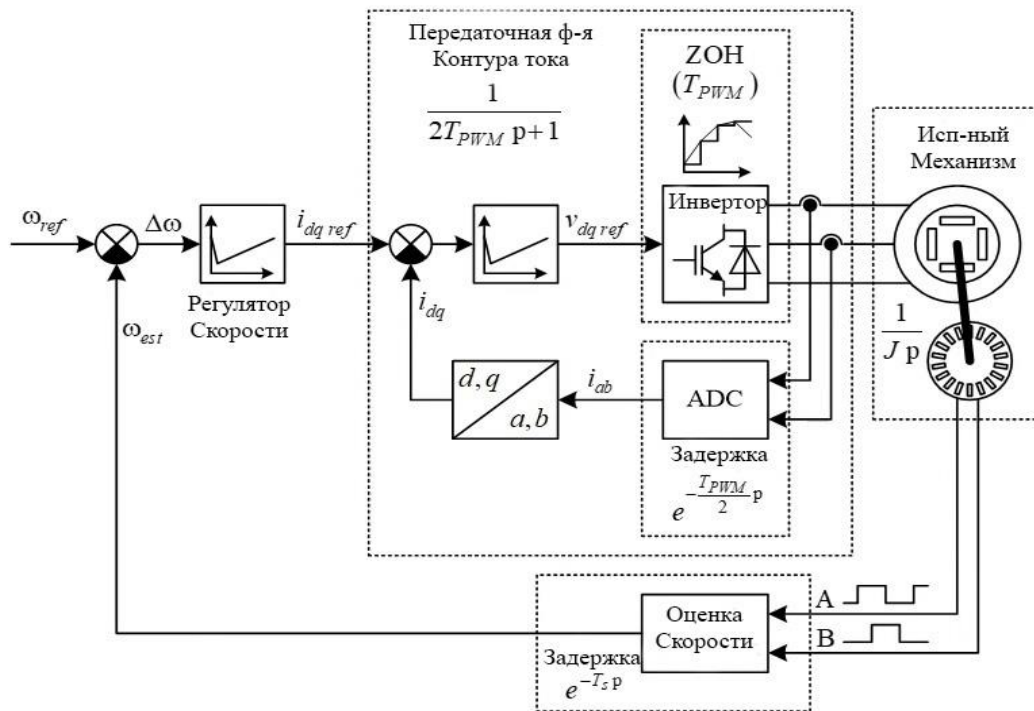


Рисунок 2 – Схема векторного управления

Для того чтобы узнать скорость, надо продифференцировать положение во времени. На данный момент существует целый ряд современных методов определения скорости вращения через инкрементальный энкодер [2].

Частотный метод

В данном методе выбирается заданный промежуток времени измерения и высчитывается количество импульсов и приращений положения за этот период (рис. 3). Проблема этого метода заключается в плохой точности. Исходя из формул ниже выходит, что при повышении скорости относительная погрешность уменьшается, но абсолютная останется такой же.

$$n_f = \frac{60}{T_s} \cdot \frac{\Delta c}{N}$$

$$\Delta n_f = \frac{60}{T_s} \cdot \frac{1}{N} = \frac{60 f_s}{N}$$

Например, рассматривая станочный привод, погрешность будет неприемлемой. Это означает, что данный метод не рекомендуется к использованию на низких скоростях.

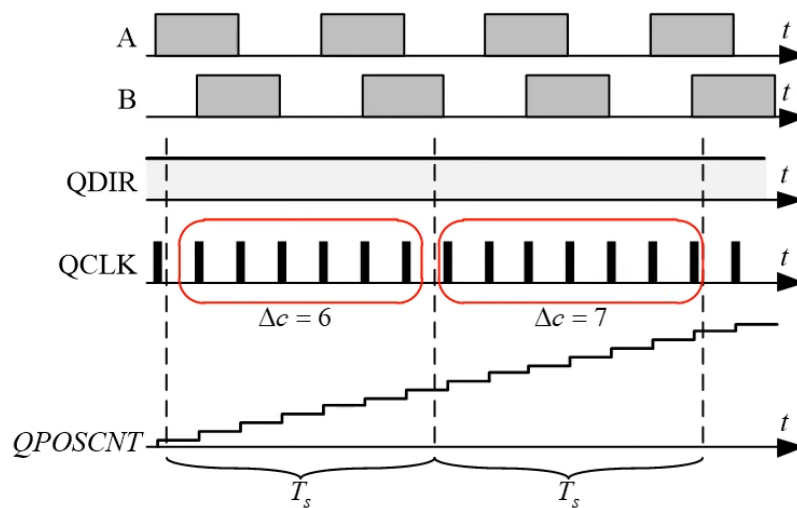


Рисунок 3 – Частотный метод измерения скорости

На рисунке 4 представлены графики квадратурного сигнала энкодера, которые декодируются микроконтроллером в положение, а также есть возможность измерять моменты времени. Либо за какое положение поменяется приращение, либо измерить каждый фронт отдельно и узнать время, когда он произошел. Получая сигналы с фаз А и В, микроконтроллер формирует сигнал QDIR, который говорит о направлении вращения. Каждый фронт фиксируется синхроимпульсом, создавая сигнал QCLK. QPOSCNT – квадратурный счетчик положения [3].

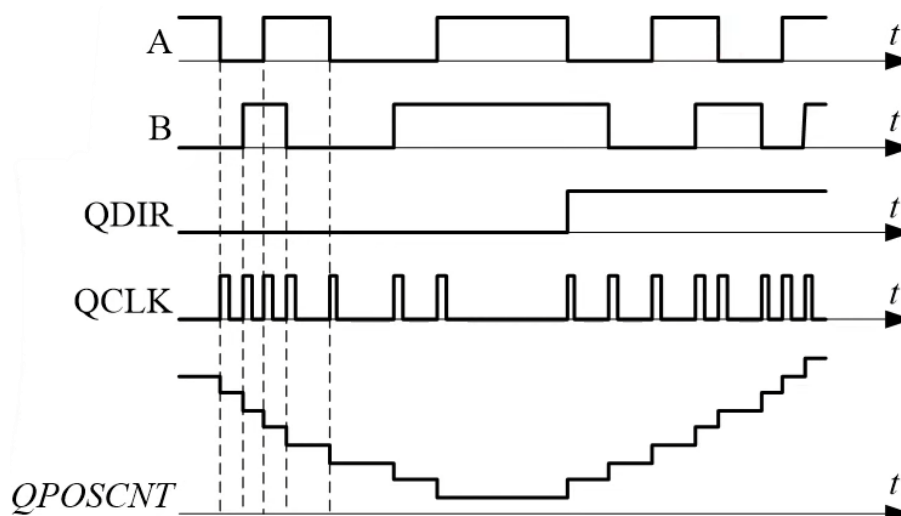


Рисунок 4 – Сигналы энкодера и микроконтроллера

Метод по периоду

Измеряется приращение положения, кратное 4-м, так как измерение происходит между первым и вторым нарастающими фронтами фазы А. Таким образом, измеряя время между нарастающими фронтами фазы А, высчитывается скорость по соответствующей формуле:

$$n_p = \frac{60}{T_s} \cdot \frac{4}{N}$$

Проблема метода заключается в погрешности на высоких скоростях. С увеличением скорости частота фазных импульсов растет и, соответственно, растет частота на счетчике импульсов. В связи с этим дискретный таймер теряет свою относительную точность при сокращении времени измерения, поэтому погрешность растет пропорционально квадрату скорости исходя из формулы:

$$\Delta n_p = \frac{h}{T_s} n = \frac{h \cdot n^2 \cdot N}{60 \cdot 4}$$

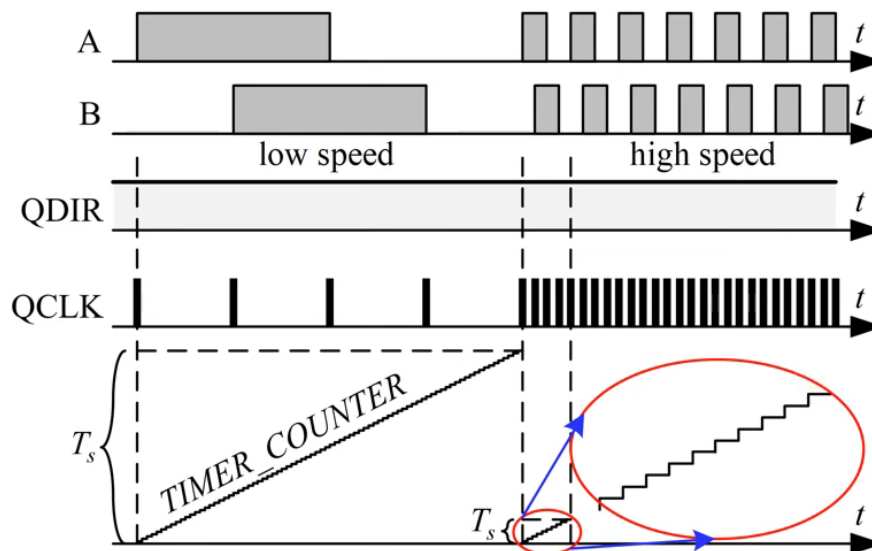


Рисунок 5 – Метод измерения скорости по периоду

Комбинированный метод

Данный метод использует комбинацию из метода по периоду для низких скоростей и частотного метода для высоких. Достаточно определить, исходя из формул, на какой скорости их необходимо менять. Для этого необходимо определить оптимальную скорость:

$$\frac{60}{T_s} \cdot \frac{1}{N} = \frac{h \cdot n^2 \cdot N}{60 \cdot 4}$$

$$n_{\text{опт}} = \frac{2 \cdot 60}{N \cdot \sqrt{h \cdot T_s}}$$

Оба метода не являются такими хорошими, поэтому предлагается метод постоянной времени измерения [4].

Метод постоянной времени измерения

Данный метод предлагает менять приращение угла в зависимости от скорости. То есть, когда скорость растет вместо приращения 4, оно увеличивается до 8, далее 12, 16, 20 ... ∞. Таким образом, скорость всегда измеряется за желаемое время (рис. 6).

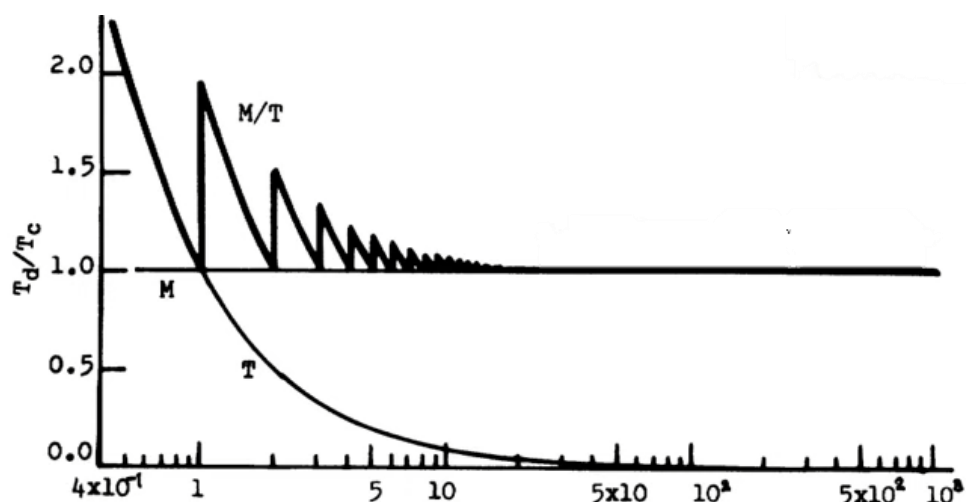


Рисунок 6 – Метод постоянной времени измерения

Синхронный метод постоянной времени измерения

Основным недостатком наиболее точного метода – метода постоянной времени измерения – является то, что он работает асинхронно с выполнением контура управления скорости, так как он управляется событиями, связанными с поступлением импульсов энкодера. Оценка происходит при возникновении определенного импульса энкодера. Это событие можно спрогнозировать и запланировать, выбрав определенную величину вращения, но в случае отклонения скорости из-за изменения нагрузки или крутящего момента привода оно может произойти раньше или слишком поздно. Таким образом, необходимо изменить алгоритм оценки скорости с управляемого по событию на готовый по требованию.

Инкрементальные энкодеры передают микроконтроллерам два квадратурных сигнала, которые декодируются логикой QEP внутреннего периферийного устройства в нужное положение. Обычно этот модуль способен измерять интервал между входными импульсами, но не способен измерять моменты времени появления определенного импульса. Для измерения моментов времени сигналы энкодера необходимо подключить к блокам регистрации времени того же микроконтроллера, как показано на рисунке 7.

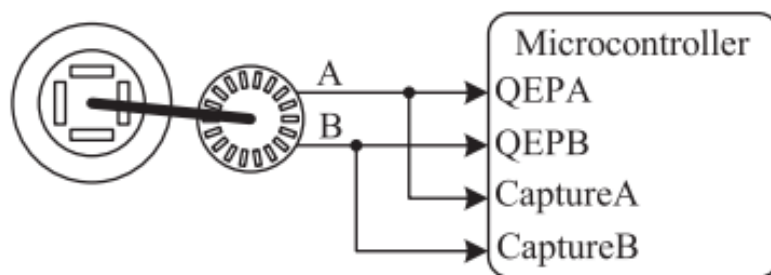


Рисунок 7 – Подключение энкодера к микроконтроллеру

Оценка скорости должна выполняться непосредственно перед выполнением регулятора скорости, чтобы ввести минимально возможную

задержку в контуре скорости. Доступна фактическая позиция “с” по импульсам энкодера, а также направление вращения. Блоки захвата обеспечивают моменты времени последних нарастающих и спадающих фронтов сигналов “А” и “В”. Текущее состояние сигналов можно получить от модуля цифрового ввода/вывода. Таким образом, на момент, когда необходимо оценить скорость, доступны следующие данные:

- 1) фактическое положение по импульсам энкодера QCLK с[k];
- 2) направление вращения;
- 3) два последовательных момента времени, когда произошли последние нарастающие и спадающие фронты А и В;
- 4) текущее состояние сигналов энкодера [5].

Таким образом, использование синхронного метода постоянной времени измерения позволяет измерять скорость вращения с наибольшей точностью на всех скоростях.

Список литературы:

1. Принцип работы энкодера [Электронный ресурс]. – URL: <https://innodrive.ru/articles/absolyutnyj-i-inkrementalnyj-ehnkoder/> (дата обращения: 11.04.2024).
2. Современные методы точного измерения скорости в электроприводах [Электронный ресурс]. – URL: <https://rutube.ru/video/c1548bb6fa1fd9c71fc9ec4c6afe26e4/> (дата обращения: 09.04.2024)
3. Алгоритм оценки скорости с заданной полосой пропускания для инкрементального энкодера положения: А. Anuchin, А. Dianov, D. Shpak, V. Astakhova K. Fedorova “Speed Estimation Algorithm with Specified Bandwidth for Incremental Position Encoder” IEEE/PROCEEDINGS OF THE 2016 17TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON MECHATRONICS - MECHATRONIKA, ME 2016 (дата обращения: 12.04.2024).
4. Измерение скорости с помощью поворотных энкодеров для высокопроизводительных приводов переменного тока F. Briz, J. A. Cancelas and A. Diez, "Speed measurement using rotary encoders for high performance AC drives", Proc. of Industrial Electronics Control and Instrumentation Conference, vol. 1, pp. 538-542, 1994 (дата обращения: 21.04.2024).
5. Синхронный метод постоянной времени измерения. А. Anuchin, А. Dianov, F. Briz “Synchronous Constant Elapsed Time Speed Estimation Using Incremental Encoders” IEEE/ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS, VOL. 24, NO. 4, AUGUST 2019 (дата обращения: 15.04.2024).

© Мазяркин Д. В., 2024

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

студент **Шулакова Дарья Андреевна**,
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент **Баловнев Денис Иванович**,
филиал Национального Исследовательского Университета,
Московский Энергетический Институт
г. Смоленск, Российская Федерация

Аннотация. В данной работе были рассмотрены подходы для исследования асинхронных двигателей при помощи технологии цифровых двойников, которая является актуальной в настоящее время. В результате были рассмотрены три модели: геометрическая, расчетная и математическая, с помощью которых были получены различные параметры электрической машины.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, цифровой двойник, математическая модель, электрическая машина, переходные процессы.

APPLICATION OF DIGITAL TWIN TECHNOLOGY FOR THE STUDY OF ASYNCHRONOUS MOTORS MOTOR APPLICATION OF DIGITAL TWIN TECHNOLOGY

Student **Shulakova Daria Andreevna**,
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor
Balovnev Denis Ivanovich,
Branch of the National Research University Moscow Power Engineering Institute
Smolensk, Russian Federation

Abstract. In this paper, approaches were considered for the study of asynchronous motors using digital twin technology, which is currently relevant. As a result, three models were considered: geometric, computational and mathematical, with the help of which various parameters of an electric machine were obtained.

Keywords: asynchronous motor, digital twin, mathematical model, electric machine, transients.

Для исследования работы электрического двигателя в ненормальном режиме разумно использовать технологию цифровых двойников, что в настоящее время является актуальной темой в области электромеханики. Преимущество такого метода состоит в том, что на модели возможно проведение опытов и исследований, не прибегая к использованию реального оборудования, что позволит исследовать машину в различных режимах, а также снизит риски.

В настоящее время асинхронные электрические двигатели являются одними из важных элементов электроэнергетических и электромеханических систем, так как они обладают рядом преимуществ [1]:

- надежность;
- низкая стоимость;
- простота эксплуатации;
- универсальность.

Принцип действия такой электрической машины основан на взаимодействии полей двух активных частей: статора и ротора, которые состоят из обмотки и магнитопровода [2].

Рассмотрим пошагово процесс пуска асинхронного двигателя:

1. На обмотку статора подается напряжение из сети.
2. Ток в обмотке статора создает магнитное поле.
3. В свою очередь, созданное магнитное поле индуцирует ЭДС и наводит ток в короткозамкнутой обмотке ротора, который создает второе магнитное поле.
4. При взаимодействии поля создают крутящий момент и образуют вращающееся магнитное поле.

Для исследования был рассмотрен асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором типа 5AM280M6e, технические характеристики которого представлены в таблице 1 [3].

Таблица 1 — Технические характеристики асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Тип двигателя	5AM280M6e
Мощность P_2 , кВт	90
Напряжение, В	380/660
Синхронная частота вращения n_c , об/мин	1000
Коэффициент полезного действия η	0.945
Коэффициент мощности $\cos\varphi$	0.85

Для изучения применения технологии цифровых двойников [4] для энергетического машиностроения на примере асинхронного двигателя были использованы:

Твердотельная модель. Анализируя модель такого рода, можно получить сведения о геометрических характеристиках исследуемой электрической машины. На рисунке 1 приведена 3D-модель асинхронного двигателя типа 5AM280M6e, выполненная в программном пакете КОМПАС-3D v20;

Модель рабочих и пусковых характеристик. Данная модель была получена из расчета при проектировании серийно-выпускаемого двигателя (рис. 3).

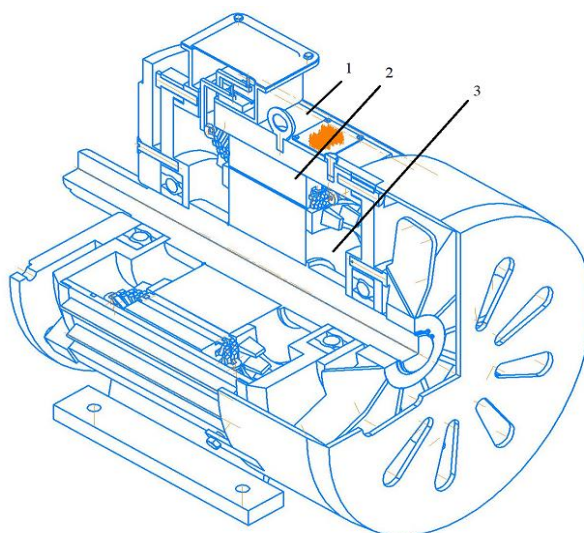


Рисунок 1 – Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором с вырезом одной четверти (1 – корпус, 2 – статор, 3 – ротор)

Для удобства была использована «Т-образная» схема замещения асинхронного двигателя (рис. 2) с параметрами, представленными в таблице 2.

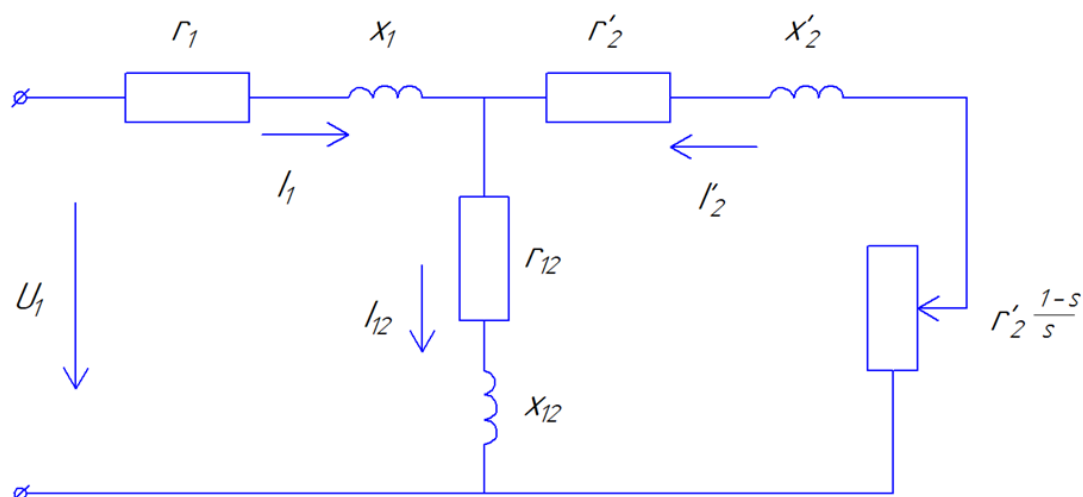


Рисунок 2 – «Т-образная» схема замещения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, где r_1, x_1 – значение сопротивлений обмотки статора; r'_2, x'_2 – приведенное значение сопротивлений обмотки ротора; x_{12} – значение индуктивного сопротивления взаимной индукции

Таблица 2 — Параметры «Т-образной» схемы замещения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Параметр	Значение, о.е.
r_1	0.035
x_1	4.679
r'_1	0.039
x'_1	4.683
x_{12}	4.6
J	64.08

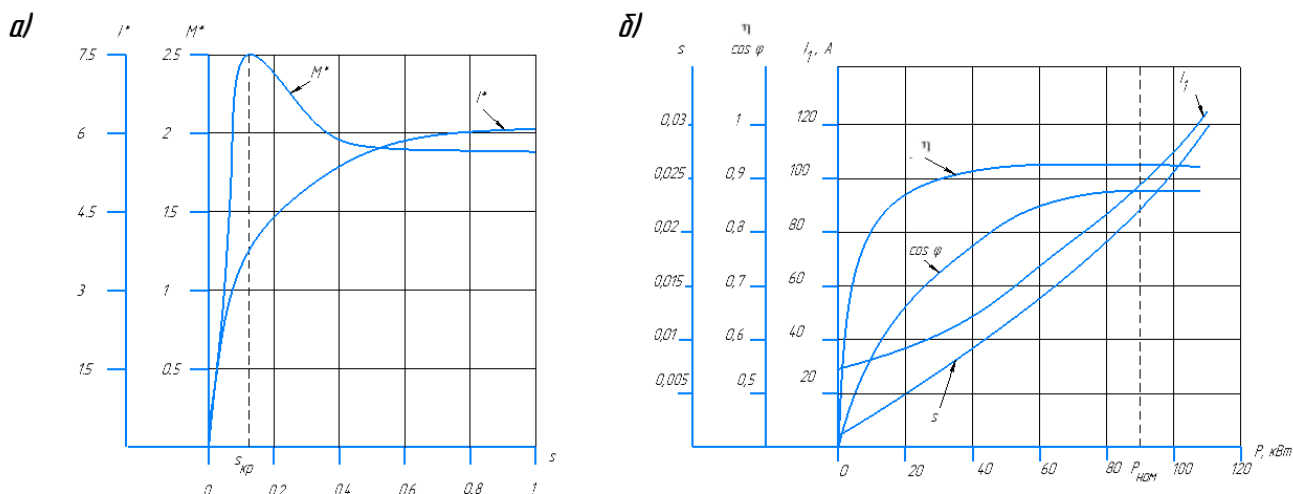


Рисунок 3 – Рабочие (а) и пусковые (б) характеристики асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Математическая модель для исследования переходных процессов при пуске асинхронного двигателя, основанная на системе уравнений обобщенной неявнополюсной машины. Уравнения математической модели такого рода решаются через потокосцепление, так как диапазон изменения токов на порядок больше и, следовательно, точность решения ниже. Также использование данных уравнений справедливо при пренебрежении влияния насыщения и зубчатости сердечника. С учетом всех указанных допущений, получим математическую модель асинхронного двигателя в программном пакете Mathcad (рис. 4) [5]:

Но при эксплуатации нередко происходят случаи, когда двигатель начинает работать в ненормальном режиме. Одной из причин возникновения такого режима работы может стать изменение напряжения в сети.

$$\begin{pmatrix} \psi_{su_{t+1}} \\ \psi_{sv_{t+1}} \\ \psi_{ru_{t+1}} \\ \psi_{rv_{t+1}} \\ \omega_{t+1} \end{pmatrix} := \begin{bmatrix} \left[u_{su} - \frac{R_s}{\sigma \cdot X_s} \psi_{su_t} + (1 - \sigma) \cdot \frac{R_s}{\sigma \cdot X_m} \psi_{ru_t} + \psi_{sv_t} \right] \cdot h + \psi_{su_t} \\ \left[u_{sv} - \frac{R_s}{\sigma \cdot X_s} \psi_{sv_t} + (1 - \sigma) \cdot \frac{R_s}{\sigma \cdot X_m} \psi_{rv_t} - \psi_{su_t} \right] \cdot h + \psi_{sv_t} \\ \left[-\frac{R_r}{\sigma \cdot X_r} \psi_{ru_t} + (1 - \sigma) \cdot \frac{R_r}{\sigma \cdot X_m} \psi_{su_t} + (1 - \omega_t) \cdot \psi_{rv_t} \right] \cdot h + \psi_{ru_t} \\ \left[-\frac{R_r}{\sigma \cdot X_r} \psi_{rv_t} + (1 - \sigma) \cdot \frac{R_r}{\sigma \cdot X_m} \psi_{sv_t} - (1 - \omega_t) \cdot \psi_{ru_t} \right] \cdot h + \psi_{rv_t} \\ \left[\frac{1}{J} \left[\frac{1 - \sigma}{\sigma \cdot X_m} (\psi_{sv_t} \cdot \psi_{ru_t} - \psi_{su_t} \cdot \psi_{rv_t}) - \frac{\eta \cdot \cos \phi}{1 - s_H} \cdot M_c \right] \right] \cdot h + \omega_t \end{bmatrix}$$

Рисунок 4 – Система уравнений для исследования пуска асинхронного двигателя

При стандартном значении напряжения были получены зависимости тока и момента от времени при пуске двигателя (рис. 5).

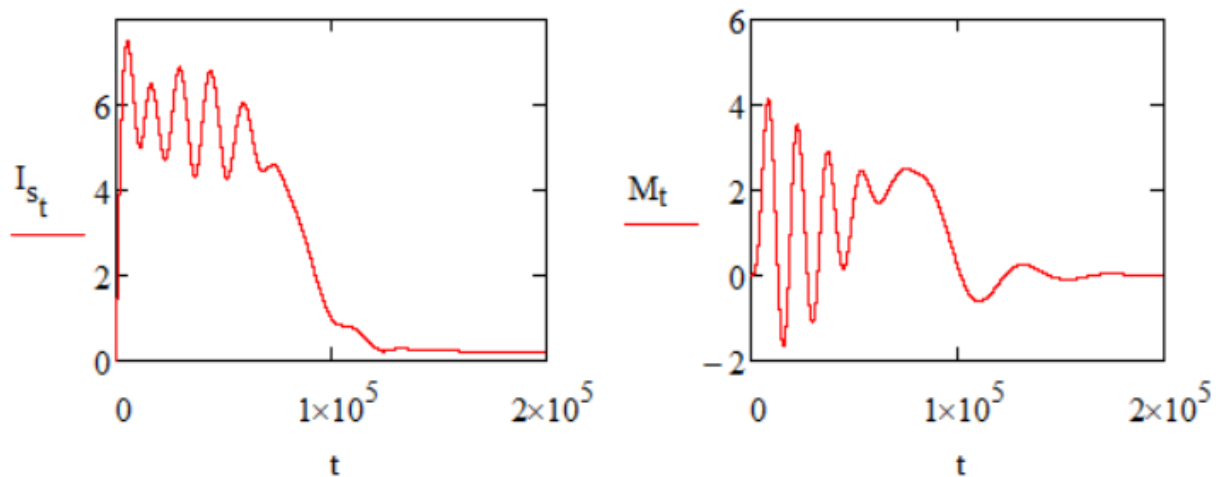


Рисунок 5 – Зависимости тока и момента от времени при пуске двигателя

При понижении напряжения в сети на 10 % были получены зависимости, показанные на рисунке 6.

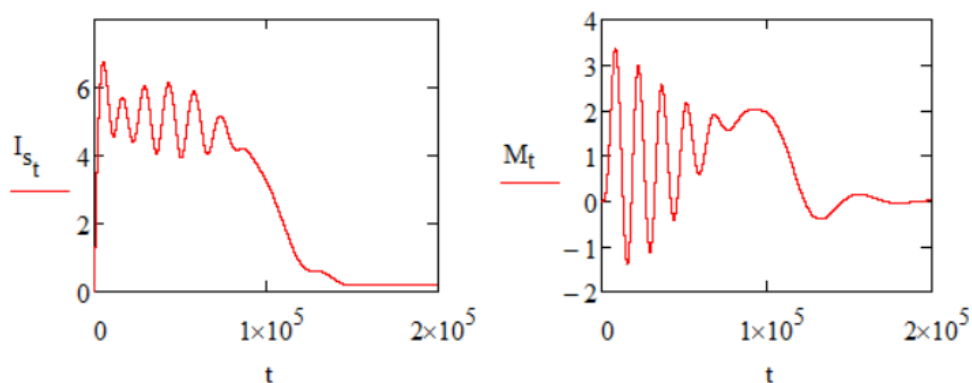


Рисунок 6 – Зависимости тока и момента от времени при пуске двигателя при понижении напряжения на 10 %

При повышении напряжения в сети на 10 % были получены зависимости, показанные на рисунке 7.

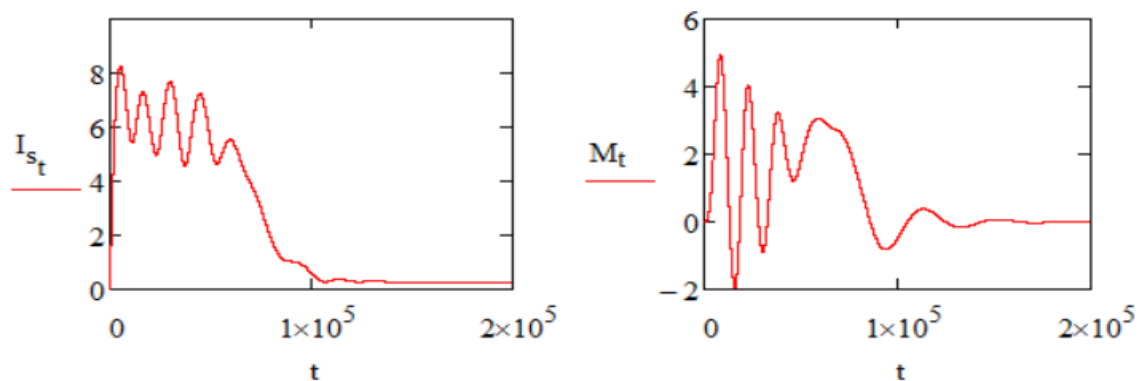


Рисунок 7 – Зависимости тока и момента от времени при пуске двигателя при повышении напряжения на 10 %

Таким образом, цифровой двойник асинхронного двигателя позволяет получить информацию о геометрических параметрах, рабочих и пусковых характеристиках, а также о переходных процессах при пуске двигателя.

Список литературы:

1. Копылов, И. П. Электрические машины: [в 2 т.]. Т. 2: учебник для студентов вузов, обучающихся по инженерно-техническим направлениям / И. П. Копылов, Нац. исслед. ун-т «МЭИ». – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Юрайт, 2020. – 407 с.
2. Проектирование электрических машин: учеб. для вузов / И. П. Копылов, Б. К. Клоков, В. П. Морозкин, Б. Ф. Токарев; Под ред. И. П. Копылова. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 2002. – 757с.
3. Технический каталог / Владимирский Электромоторный Завод. – РУСЭЛПРОМ, 2008. – с. 43. – URL: <https://www.szemo.ru/files/cat-vemz-7.pdf>.
4. Применение технологии цифровых двойников при разработке тяговых асинхронных электродвигателей / А. В. Захаров, А. М. Зайцев, А. С. Кобелев [и др.] // Электротехника. – 2022. – № 4. – С. 26-33. – DOI 10.53891/00135860_2022_4_26. – EDN: WTOVID.
5. Захаров А. В., Кобелев А. С. Развитие программного обеспечения для моделирования режимов работы асинхронных электродвигателей в интеллектуальной системе автоматизированного проектирования // Электричество. – 2007. – № 5. EDN: KVAAAN.

© Шулакова Д. А., 2024

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ БПЛА В НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

студент **Зворыгин Степан Алексеевич**,
науч. руководитель: ассистент кафедры АТПИ

Новикова Мария Андреевна,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В данной статье приводится описание существующих систем радио- и акустического контроля для обнаружения беспилотных летательных аппаратов, перечисляются их основные недостатки, предлагается усовершенствование систем обнаружения беспилотников с использованием технологий компьютерного зрения.

Ключевые слова: радиоконтроль, акустический контроль, беспилотный летательный аппарат, компьютерное зрение, обнаружение объекта.

THE POSSIBILITIES OF USING AUTOMATED SYSTEMS TO DETECT UAVS IN POPULATED AREAS USING COMPUTER VISION TECHNOLOGIES

Student **Zvorygin Stepan Alekseevich**,
Academic Advisor: Assistant of the department ATPP

Novikova Mariya Andreevna,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. This article describes the existing systems of radio and acoustic monitoring and detection of unmanned aerial vehicles, lists their main disadvantages, and proposes the improvement of drone detection systems using computer vision technologies.

Keywords: radiocontrol, acoustic control, unmanned aerial vehicle, computer vision, object detection.

Существуют системы радио- и акустического контроля, способные обнаруживать беспилотники, что является важным аспектом для обеспечения безопасности и конфиденциальности. Такие технологии могут быть использованы в различных сферах – от военных операций до гражданской

авиации, чтобы предотвратить незаконное вторжение дронов на территорию или объекты.

Системы воздушного радиоконтроля предназначены для обнаружения и пеленгования активных радиоэлектронных средств (РЭС) каналов управления и передачи данных современных беспилотных и пилотируемых летательных аппаратов. [1]. Системы радиоконтроля (рис. 1) могут использовать радиочастотные сканеры для обнаружения сигналов, исходящих от беспилотников, а затем определять их местоположение и траекторию движения. Примерный состав станций радиоконтроля отражен в [2], наиболее подробная информация об обнаружении беспилотников с помощью систем радиотехнического контроля содержится в [3].



Рисунок 1 – Системы радиотехнического контроля для обнаружения беспилотников

Одним из последних примеров системы радиотехнического контроля и обнаружения является Kaspersky Antidrone. Как заявлено в [4], комплексы противодействия БПЛА должны выполнять три функции: обнаружение (мониторинг) беспилотников, их классификация, а также подавление в случае несанкционированного полета. Для эффективной работы всего комплекса оборудование в его составе должно работать в единой программной среде.

Для обнаружения БПЛА в описываемой системе используются:

- RF-сканер (для крупных объектов, в частности, в условиях города, вне зависимости от времени суток и погодных условий);
- лидар (лазерное сканирование – мониторинг воздушного пространства на 360°);
- радар для обнаружения дронов гражданского назначения.

Для классификации типа БПЛА система Kaspersky Antidrone использует опорно-поворотный модуль с технологиями машинного обучения и нейронных сетей. Данный модуль оптического обнаружения классифицирует беспилотник в любое время суток благодаря телевизионным камерам, определяет расстояние до объекта и выполняет ведение цели, ожидая отправки команды на устройство постановки помех [4].

Устройство подавления может быть как встроенным в опорно-поворотное устройство (для направленного подавления), так и быть отдельным техническим средством всенаправленного подавления.

Описанная система также имеет программное обеспечение для наиболее эффективной работы.

Одной из основных проблем систем радиоконтроля по обнаружению беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) является:

1. Создание дронов из радиопоглощающих материалов: радиопоглощающие материалы могут затруднить или полностью блокировать радиосигналы, делая БПЛА невидимыми для радиосистем обнаружения.

2. Режим радиомолчания: возможность полета дрона без радиосигналов делает его трудным для обнаружения радиосистемами контроля, что создает угрозу незамеченного проникновения нарушителя.

3. Реакция на ложные цели: системы радиоконтроля могут ошибочно обнаруживать дроны, реагируя на ложные объекты.

Акустические системы контроля (рис. 2) могут использовать специальные микрофоны для обнаружения звуков, издаваемых беспилотниками, что также помогает в их точной локализации. Существуют системы пассивного и активного акустического контроля [5].

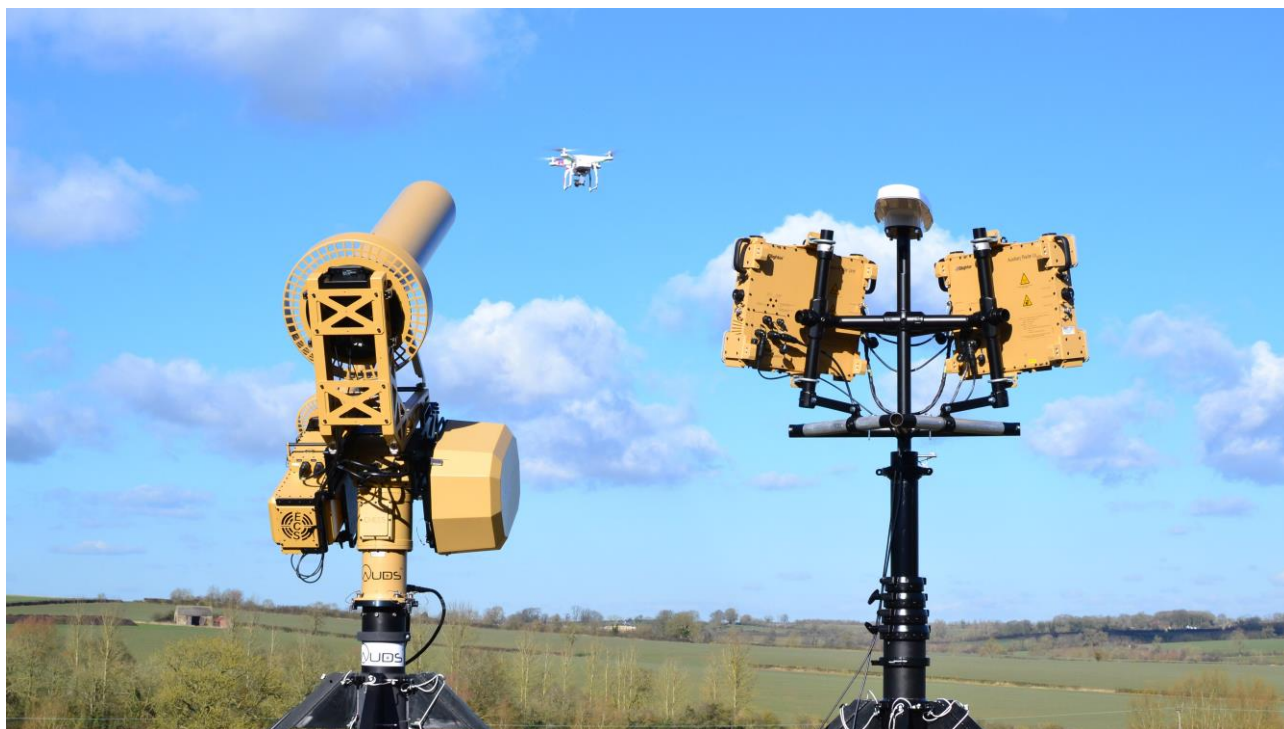


Рисунок 2 – Системы акустического контроля

Системы акустического контроля для обнаружения беспилотников в городе имеют несколько основных недостатков:

1. Ложные срабатывания. Подобные системы могут срабатывать на шумы от обычного движения транспорта, строительных работ, птиц и других

источников, что может привести к постоянным ложным срабатываниям и нежелательным сигналам о возможной угрозе.

2. Ограниченная точность. Акустические системы могут иметь ограниченную точность в определении местоположения беспилотника из-за различных факторов, таких как шум в городской среде и отражение звука от зданий и других объектов.

3. Зависимость от погодных условий. Погода, такая как ветер, дождь или снег, может сильно повлиять на работу акустических систем и их способность обнаруживать беспилотные аппараты.

4. Ограниченная эффективность в густонаселенных районах. В условиях высокой плотности застройки и большого количества шумовых источников, системы акустического контроля могут иметь затруднения с точным обнаружением беспилотников.

5. Высокая стоимость. Установка и обслуживание акустических систем могут требовать значительных затрат, что делает их недоступными для многих городов и муниципалитетов.

Более эффективной заменой традиционным средствам радио- и акустического контроля может послужить автоматизированная система с технологией компьютерного зрения, оснащенная тепловизором [6]. Такая система способна обнаруживать и идентифицировать объекты с высокой точностью и без необходимости использования радиоволн или звуковых сигналов. Тепловизор позволяет системе видеть и анализировать тепловые излучения, что обеспечивает более надежное и эффективное обнаружение объектов, включая дроны, даже при различных погодных условиях или изменяющихся освещенных условиях.

Система компьютерного зрения, оснащенная тепловизором, способна использовать тепловую сигнатуру и контрасты для обработки изображений, что позволяет выделить объекты на фоне окружающей среды и идентифицировать дроны, защищенные теплоотражающим материалом. Использование тепловизора позволяет системе обнаруживать разницу в температуре между объектами и их окружением, что помогает точнее выделить целевой объект и эффективно проводить его идентификацию даже при наличии теплоизоляционных покрытий на дроне.

На практике не было случаев, когда дрон был изготовлен из материала, который одновременно обладал бы свойствами теплоотражения и радиочастотного поглощения. Это означает, что для обеспечения более точного и быстрого идентифицирования БПЛА, часто используется комбинация различных систем в единую установку. Например, сочетание тепловизионной камеры и радиолокационной системы для отслеживания радиочастотного сигнала. Это может значительно увеличить эффективность обнаружения и отслеживания дронов. Но такой подход требует больших материальных вложений.

Важной задачей является использование автоматизированной системы распознавания летательных объектов с применением компьютерного зрения в населенных пунктах. Возможное применение удешевленной системы Kaspeisky

Antidrone: установка автоматизированной системы на достаточно высоком здании и связка с пунктом управления БПЛА, который базируется на грузовом автомобиле, находящемся в непосредственной близости от системы.

Когда автоматизированная система обнаружит нарушителя воздушного пространства (вражеский дрон), операторы пункта управления могут подтвердить наличие цели и отправить на её уничтожение FPV-дрон с взрывчаткой. РЭБ системы Kaspersky Antidrone ни в коем случае не должна применяться в населённом пункте, так как подавленный дрон с боевой частью может упасть на жилую застройку. Кроме того, РЭБ имеет множество других недостатков делающим его не эффективным способом уничтожения БПЛА. Поэтому Kaspersky Antidrone можно заметно удешевить, сняв с неё систему РЭБ. Использование гарпунов или сетей при помощи FPV-дронов для захвата неприятельских БПЛА прямо в воздухе также может быть рассмотрено для защиты населённых пунктов от возможных атак.

Однако, следует отметить, что захват воздушных объектов такого размера как БПЛА с помощью гарпунов или сетей – технически сложная задача из-за их больших размеров и большой скорости. Требуется дополнительное исследование и разработка специализированных устройств или систем для успешной реализации этого подхода, чтобы избежать жертв среди гражданского населения.

Список литературы:

1. Технические средства радиоконтроля. – URL: https://www.ircos.ru/ru/rp_main.html (дата обращения 27.04.2024). – Текст: электронный.
2. КОМПАНИЯ ИРКОС ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА РАДИОКОНТРОЛЯ – Станции и комплексы радиоконтроля. – URL: https://www.ircos.ru/ru/st_main.html (дата обращения: 27.04.2024). – Текст: электронный.
3. SKYX – Радиотехнический контроль и обнаружение беспилотников. Обнаружение. Часть 2. – URL: <https://sky-x.pro/blog/radiotekhnicheskiiy-kontroly-i-obnaruzhenie-bespilotnikov> (дата обращения: 27.04.2024). – Текст: электронный.
4. KASPERSKY ANTIDRONE – Система обнаружения БПЛА на объектах любого масштаба. – URL: <https://antidrone.kaspersky.com/ru/solution/overview/> (дата обращения: 27.04.2024). – Текст: электронный.
5. SKYX – Акустический контроль. Обнаружение БПЛА часть 6. – URL: <https://sky-x.pro/blog/akusticheskiiy-kontroly--obnaruzhenie-bpla-chasty-6> (дата обращения: 27.04.2024). – Текст: электронный.
6. ХАЙТЕК – Разработана система «четкого» компьютерного зрения на основе тепла. – URL: <https://hightech.fm/2023/07/27/hadar-vision> (дата обращения: 28.04.2024). – Текст: электронный.

© Зворыгин С. А., 2024

**РОБОТОТЕХНИКА И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В СПОРТЕ:
ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТОВ ДЛЯ ТРЕНИРОВОК И АНАЛИЗА
ДВИЖЕНИЙ СПОРТСМЕНОВ**

студент **Савельев Артур Дмитриевич**,
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент
Мухаметгалеев Танир Хамитевич,
Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. Статья рассматривает современные тенденции использования робототехники и интеллектуальных систем в спорте, с фокусом на применение роботов для тренировок и анализа движений спортсменов. Роботы становятся все более распространенным инструментом для улучшения спортивной производительности и предоставления ценной обратной связи спортсменам и тренерам. В статье обсуждаются различные типы роботов, используемых в спорте, их функциональные возможности, преимущества и ограничения. Также рассматривается перспектива развития данной области и вызовы, стоящие перед разработчиками и пользователями робототехники в спорте.

Ключевые слова: робототехника, интеллектуальные системы, спорт, тренировки, анализ движений, спортсмены.

**ROBOTICS AND INTELLIGENT SYSTEMS IN SPORTS:
THE USE OF ROBOTS FOR TRAINING AND ANALYZING
THE MOVEMENTS OF ATHLETES**

Student **Savelyev Artur Dmitrievich**,
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor
Mukhametgaleev Tanir Khamitevich,
Kazan State Energy University,
Kazan, Russian Federation

Abstract. The article discusses current trends in the use of robotics and intelligent systems in sports, with an emphasis on the use of robots for training and analyzing the movements of athletes. Robots are becoming an increasingly common way to enhance athletic performance and provide valuable feedback to athletes and coaches. The article discusses various types of robots, their application in sports, their main capabilities, advantages and limitations. Also, the advantage of promising developments in this area and the challenges facing developers and users of robotics in sports.

Keywords: robotics, intelligent systems, sports, training, movement analysis, athletes.

Робототехника и интеллектуальные системы становятся все более важными инструментами в современном спорте, предлагая инновационные подходы к тренировкам и анализу движений спортсменов. В частности, применение роботов для тренировок и анализа движений спортсменов в различных дисциплинах, включая бокс, открывает новые перспективы для улучшения технических навыков, повышения физической подготовки и развития тактической стратегии.

В боксе, где скорость, сила и точность играют решающую роль, использование роботов позволяет спортсменам совершенствовать свои навыки боя, реакции и координации движений. Роботы могут имитировать движения соперника, создавать различные тактические сценарии и помогать боксерам развивать свою технику ударов и защиты.

Кроме того, интеллектуальные системы способны проводить детальный анализ движений спортсменов, выявляя слабые места и ошибки в их технике боя. Это позволяет спортсменам корректировать свои навыки и стремиться к более высоким результатам в соревнованиях. Симуляция боевых ситуаций, тренировки на улучшение реакции и скорости, а также физические упражнения – все это доступно благодаря применению роботов и интеллектуальных систем в боксе. [1, с. 47-55.

Спорт – это не только соревнования и победы, но и наука, технологии и инновации. С каждым годом спортсмены становятся все более профессиональными и стремятся к достижению максимальных результатов. В этом процессе им помогают современные технологии, в том числе и робототехника и интеллектуальные системы [2, с. 7-8].

Робототехника в спорте представляет собой использование роботов и автоматических систем для различных целей, включая тренировки спортсменов, анализ и оптимизацию движений, создание симуляторов для тренировок и многое другое. Одним из наиболее распространенных примеров применения роботов в спорте является робот-тренер, который может воспроизводить движения и упражнения для спортсменов, а также контролировать их выполнение.

Интеллектуальные системы, такие как компьютерное зрение, машинное обучение и анализ данных, позволяют проводить более детальный и точный анализ движений спортсменов. С их помощью можно выявить ошибки в технике, оптимизировать движения для повышения эффективности и предотвращения травм, а также отслеживать прогресс спортсменов на протяжении времени. Это помогает спортсменам совершенствовать свои навыки и достигать более высоких результатов.

Применение роботов и интеллектуальных систем в спорте имеет ряд преимуществ. Во-первых, это повышение эффективности тренировок за счет точного контроля и анализа движений. Во-вторых, это улучшение техники и результатов спортсменов. Также использование робототехники и интеллектуальных систем способствует предотвращению травм и улучшению безопасности тренировок.

Однако, помимо преимуществ, применение робототехники и интеллектуальных систем в спорте также сталкивается с вызовами. Некоторые спортсмены могут испытывать сопротивление по отношению к новым технологиям, а также возникают вопросы о конфиденциальности данных и этичности использования роботов в спорте. Тем не менее, с развитием технологий и усовершенствованием методов обучения применение робототехники и интеллектуальных систем в спорте имеет большой потенциал для будущего.

Одним из основных направлений применения робототехники в спорте является использование роботов для тренировок спортсменов. Роботы могут быть использованы как в качестве партнеров для тренировок, так и для моделирования определенных движений или ситуаций. Например, роботы могут помочь спортсменам улучшить свою технику, координацию и выносливость. Они могут воспроизводить определенные движения или упражнения с высокой точностью и повторяемостью, что позволяет спортсменам лучше понять свои ошибки и исправить их.

Кроме того, роботы могут быть использованы для анализа движений спортсменов. Роботы с встроенными камерами, сенсорами и другими устройствами могут точно записывать движения спортсменов. Это позволяет получить более детальную информацию о каждом движении, включая углы сгибания суставов, скорость движения, ускорение и другие параметры. Роботы могут предоставлять спортсменам обратную связь в реальном времени на основе анализа движений. Они могут указывать на ошибки, предлагать корректировки и рекомендации для улучшения техники. На основе данных, полученных из анализа движений, роботы могут помогать тренерам создавать индивидуальные программы тренировок для каждого спортсмена [3, с. 121-129].

Современные роботы могут быть отличными помощниками в тренировках спортсменов. Например, роботы-тренажеры представляют собой инновационные устройства, специально разработанные для имитации движений и сценариев, характерных для конкретного вида спорта или тренировочной программы. Они позволяют спортсменам эффективно тренироваться, повышать свои навыки и улучшать технику под руководством программы, настроенной на определенные параметры и цели.

Еще, к примеру, в теннисе роботы могут использоваться для тренировок сервиса в теннисе. Они могут создавать разнообразные условия и скорости подачи, помогая спортсменам улучшить свои навыки в реакции на различные типы сервисов. Роботы могут создавать симуляции игровых ситуаций, помогая спортсменам тренироваться на различные тактические сценарии и улучшать свою стратегию игры. Хотя применение роботов и интеллектуальных систем в теннисе может иметь некоторые ограничения, такие как отсутствие эмоциональной обратной связи и высокие затраты на оборудование, они могут значительно улучшить тренировочный процесс и помочь теннисистам достичь лучших результатов.

Также роботы могут быть использованы для обучения спортсменов новым видам спорта или упражнений. Например, роботы могут помочь спортсменам

изучить гимнастику, специально разработанные роботы-тренажеры могут помочь гимнастам изучать и улучшать свою технику и движения. Например, роботы-тренажеры могут имитировать балансировку на брусках, выполнение элементов на брусках или кольцах, что позволяет спортсменам тренироваться в безопасной и контролируемой среде.

Роботы также могут выступать в качестве оппонентов для спортсменов, имитируя их поведение в реальных соревнованиях. Такие роботы могут быть использованы для тренировок боксёров, борцов, кикбоксеров и других единоборцев. Роботы могут использоваться для тренировок ударов и защиты в боксе. Они могут имитировать движения соперника, создавая различные сценарии боя и помогая спортсменам улучшить свои навыки. Интеллектуальные системы могут проводить анализ техники боя боксера, выявляя слабые места и ошибки в его движениях. Роботы могут помочь спортсменам улучшить свою реакцию и скорость боя, создавая быстрые и неожиданные движения, на которые нужно реагировать мгновенно. Роботы могут создавать симуляции боевых ситуаций, помогая спортсменам тренироваться на различные тактические сценарии и развивать свою стратегию во время боя [5, с. 66-71].

Другим интересным примером применения робототехники в спорте является создание роботов-спортсменов, которые могут участвовать в соревнованиях и демонстрировать высокий уровень мастерства. Например, в последние годы проводятся соревнования по футболу среди роботов, где команды различных университетов и компаний создают автономных роботов-футболистов, способных играть настоящий футбол, так же, к примеру, футбольные клубы могут использовать роботов-вратарей для тренировки ударов или роботов-нападающих для развития тактических приемов. Это помогает командам улучшить свою игру и достичь побед.

Эти соревнования не только позволяют улучшить технологии автономных роботов, но и способствуют развитию искусственного интеллекта и машинного обучения. Роботы-спортсмены могут быть использованы для тестирования новых алгоритмов и методов управления, которые затем могут быть применены в других областях, включая медицину, транспорт и производство.

С каждым годом технологии становятся все более продвинутыми, и в будущем мы можем ожидать еще более инновационных решений в области робототехники и спорта. Возможно, появятся новые виды роботов, способные анализировать не только движения, но и эмоциональное состояние спортсменов, что позволит создавать более эффективные тренировочные программы.

Роботы могут выполнять роль тренера, контролируя процесс тренировок спортсменов и обеспечивая необходимый уровень нагрузки. Такие роботы могут быть использованы для организации индивидуальных и групповых тренировок, а также для контроля за исполнением упражнений спортсменами.

Применение роботов для тренировок и анализа движений спортсменов имеет как свои преимущества, так и недостатки. Давайте рассмотрим их подробнее:

Преимущества:

1. Повышение эффективности тренировок. Роботы могут предложить спортсменам индивидуальные программы тренировок, учитывая их физические данные и цели. Это помогает спортсменам совершенствовать свои навыки более эффективно.

2. Точный анализ движений. Интеллектуальные системы позволяют проводить глубокий анализ движений спортсменов с высокой точностью, выявляя ошибки в технике и предлагая способы их исправления.

3. Уменьшение риска травм. Роботы могут помочь спортсменам избежать перегрузок и травм, предлагая оптимальные тренировочные нагрузки и контролируя правильность выполнения упражнений.

Недостатки:

1. Ограничения в эмоциональной обратной связи. Роботы не могут предоставить спортсмену эмоциональную поддержку и мотивацию, которые может дать живой тренер. Это может быть особенно важно в случаях, когда спортсмен испытывает стресс или неуверенность.

2. Высокие затраты на оборудование. Внедрение роботов и интеллектуальных систем в тренировочный процесс может потребовать значительных затрат на оборудование, обучение персонала и поддержку технологий.

3. Необходимость дополнительного обучения спортсменов. Использование новых технологий требует времени и усилий на обучение спортсменов и тренеров. Некоторым спортсменам может потребоваться время, чтобы привыкнуть к работе с роботами.

В целом, применение роботов для тренировок и анализа движений спортсменов имеет больше преимуществ, чем недостатков, особенно в контексте повышения результативности и эффективности тренировочного процесса. Однако важно учитывать потенциальные ограничения и недостатки, чтобы успешно внедрять новые технологии в спортивную практику [4, с. 162-173].

В заключение можно подчеркнуть, что робототехника и интеллектуальные системы играют все более значимую роль в современном спорте, предлагая спортсменам инновационные инструменты для улучшения их технических навыков, физической подготовки и тактической стратегии. Применение роботов для тренировок и анализа движений спортсменов, включая бокс, открывает новые возможности для повышения эффективности тренировок, выявления слабых мест спортсменов и коррекции ошибок в их технике. С помощью роботов спортсмены могут имитировать боевые ситуации, развивать свою реакцию и скорость, улучшать технику ударов и защиты, а также проводить детальный анализ своих движений для дальнейшего совершенствования. Эти инновационные подходы к тренировкам и анализу движений позволяют спортсменам достигать новых высот в своей спортивной карьере и повышать свой уровень профессионализма. Таким образом, современные технологии в области робототехники и интеллектуальных систем становятся неотъемлемой частью спортивного тренинга, обеспечивая спортсменам доступ к передовым методикам тренировок и анализа движений. Применение роботов в спорте не

только повышает эффективность тренировок, но и способствует развитию спортивных навыков и стратегий, помогая спортсменам достигать выдающихся результатов на соревнованиях и в своей профессиональной карьере.

Список литературы:

1. Dogramaci S.N., Yildirim B., Kiziloglu F.M. (2018). Application of Robotics in Sports Training: A Review. *International Journal of Science Culture and Sport*, 6(3), 47-55
2. O'Kane J.M. (2018). Robotics in Sports: A Review. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 25(2), 7-8.
3. Baca A., Dabnichki P., Heller M., Kornfeind P., Tschan H. (2019). Analysis of Robotic Systems for Sport Applications. *Procedia Manufacturing*, 38, 121-129.
4. Pehlivan A., Akcayol M.A., Yavuzer G., Erbahceci F., Ozel S.A. (2020). Robotic Technology in Sports: An Overview. *Journal of Sports Science & Medicine*, 19(1), 162-173.
5. Sánchez-Molina J., Pérez-Turpin J.A., Cortell-Tormo J.M., Chulvi-Medrano I., Hernández-Sánchez S. (2017). Application of Robotics in Sports Training: State of the Art and Future Challenges. *Journal of Human Sport and Exercise*, 12(1), 66-71.

© Савельев А. Д., 2024

УЛУЧШЕНИЕ КОРПУСА С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПЕЧАТИ ДЛЯ ДАТЧИКА МОНИТОРИНГА В СИСТЕМЕ МОБИЛЬНОЙ ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДООБРАЗОВАНИЯ

магистрант **Хамидуллин Ильдар Ниязович**,

магистрант **Маслов Савелий Юрьевич**,

науч. руководитель: доктор техн. наук, доцент **Иванов Дмитрий Алексеевич**,

Казанский государственный энергетический университет,

г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. Данное исследование фокусируется на улучшении корпуса для датчика мониторинга высоковольтных линий электропередачи (ВЛЭП), который входит в состав системы мобильной плавки гололедообразования, и сравнение его с предыдущей версией.

Ключевые слова: мониторинг, корпус датчика, система мобильной плавки гололедообразования, ВЛЭП.

MODERNIZATION OF THE HOUSING FOR THE MONITORING SENSOR IN THE SYSTEM OF MOBILE ICE MELTING

Master Student **Khamidullin Ildar Niyazovich**,

Master Student **Maslov Saveliy Yurevich**,

Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor

Ivanov Dmitriy Alekseevich,

Kazan State Power Engineering University,

Kazan, Russian Federation

Abstract. This study focuses on improving the housing for the high voltage transmission line monitoring sensor (HLEP), which is part of the mobile ice melting system, and comparing it with the previous version.

Keywords: monitoring, sensor housing, mobile icing melting system, high voltage power lines.

В результате активного развития технического и технологического прогресса, электрическая энергия стала широко используется во всех областях человеческой деятельности. Производство этой энергии осуществляется на специализированных станциях с различными принципами работы, но передача всегда осуществляется через высоковольтные линии электропередачи. Одной из основных проблем для электrorаспределительного комплекса является контроль состояния линий для предотвращения возможных сбоев в подаче электроэнергии и аварий. Проблемы и аварии часто возникают осенью и зимой из-за образования гололеда на поверхности проводов, что может привести к опасным ситуациям.

Одним из решений является использование системы мобильной плавки гололеда, которая анализирует состояние линии и в случае отклонения от нормы может предотвратить образование гололеда, предупреждая аварийные ситуации [1]. Система включает специализированный датчик, который собирает данные о токе в проводе, его температуре, окружающей среде и угле провиса. Ниже приведена старая версия датчика данной системы (см. рис. 1).



Рисунок 1 – Датчик состояния ВЛЭП

Однако, корпус текущего датчика имеет значительные размеры и вес, что может повлиять на угол натяжения провода, а также затрудняет его монтаж и демонтаж. Производство этого датчика требует значительных затрат времени и усилий. Корпус состоит из стеклоткани и эпоксидной смолы. Эпоксидная смола долго высыхает, а также во время сушки может начать кипеть и это может повлиять на герметичность корпуса датчика. Поэтому возникла необходимость в разработке нового конструктивного решения, которое было бы лишено вышеупомянутых проблем [2].

Эта проблема была решена с применением технологии 3D печати. В результате удалось значительно уменьшить размеры и вес датчика (см. рис. 2), а также разработать специальную установку, в целях упрощения его монтажа и снятия с высоковольтной линии. Очевидным преимуществом этого конструктивного решения является простота производства, возможность использования готовых моделей и доступная цена. Таким образом изготовление корпусов становится конвейерным, за счет чего уменьшается количество брака и увеличивается качество готового изделия. Однако есть и недостатки: деталь может быть хрупкой, требуется наличие 3D принтера, а время печати одного корпуса составляет 48 часов [3].



Рисунок 2 – Новая версия датчика состояния ВЛЭП

Новый корпус решает ряд проблем, связанных с производством, повторяемостью и герметичностью датчика, а также частично решает проблемы, связанные с установкой и демонтажем датчика на ВЛЭП.

Для дальнейшего усовершенствования нового корпуса датчика состояния высоковольтной линии электропередачи, разработанного с использованием технологии 3D печати, планируются следующие шаги:

1. Оптимизация конструкции. Проведение дополнительных исследований с целью оптимизации формы и структуры корпуса датчика для улучшения его прочности, устойчивости к воздействию окружающей среды и упрощения процесса монтажа и демонтажа.

2. Тестирование на прочность. Проведение испытаний нового корпуса на прочность и устойчивость к механическим воздействиям (удары, вибрации), а также к экстремальным условиям окружающей среды (высокие и низкие температуры, влажность) для проверки его надежности.

3. Улучшение материалов. Исследование возможности использования более прочных и долговечных материалов для изготовления корпуса датчика с целью повышения его долговечности и стабильности работы.

4. Разработка специализированных моделей. Создание различных моделей корпуса датчика для адаптации к различным типам высоковольтных линий электропередачи и условиям их эксплуатации.

5. Интеграция новых функций. Разработка возможности интеграции дополнительных функций в новый корпус датчика, таких как системы мониторинга, связи и автоматического управления для повышения его эффективности [4, 5]

Дальнейшее совершенствование нового корпуса датчика состояния высоковольтной линии электропередачи позволит повысить его надежность, функциональность и удобство использования, что, в свою очередь, способствует более эффективному контролю состояния линий электропередачи и предотвращению возможных аварийных ситуаций.

Список литературы:

1. Ярославский Д. А., Садыков М. Ф., Конов А. Б., Иванов Д. А., Горячев М. П., Ямбаева Т. Г. Методика мониторинга гололедных отложений на проводах ВЛ с учетом разрегулировки линейной арматуры // Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2017. – № 5-6. – С.
2. Международная молодежная научная конференция «Тинчуринские чтения-2020 «Энергетика и цифровая трансформация». В 3 т. Т. 1. Электроэнергетика и электроника: матер. конф. (Казань, 28–29 апреля 2020 г.) / под общ. ред. ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2020. – 636 с.
3. Стороженко Д. Ю., Рыжков А. В. Совершенствование методики применения устройств встроенной диагностики контактной сети // Известия Транссиба. – 2016. – № 4. – С.
4. Большанин Г.А., Плотников М.П., Шевченко М.А. Экспериментальное определение параметров трёхпроводной ЛЭП // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2019. – № 21 (4). – С. 85-94.
5. Ярославский Д. А., Садыков М. Ф. Разработка устройства для системы мониторинга и количественного контроля гололёдообразования на воздушных линиях электропередачи // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2017. – 19 (3-4). – С. 69-79.

© Хамидуллин И. Н., Маслов С. Ю., 2024

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО СРАВНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

аспирант **Ермолович Владимир Сергеевич**,
профессор **Шпенст Вадим Анатольевич**,
Санкт-Петербургский горный университет,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассмотрены основные критерии выбора ветроэнергетических установок. На основе метода многокритериального сравнения параметров построена модель, позволяющая осуществлять выбор ветряной турбины с наилучшими характеристиками. Исследование работы модели было произведено на примере рассмотрения двух потенциальных площадок размещения морских ветроустановок в Калининградской области.

Ключевые слова: ветроэнергетическая установка, ветроэнергетическая станция, оптимизация, метод многокритериального сравнения параметров, выбор установки.

APPLICATION OF THE MULTI-CRITERIA PARAMETER COMPARISON METHOD TO SELECT THE OPTIMAL WIND TURBINE

Graduate Student **Ermolovich Vladimir Sergeevich**,
Professor **Shpenst Vadim Anatolievich**,
Saint Petersburg Mining University
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. The article considers the main criteria for the selection of wind turbines. Based on the method of multi-criteria comparison of parameters, a model is constructed that allows the selection of a wind turbine with the best characteristics. The study of the model was carried out using the example of considering two potential sites for offshore wind turbines in the Kaliningrad region.

Keywords: wind turbine, wind power plant, optimization, method of multi-criteria comparison, selection unit.

С увеличением использования ветроэнергетики возникает все более острая проблема выбора наиболее подходящей ветроэнергетической установки (ВЭУ) для конкретных условий. Подбор ветровой турбины нужно проводить с учетом местных ветроэнергетических возможностей, экономической выгоды и надежности [1]. Одновременно с этим рынок предлагает большое разнообразие типов ветроустановок от разных производителей, что усложняет выбор. Для оптимизации работы ветроэлектростанций необходимо правильно подбирать оборудование и максимально эффективно использовать энергию ветра [2].

Долгое время исследования по выбору ветряных турбин было, в основном, сосредоточены на технических и экономических аспектах. На начальном этапе многие исследователи использовали несколько отдельных критериев для оценки. Например, коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) [3], нормированная стоимость электроэнергии [4], функция распределения Вейбулла [5] и другие. Поскольку на выбор ветроэнергетической установки влияет множество факторов, упомянутые методы, ограниченные одним показателем, не могут объективно, точно и всесторонне оценить преимущества и недостатки при выборе ветряных турбин.

Выбор оптимальной ветроэнергетической установки, учитывая все необходимые критерии, может быть осуществлен через применение метода иерархического анализа (МАИ). Разработанный Томасом Саати в 1980 году, метод иерархического анализа считается надежным инструментом для принятия решений. Применение данного метода включает три основных этапа [6]:

- представление сложных проблем в виде иерархии целей, альтернатив и критериев их оценки;
- взаимное сравнение критериев оценки на каждом шаге иерархии;
- построение матрицы принятия решений.

В данной работе метод МАИ будет использоваться для выбора наилучшей турбины для потенциального ветропарка морского базирования в Калининградской области, путем сравнения предложенных альтернативных вариантов [7]. Еще в 2008 году Российская Федерация в рамках сотрудничества со странами Балтийского моря участвовала в проекте TACIS 2006/214-473 «Перспективы развития морской ветроэнергетики в акваториях Литвы, Польши и России». Одним из результатов работ данной программы стало определение потенциальных морских площадок, пригодных для размещения оффшорных ветроустановок, в том числе и на территории Калининградского региона. Помимо определения границ ветроэнергетических станций (ВЭС), проектом были предложены четыре варианта ветряных турбин [8]. Основные технические параметры, требования, а также приблизительная оценочная стоимость рассматриваемых установок представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Основные параметры ветроэнергетических установок

Производитель	Nordex	Vestas	GE	REpower
Модель установки	N80	V90	GE 3.6 sl	M5
Мощность, кВт	2500	3000	3600	5000
Диаметр ротора, м	80	90	104	126
Высота ступицы, м	100	105	100	100
Ометаемая поверхность, м ²	5026	6362	8495	12469
Стоимость, €	3000000	3600000	4320000	6000000
Площадь эксплуатации турбины, км ²	0,448	0,567	0,757	1,111

Для успешного применения многокритериального анализа важно, с одной стороны, определить и изучить достаточное количество критериев, которые дадут репрезентативную и полную картину исследуемых альтернативных сценариев, а с другой – определить значимость критериев, которые будут рассмотрены в соответствии с их характеристиками [9].

Всего было выбрано пять индивидуальных критериев:

- Номинальная мощность ВЭУ – показатель, зависящий от типа выбранной установки;
- Максимальная мощность станции – данное значение определяется расстоянием между отдельными установками, а также зоной, выделенной под эксплуатацию ВЭС;
- Количество энергии в год – величина, показывающая, сколько энергии ветропарк произведет в реальных условиях;
- Инвестиции – стоимость проектирования ветряных станций, строительства, а также ввода в эксплуатацию. Решающий критерий в части экономического обоснования возведения ВЭС;
- Выбросы CO₂ – важный показатель, учитывающий экологические факторы строительства ветропарка.

Две альтернативные зоны размещения морских ВЭУ, выбранные для Калининградской области в ходе проекта TACIS, представлены на рисунке.

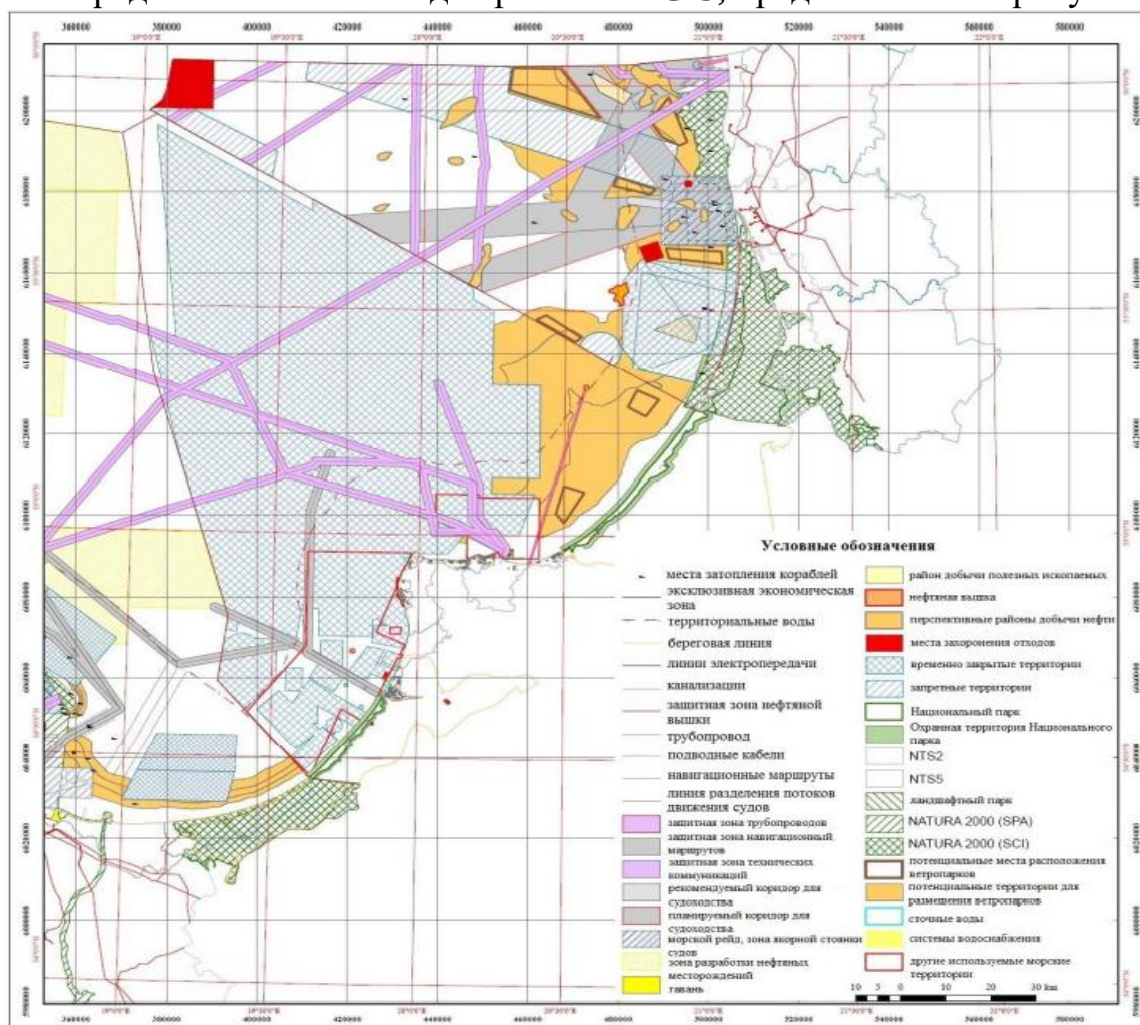


Рисунок – Карта размещения потенциальных морских ВЭС

На основе проанализированных отчетов о строительстве морских ветроэлектростанций были составлены базовые матрицы расчетных данных, которые необходимы для проведения многокритериального сравнения рассматриваемых агрегатов.

Основные сведения, необходимые для выбора модели ветроэнергетических установок на двух потенциальных площадках, приведены в таблицах 2, 3.

Таблица 2 – Значения параметров сравнения для выбора ВЭУ на площадке 1

Производитель	Nordex	Vestas	GE	REpower
Модель установки	N80	V90	GE 3.6 sl	M5
Единичная мощность турбины, МВт	2,5	3	3,6	5
Суммарная мощность станции, МВт	155	147	133,2	125
Среднегодовая выработка электроэнергии ветропарка, тыс. МВт*ч	521,356	521,431	484,246	475,896
Общая стоимость ветроустановок, млн €	391,2	361,2	322,91	290,47
Выбросы CO ₂	273,14	275,62	256,18	256,16

Таблица 3 – Значения параметров сравнения для выбора ВЭУ на площадке 2

Производитель	Nordex	Vestas	GE	REpower
Модель установки	N80	V90	GE 3.6 sl	M5
Единичная мощность турбины, МВт	2,5	3	3,6	5
Суммарная мощность станции, МВт	132,5	126	111,6	105
Среднегодовая выработка электроэнергии ветропарка, тыс. МВт*ч	494,985	493,386	446,91	439,02
Общая стоимость ветроустановок, млн €	334,41	309,6	270,54	243,99
Выбросы CO ₂ , т	233,49	235,94	214,63	215,17

Определение весовой значимости основных критериев выбора ВЭУ будет осуществляться по девятибалльной шкале в результате попарного сравнения. Так как получение максимальной годовой выработки электроэнергии является одной из важнейших задач при проектировании ветропарков, данный параметр был выбран в качестве наиболее приоритетного в сравнении с другими (табл. 4).

Таблица 4 – Результаты попарного сравнения основных критериев

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	Вес (w), %
X ₁	1	4	0,14	0,5	6	19,5
X ₂	4	1	0,2	0,333	4	8,6
X ₃	6	5	1	1	5	40,3
X ₄	1	0,5	1	1	6	26,4
X ₅	0,167	0,25	0,2	0,667	1	5,2

После определения весовой значимости каждого из критериев необходимо определить установку, имеющую наилучшие показатели. В связи с тем, что параметры сравниваемых ВЭУ имеют аддитивный и мультипликативный вид, то необходимо применить интеграцию полезности функций к единице [10]. Формула, применяемая для сравнительной оценки, будет иметь следующих вид:

$$K = \lambda \cdot \sum_{j=1}^n \bar{x}_j \cdot w + (1 - \lambda) \cdot \prod_{j=1}^n \bar{x}_j^{w_j}, \quad (1)$$

где λ – коэффициент, равный 0,5;

w – весовая значимость критерия.

Для критериев, которые должны иметь максимальное значение, $\bar{x}_j$ будет находиться, как:

$$\bar{x}_j = \frac{x_j}{\max x_j} \quad (2)$$

Для критериев, которые должны иметь минимальное значение,

$$\bar{x}_j = \frac{\min x_j}{x_j} \quad (3)$$

Результаты расчетов, произведенных по формуле (1), представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты мультикритериального анализа

Модель ветроустановки	Площадка 1		Площадка 2	
	Оценка полезности ВЭУ, К	Ранг	Оценка полезности ВЭУ, К	Ранг
Nordex N80	0,818	4	0,813	4
Vestas V90	0,854	3	0,848	3
GE 3.6 sl	0,875	2	0,864	2
REpower M5	0,964	1	0,935	1

Учитывая выбранные приоритетные показатели ветроэнергетических станций, результаты многокритериального сравнения параметров показали, что наилучшим вариантом ветроэнергетической установки для обеих площадок Калининградской области является модель REpower M5.

Вывод. Выбор ветроэнергетической установки является одним из важнейших процессов проектирования ветряных станций. Однако, быстрое развитие ветроэнергетической отрасли приводит к значительному росту типов

ВЭУ, представленных на рынке. Для того чтобы дать всестороннюю оценку альтернативным установкам, в настоящей работе в качестве критериев сравнения были выбраны номинальная мощность турбин, максимальная мощность ВЭС, годовая выработка электроэнергии станцией, суммарные инвестиции, а также снижение выбросов углекислого газа. Одновременно с этим, на основе выбранных критериев, а также экспертной оценки была построена модель многокритериального сравнения параметров, с помощью которой были получены значения приоритетности параметров выбора оптимальной установки. Исследование работы модели производилось на примере потенциальных морских ВЭС, расположенных в Калининградской области, а также нескольких альтернативных вариантах ВЭУ, предложенных для рассматриваемых станций. В результате было выявлено, что наилучшей совокупной оценкой для исследуемых станций обладает установка REpower M5.

Список литературы:

1. Pang N., Nan M., Meng Q., Zhao S. (2021) Selection of Wind Turbine Based on Fuzzy Analytic Network Process: A Case Study in China. *Sustainability*, 13(4), 1-17.
2. Rehman S., Khan S.A. (2016) Fuzzy Logic Based Multi-Criteria Wind Turbine Selection Strategy – A Case Study of Qassim, Saudi Arabia. *Energies*, 9(11), 1-26.
3. Roberts K., Mahomed N. (2023) Hub height optimisation of commercial WTGs based on accurate wind resource analysis. *Wind engineering*, 46(1), 1-21.
4. Arias-Rosales A., Osorio-Gómez G. (2018) Wind turbine selection method based on the statistical analysis of nominal specifications for estimating the cost of energy. *Applied Energy*, 228, 980-998.
5. Kuczyński W., Wolniewicz K., Charun H. (2021) Analysis of the Wind Turbine Selection for the Given Wind Conditions. *Energies*, 14(22), 1-16.
6. Ossadnik W., Schinke S., Kaspar R.H. (2016) Group Aggregation Techniques for Analytic Hierarchy Process and Analytic Network Process: A Comparative Analysis. *Group Decision and Negotiation*, 25(2), 1-37.
7. Ермолович, В. С. Анализ тенденций развития мировой оффшорной энергетики и перспективы ее применения в калининградской области / В. С. Ермолович // Modern Science. – 2020. – № 7 (1). – С. 402-409.
8. Программа соседства Литвы, Польши и Калининградской области РФ. Проект 2006/122 «Перспективы развития морской ветроэнергетики в акваториях Литвы, Польши и Калининградской области» [сайт]: <http://corpi.ku.lt/power/> (дата обращения: 01.04.2024).
9. Шпенст, В. А. Использование метода нечеткого анализа иерархии для выбора оптимальной ветроэнергетической установки / В. А. Шпенст, В. С. Ермолович – Текст: непосредственный // Известия Тульского государственного университета – 2023. – № 12 – С. 368-374.
10. Zavadskas E. K., Turskis Z., Antucheviciene J., Zakarevičius A. (2012) Optimization of Weighted Aggregated Sum Product Assessment. *Elektronika ir Elektrotechnika*, 122(6), 1-5.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЕДЕНИЯ УЧЕТА НА ЗАВОДЕ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ПОЛИМЕРНОЙ УПАКОВКИ

студент **Романюк Анна Сергеевна**,
канд. экон. наук, доцент **Яхонтова Ирина Михайловна**,
Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина
г. Краснодар, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассматривается актуальность автоматизации ведения учета на любом предприятии, отмечается необходимость проведения анализа бизнес-процессов деятельности предприятия для определения решений по поставленной задаче, а также приведен пример решения автоматизации на основе завода полимерной упаковки, где применяются не только программные продукты, но и устройства.

Ключевые слова: автоматизация, информационная система, 1С ERP 2.0, бизнес-процесс, входные данные, выходные данные, ИТ-проект.

AUTOMATION OF ACCOUNTING AT A POLYMER PACKAGING PLANT

Student **Romanyuk Anna Sergeevna**,
PhD in Economy, Associate Professor **Yakhontova Irina Mikhailovna**,
Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin,
Krasnodar, Russian Federation

Abstract. This paper discusses the relevance of automation of accounting in any enterprise, notes the need to analyze the business processes of the enterprise to determine solutions for the task, and also provides an example of an automation solution based on a polymer packaging plant, where not only software products but also devices are used.

Keywords: automation, information system, 1С ERP 2.0, business process, input data, output data, IT-project.

На любом предприятии, будь это производственное, строительное, торговое или любого другого вида деятельности, необходимо вести учет входных и выходных данных протекающих бизнес-процессов. Особенно важно тщательно вести учет на первых этапах развития предприятия, т. к. от этого зависит дальнейшая его судьба: либо он быстро обанкротится в связи с постоянной нехваткой ресурсов по причине их недочета, либо предприятие будет постепенно набирать обороты, а вместе с этим сформируется система ведения учета. Однако фиксирование данных может осуществляться ручным способом: только на бумажной основе, либо на бумажной основе и в Microsoft Excel, либо автоматизированным способом. Для эффективного ведения бизнеса

необходимо использовать информационные системы, в которые закладываются автоматизированные операции, в том числе и по ведению учета, и тем самым человек освобождается от выполнения некоторых действий, исключается человеческий фактор, способствующий возникновению различных ошибок [1]. В данной статье проблемой исследования выступает ведение учета ручным способом на предприятии, и в качестве примера решения данной проблемы является автоматизация ведения учета на заводе X по производству полимерной упаковки.

Сразу можно сказать, что для эффективного управления ресурсами производственного предприятия необходимо внедрить ERP-систему, но для определения ее функционала помимо стандартного, в первую очередь, нужно провести анализ протекающих бизнес-процессов, выявить входные, выходные данные [2]. Ниже, на рисунке 1, представлена TOP-диаграмма, наглядно показывающая взаимодействие завода с внешней средой.

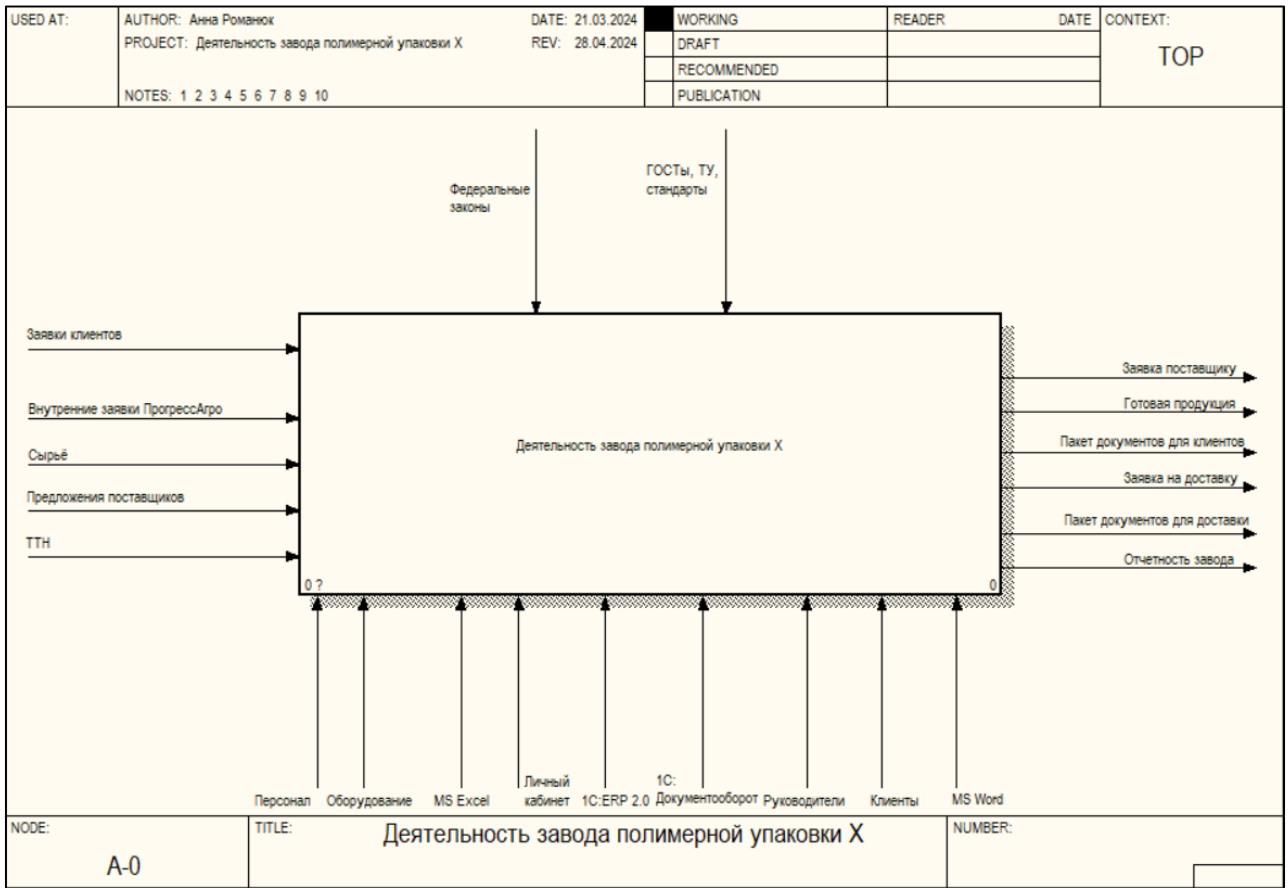


Рисунок 1 – TOP-диаграмма завода

Основные бизнес-процессы (рис. 2) протекают в следующих отделах: снабжение (закупка сырья, взаимодействие с клиентом), производство (производство продукции), склад (хранение сырья и готовой продукции), лаборатория (контроль качества и производства продукции).

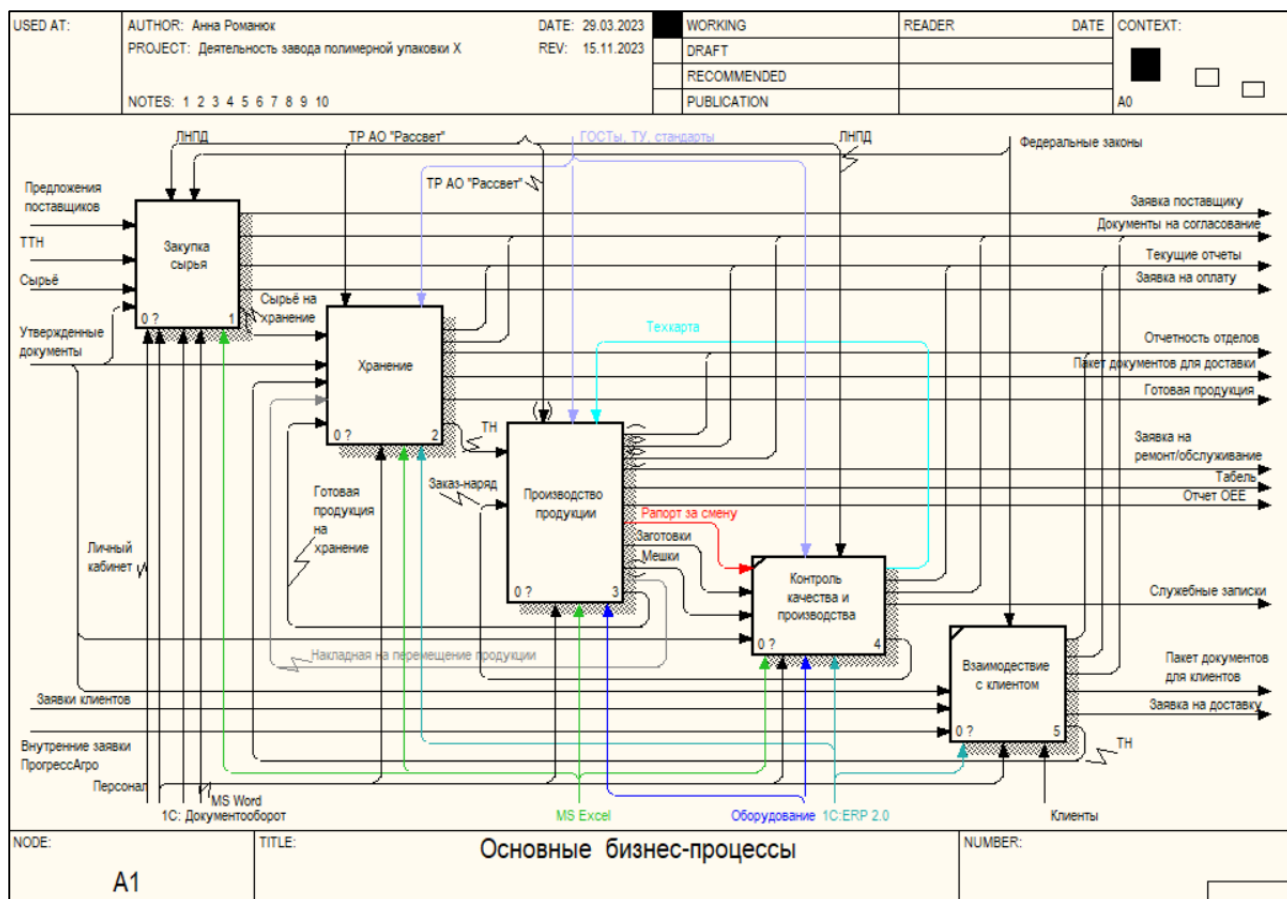


Рисунок 2 – Декомпозиция основных бизнес-процессов

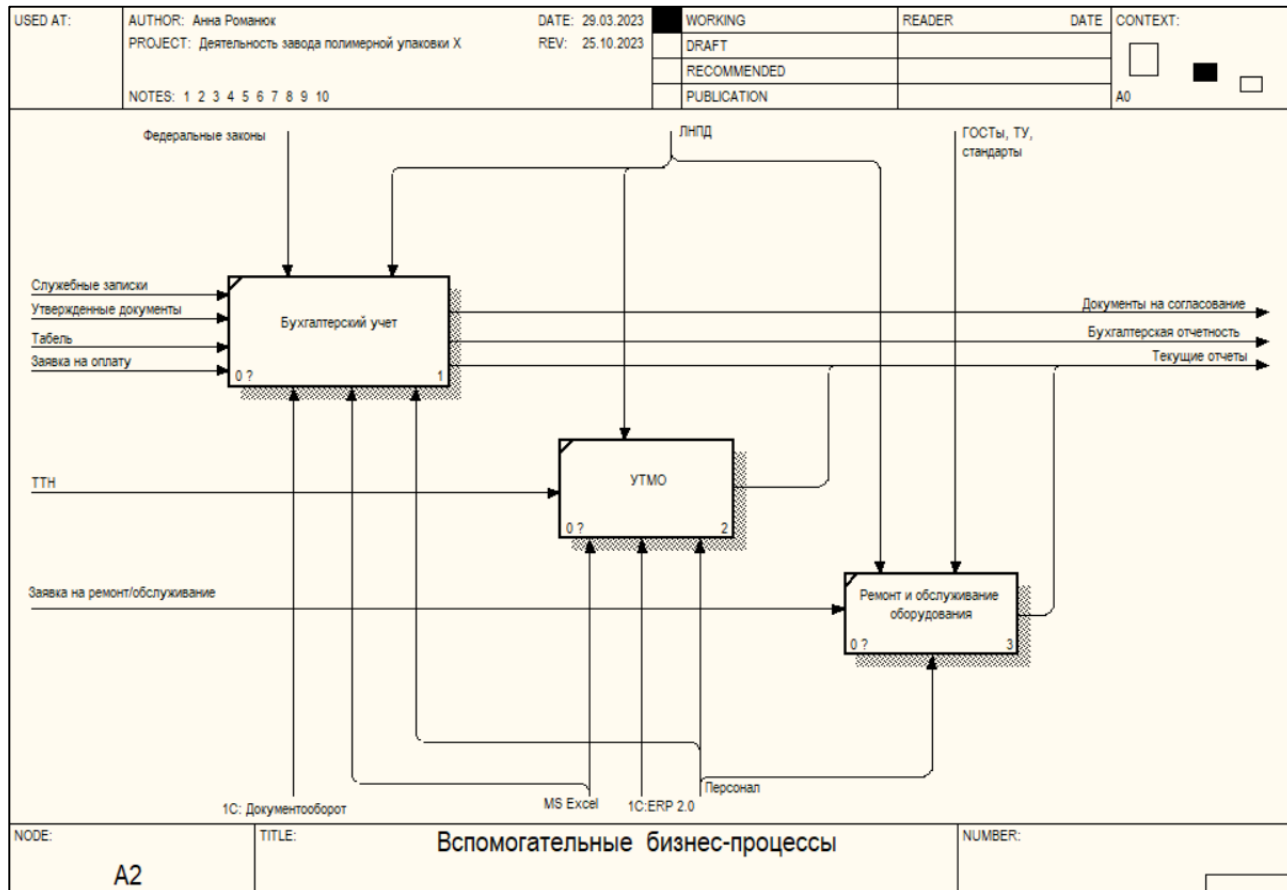


Рисунок 3 – Декомпозиция вспомогательных бизнес-процессов

За вспомогательные бизнес-процессы (рис. 3) отвечают такие отделы, как бухгалтерия (бухгалтерский учет), снабжение (управление материально-техническим обеспечением (УТМО)), а также отдел главного механика (ремонт и обслуживание оборудования).

Бизнес-процессы управления выполняются директором завода либо его заместителем.

В отличие от других отделов в производственном отделе ведение учета сложнее, т. к. необходимо вести его непрерывно на всех этапах производства: точно подсчитывать количество использованного ресурса, годных и бракованных заготовок полимерной упаковки, годной и бракованной готовой продукции. Неточный подсчет ранее указанных пунктов способен повлечь за собой дополнительные траты. Схематично все этапы производства можно представить в виде свернутой BPMN-диаграммы, их всего 7 (рис. 4) [3]. На каждом участке есть персонал с определенными обязанностями.



Рисунок 4 – Декомпозиция вспомогательных бизнес-процессов

На первых двух этапах сотрудники отмечают количество использованного сырья, полученных полипропиленовых ниток, полипропиленового рукава в определенных единицах измерения [4]. Что касается этапов, выделенных в оранжевый цвет на рисунке 4, то здесь ведется поштучный подсчет годных и бракованных заготовок полимерной упаковки, годной и бракованной готовой продукции, а также на этих участках человеческий фактор больше всего дает о себе знать. Поэтому для автоматизации ведения учета предлагаются следующие решения:

1. Внедрение 1С ERP 2.0 (как уже ранее говорилось).
2. Внедрение разработанной под производство конфигурации 1С PDM 4 (PLM), которая будет позволять следить за всем жизненным циклом производства полимерной упаковки [5].
3. На выделенных оранжевым цветом участках установить на производственное оборудование сканеры, которые будут, сканируя заготовки или готовую продукцию, их подсчитывать.
4. Разработать и внедрить систему штрихкодирования, чтобы сканеры смогли выполнять свою функцию [6].
5. Интегрировать сканеры и информационную систему через драйверы «1С: Сканеры штрихкода» для моментальной передачи информации со сканера в информационную систему.
6. Для быстрого входа персонала по наступлении начала смены в свои личные кабинеты в 1С ERP 2.0 и выхода из них внедрить личные карточки сотрудников, которые они будут сканировать.
7. Установка промышленных компьютеров для возможности взаимодействия персонала с информационной системой через интерфейс.

Ниже представлена контекстная диаграмма, наглядно показывающая взаимодействие сотрудников завода с внедряемыми решениями (рис. 5).



Рисунок 5 – Контекстная диаграмма 1С ERP 2.0

В случае реализации вышеперечисленных решений необходимо их более детальное описание, например, структура необходимой базы данных как в информационной системе, так и в конфигурации, какая система штрихкодирования лучше подойдет, и другие пункты. Для ликвидации неосвещенных вопросов необходима помощь бизнес-аналитика, системного аналитика, а т. к. реализация автоматизации какого-либо процесса на предприятии является ИТ-проектом, то без присутствия project менеджера не обойтись.

Автоматизация процесса на предприятии позволяет повысить эффективность ведения бизнеса, экономить ресурсы на текущие вопросы и вкладывать их в реализацию возможно новых стратегических направлений развития предприятия.

Список литературы:

1. Яхонтова, И. М. Информационные системы управления бизнесом: учеб. пособие / И. М. Яхонтова, К. А. Ковалева. – Краснодар: КубГАУ, 2019. – 120 с. – Текст : непосредственный.
2. Барановская, Т. П. Теория систем и системный анализ: учебник/Т.П. Барановская, А.Е. Вострокнутов, Э.В. Кузьмина. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – 351 с. – Текст : непосредственный.
3. Производство оборудования и бумажных мешков // Мешкодел. – URL: <https://www.meshkodel.ru/?yclid=6317304727254597631> (дата обращения: 25.04.2024).

4. Производство полимерной упаковки // Армекс 1С Центр Разработки. – URL: <https://1cpoly.ru/example-calculations/production-plastic-packaging/> (дата обращения: 24.04.2024).
5. 1С:PDM Управление инженерными данными 4 (PLM) – выпуск нового продукта // Бизнес Эксперт. – URL: <https://www.profit1s.ru/o-kompani/novosti/1s-pdm-upravlenie-inzhenernymi-danymi-4-plm-vypusk-novogo-produkta.html> (дата обращения: 25.04.2024).
6. Штрихкодирование в производстве // Garant Центр сертификации. – URL: <https://cs-garant.ru/blog/shtrikhkodirowanie-v-proizvodstve/?ysclid=lvk17o2tdd777672474> (дата обращения: 25.04.2024).

© Романюк А. С., Яхонтова И. М., 2024

ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ ТЕРМОЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

канд. техн. наук, доцент **Злобин Владимир Германович**,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматривается сущность топливного цикла термоядерного реактора. Приведена практическая реализация реакций термоядерного синтеза. Особенности этих реакций позволили сделать вывод о перспективных реакторах.

Ключевые слова: термоядерный синтез, дейтерий, тритий, безнейтронная реакция, критерий Лоусона.

THE FUEL CYCLE OF A THERMONUCLEAR REACTOR

PhD in Technology, Associate Professor **Vladimir Zlobin Germanovich**,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

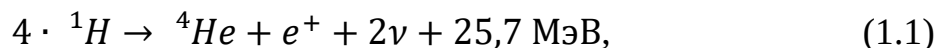
Abstract. The article examines the essence of the fuel cycle of a thermonuclear reactor. The practical implementation of thermonuclear fusion reactions is given. The features of these reactions allowed us to draw a conclusion about promising reactors.

Keywords: thermonuclear fusion, deuterium, tritium, neutron-free reaction, Lawson criterion.

Представим себе, что дешевое и экономически конкурентоспособное устройство для удержания реагирующей смеси разработано. Какие же природные ресурсы потребуются для термоядерной энергетики? Для того чтобы ответить на этот вопрос, нужно понять, как будет работать термоядерный реактор.

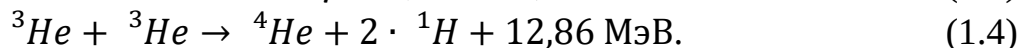
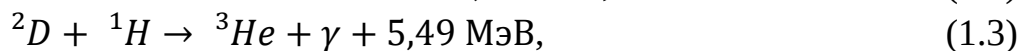
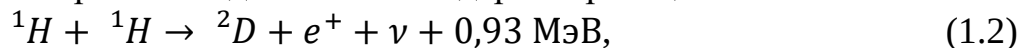
Реакции с участием протонов, играющие основную роль в процессах ядерного синтеза на Солнце и других гомогенных звездах, в земных условиях не представляют практического интереса, поскольку имеют слишком малое сечение.

Н-Н – реакция. Казалось бы, самой перспективной является следующая реакция ядерного синтеза:



в которой реагирует обычный водород (протий), а образуется α -частица, позитроны и выделяется тепло. И хотя на один атом гелия тут тепла выделяется в 7,5 раза меньше, чем на один атом урана при делении его ядра, но масса атома

гелия в 59 раз меньше массы атома урана. Поэтому «калорийность» водородного «топлива» в пересчете на килограмм вещества почти в 8 раз выше, чем уранового. Отметим, что подобная реакция в природе не существует. Она написана как сумма трех последовательных ядерных реакций:



Эту группу реакций называют водородным циклом и предполагают, что по такой цепочке реакций происходит превращение водорода в гелий в недрах большинства звезд, в том числе и Солнца. Первую из этих ядерных реакций в земных условиях никто никогда не наблюдал, даже на ускорителях со встречными пучками протонов. Но поскольку в природном водороде всегда имеются примеси дейтерия ${}^2\text{D}$, то такая реакция в звездах все-таки идет. Других путей для появления дейтерия в природе теоретики не видят.

D-T-реакция. Начнем с DT-реакторов, как наиболее легко осуществимых, и, затем, рассмотрим альтернативные виды топлива. Принципиальная схема термоядерного реактора, работающего на смеси дейтерия с тритием, представлена на рисунке 1.

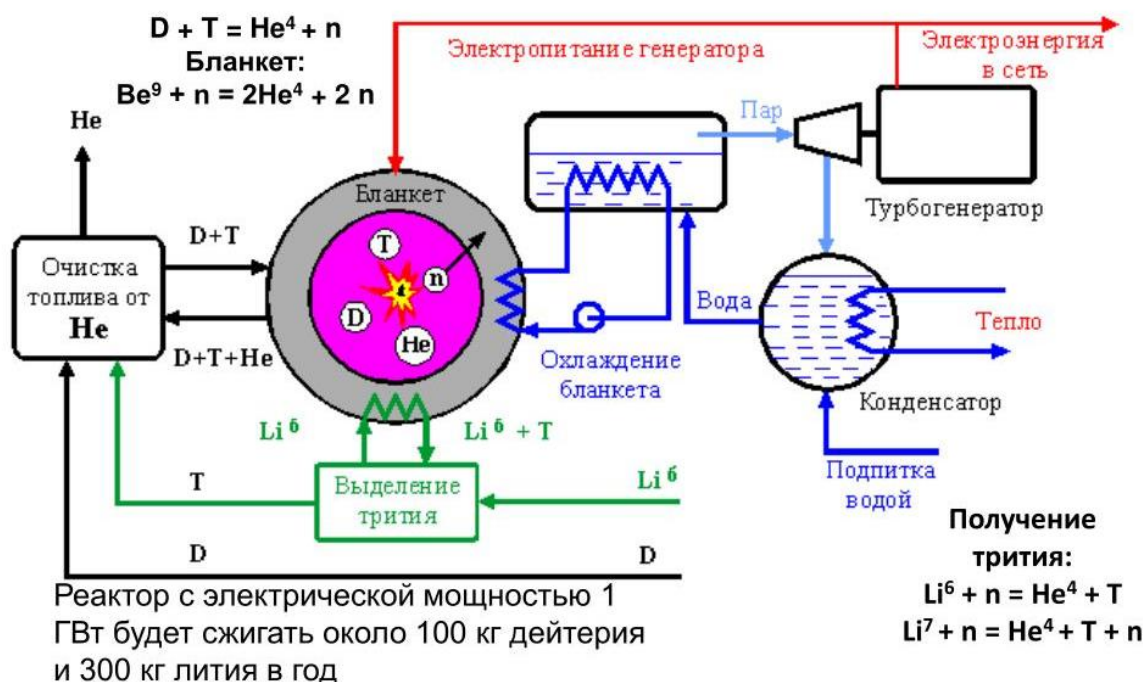
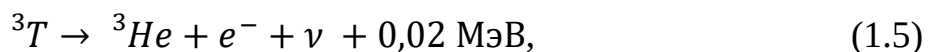


Рисунок – Схема основных технологических контуров термоядерного реактора, работающего на смеси дейтерия (D) и трития (T)

Реакция синтеза дейтерия и трития обладает относительно большим сечением и обеспечивает удельную теплотворную способность $3,5 \times 10^{11}$ Дж/г. Если осуществлять термоядерный синтез по DT-реакции, то нужен тритий [1]. А природных запасов его не существует, так как ядра трития со временем распадаются по реакции



с периодом полураспада 12,6 лет.

Тритий можно нарабатывать, облучая литий-6 потоками нейтронов от ядерного реактора:



При этом не только образуется тритий, но и выделяется энергия.

В будущем предполагают получать необходимые потоки нейтронов уже не от ядерных реакторов с ураном, а от термоядерных, то есть производить тритий там же, где он будет использоваться. Если окружить термоядерную камеру слоем 6Li (в природном литии его содержится 7 %), то можно осуществить полное воспроизводство расходуемого трития. И хотя на практике часть нейтронов неизбежно теряется, их потерю легко восполнить, вводя в оболочку такой элемент, как бериллий, ядро которого, при попадании в него одного быстрого нейтрона, испускает два. Энергия термоядерных реакций, происходящих в плазме, выносится в основном нейтронами, которые поглощаются в бланкете. Выделяемое в бланкете тепло снимается теплоносителем первого контура охлаждения и используется для получения электроэнергии. Реактор требует снабжения дейтерием и литием [2]. Тритий нарабатывается из лития в процессе работы реактора. Энергия термоядерных реакций выделяется в виде энергичных нейтронов (14,1 МэВ) и энергичных ионов гелия – альфа-частиц (3,5 МэВ), поглощается специальным устройством, окружающим плазму, – бланкетом и снимается теплоносителем первого контура охлаждения.

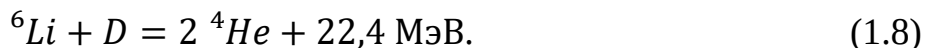
Первый из двух компонентов, участвующих в DT -реакции, дейтерий – это стабильный, широко распространенный изотоп водорода. Например, в обычной воде содержится, примерно, 0,015 % тяжелой воды D_2O . В отличие от дейтерия, тритий не существует в природе. Поэтому тритий будет нарабатываться в самом реакторе из изотопов лития, 6Li и 7Li , которые будут облучаться нейтронами в бланкете. Оба изотопа лития широко распространены в природе в процентном отношении ${}^6Li: {}^7Li = 7,5\%: 92,5\%$ и, как видно, оба способны производить тритий. В случае использования 6Li , в бланкете будет выделяться дополнительная энергия в количестве 4,8 МэВ на каждый произведенный атом трития. На практике в бланкете будет содержаться смесь изотопов лития и бериллий, который будет использоваться для размножения нейтронов в реакции



Содержание материалов в бланкете будет подобрано таким образом, чтобы оптимизировать выход трития.

Возможны разные схемы использования лития в бланкете. Один из вариантов использует окислы лития. Тритий удаляется из бланкета при его нагреве потоком горячего гелия, а потом извлекается из гелия в цехе по очистке топлива. Инженерные проработки бланкета показывают, что можно получить коэффициент воспроизводства трития на уровне 1,1, что представляется достаточным для снабжения реактора. Прорабатывались и другие схемы, которые используют жидкометаллический литий. В этом случае литий, помимо

наработки трития, может выполнять роль теплоносителя первого контура. На схеме, представленной на рисунке, литиевый цикл показан условно, в виде отдельного литиевого контура. Объединяя DT -реакцию с реакцией 6Li можно записать:



Таким образом, термоядерный реактор будет сжигать дейтерий и литий, а в результате реакций будет образовываться зола – инертный газ гелий.

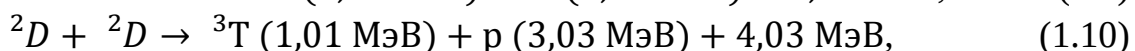
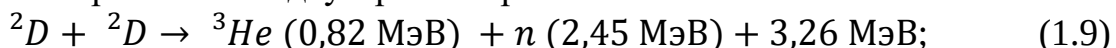
Термоядерный реактор будет потреблять очень небольшое количество лития и дейтерия. Например, реактор с электрической мощностью 1 ГВт будет сжигать около 100 кг дейтерия и 300 кг лития в год. Если предположить, что все термоядерные электростанции будут производить 5×10^{20} Дж в год, т. е. половину будущих потребностей электроэнергии, то общее годовое потребление дейтерия и лития составят всего 1500 и 4500 тонн. При таком потреблении содержащегося в воде дейтерия (0,015 %) хватит на то, чтобы снабжать человечество энергией в течение многих миллионов лет [3]. Если бы удалось освоить DD -реакцию, то термоядерная энергетика имела бы фактически неограниченные энергетические ресурсы. Для DT -цикла энергетические ресурсы ограничены имеющимися запасами лития. По оценкам экспертов разведанные рудные запасы лития составляют $8 \div 10 \times 10^6$ тонн.

Только этих запасов хватит на многие сотни лет. Кроме того, литий, хотя и в меньшем количестве, чем дейтерий, содержится в морской воде со средней концентрацией $1,7 \times 10^{-7}$ и общим количеством, превышающим примерно в 10^3 раз разведанные рудные запасы. Оценки показывают, что затраты на производство топлива для термоядерной энергетике дают малый вклад в стоимость производимой энергии.

Как уже отмечалось выше, термоядерная энергетика, по-видимому, начнет использовать DT -цикл, а затем перейдет к другим перспективным топливам, таким как DD , $D {}^3He$ или pB . Каждое из этих перспективных топлив имеет свои преимущества по отношению к DT -реакции.

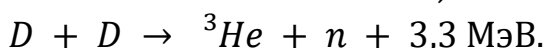
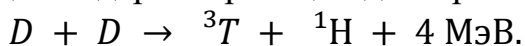
DD -реакция. В любом природном соединении водорода на 6800 атомов протия 1H приходится один атом дейтерия 2D (это 0,015 %). Дейтерий считается надеждой человечества в решении энергетической проблемы. Ведь технология выделения тяжелой (дейтериевой) воды из обычной достаточно хорошо отработана, а потому добыча дейтерия – не проблема, хоть и дорогое удовольствие. Его запасы в водах мирового океана практически безграничны.

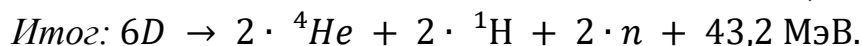
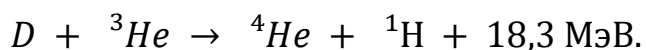
DD -реакцию можно считать практически осуществимой на Земле. Эта реакция может протекать по двум равновероятным каналам:



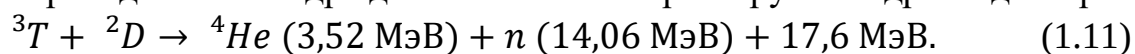
в результате которой начнется энерговыделение.

Замечание. Полный цикл ядерных реакций дейтериевого горения:





Во второй из этих реакций получается, правда, тритий, ${}^3\text{T}$, а не гелий, но и тритий пригодится: его ядра довольно активно реагируют с ядрами дейтерия:

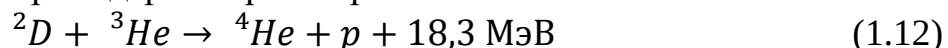


Оказалось, что последнюю реакцию наиболее легко зажечь в земных условиях (требуется нагреть смесь дейтерия с тритием «всего» до 100 миллионов градусов). Поэтому она и была осуществлена еще в начале 50-х годов в водородной бомбе, в которой требуемая для реакции температура создавалась взрывом атомной бомбы [4].

Основные преимущества *DD*-реакции заключаются в наличии огромных природных ресурсов дейтерия на Земле и отсутствии необходимости воспроизводства трития. Хотя в *DD*-реакции меньшая доля энергии выносится в виде нейтронов, тем не менее, в *DD*-реакторе, так же как и в *DT*-реакторе, будет происходить активация первой стенки.

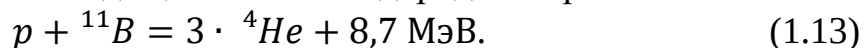
Еще меньше нейтронов производит *D* ${}^3\text{He}$ смесь, в которой нейтроны рождаются в результате *DD*-реакций.

D ${}^3\text{He}$ -реакция. Реакция (1.12) может быть использована для создания малорадиоактивного термоядерного реактора:



В *D* ${}^3\text{He}$ -реакции основную энергию несут заряженные продукты реакции, а нейтроны возникают лишь в *DD* и в *DT*-реакциях при выгорании рождающегося в *DD*-реакциях трития. Важно, что можно уменьшить в 50 раз его выход. В результате биологическая опасность термоядерного реактора может быть снижена на четыре-пять порядков величины по сравнению с ядерными реакторами деления, отпадет необходимость промышленной обработки радиоактивных материалов и их транспортировки, качественно упрощается захоронение радиоактивных отходов. Оптимизация состава смеси и ее температуры позволяет уменьшить нейтронный поток на порядок величины по сравнению с *DT*-реакцией, что существенно снижает требования к стойкости материалов первой стенки. *D* ${}^3\text{He}$ -реакция имеет относительно высокое сечение, но в то же время требует больших температур смеси. Недостатком этой реакции является практическое отсутствие ${}^3\text{He}$ на Земле, что делает освоение этой реакции в земных условиях практически безнадежным делом. В то же время этого изотопа много на поверхности Луны, и некоторые проекты, пользуясь тем, что потребление не велико, предлагают добывать это топливо на Луне и доставлять его на Землю. Этот цикл можно замкнуть энергетически даже с учетом энергии, затрачиваемой на доставку топлива, хотя сомнительно, что эта схема будет осуществлена в ближайшем обозримом будущем.

pB-реакция. Активация материалов реактора принципиально отсутствует в безнейтронной реакции, происходящей в смеси водорода с бором:



Все продукты этой реакции являются заряженными частицами, которые имеют очень малый пробег в твердом теле и могут удерживаться магнитными и электрическими полями. Последнее открывает принципиальную возможность создания низкоактивируемых реакторов и устранения низкоэффективного теплового цикла из производства электроэнергии. В случае pB -реакций электроэнергия, в принципе, может получаться с помощью прямого преобразования энергии заряженных частиц в электрическую энергию с КПД гораздо большим, чем в тепловом цикле. К сожалению, эти реакции имеют еще меньшие сечения, чем DD или $D\ ^3He$ -реакции, и требуют специальных условий для получения положительного выхода. Поэтому освоение полностью безнейтронных топлив дело далекого будущего [5].

Таким образом, будущие термоядерные реакторы имеют достаточные запасы топлива для обеспечения потребностей человечества в энергии в течение многих сотен лет, а в случае некоторых реакций и многих десятков тысяч лет. Термоядерная энергетика будет потреблять очень небольшое количество исходных материалов и не потребует развития широкомасштабного производства топлив. Сам топливный цикл будет использовать лишь малую часть производимой энергии, и, соответственно, топливная составляющая в цене электроэнергии будет незначительна. Как исходные составляющие рабочей смеси, так и конечные продукты реакций не являются радиоактивными веществами и не требуют длительного хранения. Эти обстоятельства выгодно отличают термоядерную энергетику как от обычных ядерных реакторов деления, так и электростанций, сжигающих органические топлива.

Основная проблема осуществления управляемого термоядерного синтеза заключается в создании практичного устройства, способного обеспечить выполнение условия Лоусона при достаточно высокой температуре смеси.

К настоящему времени сформировались два в значительной мере независимых подхода к решению проблемы управляемого термоядерного синтеза. Первый из них основан на возможности удержания и термоизоляции высокотемпературной плазмы относительно низкой плотности ($N \sim 10^{14} \div 10^{15} \text{ см}^{-3}$) магнитным полем специальной конфигурации в течение сравнительно длительного времени ($t \sim 1 \div 10 \text{ с}$). К таким системам относится «Токамак».

Другой путь импульсный. При импульсном подходе необходимо быстро нагреть и сжать малые порции вещества до таких температур и плотностей, при которых термоядерные реакции успевали бы эффективно протекать за время существования ничем не удерживаемой или, как говорят, инерциально удерживаемой плазмы. Оценки показывают, что, для того чтобы сжать вещество до плотностей $100 \div 1000 \text{ г/см}^3$ и нагреть его до температуры $T \sim 5 \div 10 \text{ кэВ}$, необходимо создать давление на поверхности сферической мишени $P \sim 5 \cdot 10^9 \text{ атм}$, то есть нужен источник, который позволял бы подвести к поверхности мишени энергию с плотностью мощности $q \sim 10 \div 15 \text{ Вт/см}^2$. Этот путь в настоящее время развивается с помощью лазерного термоядерного синтеза.

Список литературы:

1. Балошин, Ю. А. Заричняк, Ю. П. Успенская, М. В. Физические основы ядерной энергетики: учебное пособие. Часть II / Ю. А. Балошин, Ю. П. Заричняк, М. В. Успенская. – СПб: Университет ИТМО, 2015. – 88 с.
2. Левин В. Е. Ядерная физика. – Москва: Атомиздат, 1985.
3. Герасимов А. С., Зарицкая Т. С., Рудик А. П. Справочник по образованию нуклидов в ядерных реакторах. – Москва: Энергоатомиздат, 1989.
4. Сидоренко В. Д., Колобашкин В. М., Рубцов П. М., Ружанский П. А. Радиационные характеристики облученного ядерного топлива: справочник. – Москва: Энергоатомиздат, 1983.
5. Боуэн Г., Гиббонс Д. Радиоактивационный анализ. – Москва: Атомиздат, 1968.

© Злобин В. Г., 2024

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДЫ SIMIN TECH КАК ИНСТРУМЕНТА РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ В СИГНАЛЕ ВИДЕОПОТОКА

ассистент каф. АТПиП **Новикова Мария Андреевна**,
зав. каф. ПМИ, канд. техн. наук, доцент **Ремизова Ирина Викторовна**,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматривается построение системы распознавания образов, получаемых с видеопотока в среде моделирования SimIn Tech. Построена модель системы автоматического управления обнаружения образа из видеопотока с использованием шаблонного изображения. Полученные результаты моделирования показывают чувствительность полученной системы к качеству исходного изображения и необходимости последующей корректировки результатов.

Ключевые слова: техническое зрение, SimIn Tech, библиотека Видеообработка, беспилотные летательные аппараты.

USING THE SIMIN TECH ENVIRONMENT AS A TOOL FOR RECOGNIZING OBJECTS IN THE VIDEO STREAM SIGNAL

Assistant Department ATPiP **Novikova Mariya Andreevna**,
Head Department PMI, PhD in Technology, Associate Professor
Remizova Irina Viktorovna,
Higher School of Technology and Energy St. Petersburg State University of
Industrial Technology and Design,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. The article discusses the construction of an image recognition system obtained from a video stream in the SimIn Tech modeling environment. The model of automatic control system for image detection from video stream using template image is built. The obtained simulation results show the sensitivity of the resulting system to the quality of the original image and the need for subsequent correction of the results.

Keywords: technical vision, SimIn Tech, video processing library, unmanned aerial vehicles.

Техническое или компьютерное распознавание объектов активно используется для автоматизации различных процессов, позволяет снизить затраты, повысить производительность и качество, а также улучшить безопасность, точность и скорость обработки данных. Применение технологии «технического зрения» для распознавания образов беспилотных летательных

аппаратов является на данный момент актуальной и востребованной, чему способствует рост вычислительных мощностей компьютеров и графических карт.

Алгоритмы технического зрения используются для создания модели, которая по входному изображению создает некоторое описание: обнаружение и идентификацию объекта, его сопровождение и классификацию.

Основная задача при использовании данной технологии представляет собой процесс сопоставления эталонного изображения с полученным в сигнале видеопотока. Реализация практической задачи связана с трудностями идентификации требуемого объекта за счет искажения получаемого изображения в силу его динамичности, а также возникновения различных помех, таких, например, как плохая видимость или изменение светотени искомого объекта и пространства вокруг него, наложение одного объекта на другой и т. д. [1].

Системы технического зрения подразумевают наличие цифровой камеры, т. е. некоторого устройства, с помощью которого можно получить видеoinформацию, первичное изображение, кадр. Кадр – это массив, каждая точка массива содержит цвет. Цвет кодируется тремя значениями аддитивной цветовой модели RGB. Опираясь на цветную матрицу с камеры и получается видеоизображение. Далее посредством обработки полученной матрицы по определенному алгоритму выполняется анализ изображения, распознаются контуры искомого предмета.

Простейшей автоматической системой, определяющей и распознающей объект в сигнале видеопотока, является система автоматического управления (САУ) с использованием шаблонного изображения. Подобную систему можно реализовать с использованием библиотеки Видеообработка (ВО) в отечественной среде моделирования SimIn Tech [2].

SimIn Tech – это динамическая среда моделирования технических систем, предназначенная для расчетной проверки работы разрабатываемой системы управления технологическими процессами [3].

Реализация созданной модели САУ представлена на рисунке 1.

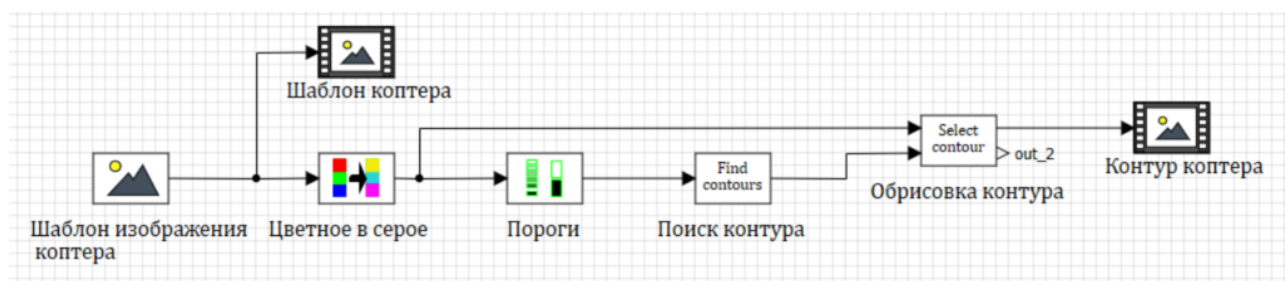


Рисунок 1 – Обнаружение контура объекта шаблонного изображения

В данной модели использованы блоки:

- ВО – Импорт файла с изображением;
- ВО – Цветовое преобразование;
- ВО – Пороговое преобразование;

- ВО – Детектор контуров;
- ВО – Выбор контура;
- ВО – Просмотр кадра.

В блок ВО – Импорт файла с изображением вставляется шаблон – изображение квадрокоптера. Первый блок просмотра кадра выводит в диалоговом окне изображение загруженного шаблона. Он используется исключительно для проверки загруженного файла.

Далее изображение преобразуется из цветовой схемы BGR (технология, использующая порядок цветов синий – зеленый – красный, так же как RGB-технология: красный – зеленый – синий. От порядка цветов зависит качество изображения и скорость обработки данных) в изображение в оттенках серого.

После этого происходит преобразование изображения в битовый сигнал. Это производится посредством блока ВО – Пороговое преобразование. В качестве порогов задаются минимальное пропускаемое значение оттенка и выходное значение оттенка при прохождении порога. Для детектирования образов в изображении, искомые объекты должны быть контрастны относительно фона. В данном примере цвет фона белый, а цвет объектов черный и серый. Маска объекта сформируется при пропуске серых и черных пикселей [4]. Данные значения свойств подбираются экспериментально с учетом особенностей изображения, что является весьма затруднительным.

Затем, с помощью блока ВО – Детектор контуров обнаруживается контур двоичного изображения. Полученные контуры закодированы с помощью цепного кода Фримена. Цепной код Фримена (Freeman Chain Code): метод компактного представления контуров объекта [5]. Цепной код применяется для представления границы объекта в виде последовательности соединенных отрезков прямых линий определенной длины и направления.

Далее, в блоке ВО – Выбор контура происходит обрисовка найденного на предыдущем этапе контура. В настройках данного блока необходимо задать цвет и толщину линии обводки.

И наконец, в блоке ВО – Просмотр кадра при запуске симуляции можно увидеть результат обнаружения контура (рис. 2).



Рисунок 2 – Распознанный контур шаблона объекта

Теперь можно создать систему распознавания объектов с видеопотока. Для этого на пространство моделирования следует добавить блоки:

- ВО – Импорт кадров из видеофайла;
- ВО – Детектор границ Кэнни (Граница (край) – резкий переход яркости, освещенности, цвета, глубины. Анализ границ – важная составляющая анализа особенностей изображения);
- ВО – Фильтр контуров по площади,

и скопировать все остальные блоки из предыдущей модели. В результате получится модель, представленная на рисунке 3.

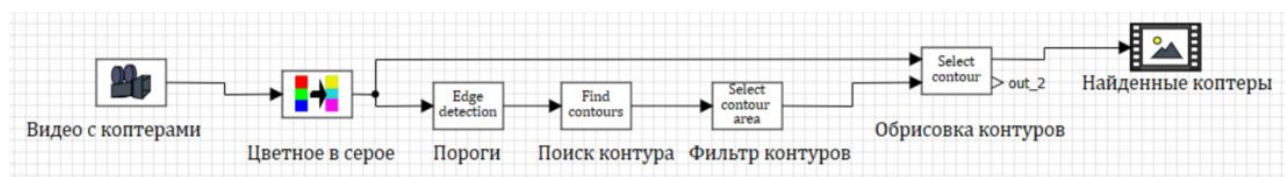


Рисунок 3 – Модифицированная модель системы распознавания образов

Эту же систему можно реализовать с прямой трансляцией видео с камеры. Для этого вместо ВО – Импорт кадров из видеофайла следует использовать ВО – Чтение изображения с видеокамеры. Все остальные блоки останутся теми же, хотя и могут требовать других настроек, в связи с изменением качества изображения.

В данном случае блок ВО – Детектор границ Кэнни выполняет аналогичную функцию блока ВО – Пороговое преобразование. В нем следует задать размеры матрицы пикселей скользящего окна встроенного оператора Собеля, необходимый для нахождения градиента границы контура [4]. Размер этой матрицы определяется путем проб и ошибок разработчика, и является весьма затруднительным.

Первый и второй пороги, которые также следует задать в данном блоке, используются для отсека неясных границ и уточнения контуров изображения с помощью функции гистерезиса. Если значение градиента краевого пикселя выше верхнего порогового значения, он помечается как сильный краевой пиксель. Если значение градиента краевого пикселя меньше верхнего порогового значения и больше нижнего порогового значения, он помечается как слабый краевой пиксель. Если значение градиента краевого пикселя меньше нижнего порогового значения, оно будет подавлено. При расчете градиента можно использовать более точную норму – нормировку градиента по амплитуде [4].

Настройки блока поиска контуров, подобранные для шаблонного изображения, следует применить для аналогичного блока данной системы.

После этого следует подобрать настройки для блока ВО – Фильтр контуров по площади. Данный блок используется для задания диапазона пропускаемых значений, чтобы удалить чересчур маленькие или чересчур большие обнаруженные контуры на изображении, но оставить контур беспилотника. Эти настройки также подбираются экспериментальным путем.

Настройки блока для обрисовки контуров можно скопировать из одноименного блока (ВО – Выбор контура), используемого для распознавания контура на шаблонном изображении.

На кадре из видео, представленного на рисунке 4, можно увидеть результат работы данного алгоритма.



Рисунок 4 – Результат распознавания квадрокоптеров из видеопотока

Как видно из рисунка, почти половина из беспилотных аппаратов не была распознана. Это связано с тем, что весьма затруднительным является подбор пороговых значений пропускаемых битов изображений, а также значений для фильтрации по площади (на кадре можно заметить, что самый крупный квадрокоптер системой не распознан, хотя при этом на нем выделены достаточно мелкие детали).

В данном случае система распознавания работает за счет контрастности объекта к фону. В подобном случае она может сработать на совершенно непохожий на беспилотник объект: птица, ветка, летающий пакет... И также может не сработать на беспилотник белого цвета или беспилотник на ночном небе.

Возможным решением данной проблемы может являться применение для анализа изображения сверточных нейронных сетей, которые будут обучены определению не только контрастности контура объекта к фону, но и запоминанию вида этого контура, и применение его для объектов разного цвета при различной освещенности.

Список литературы:

1. Мустаев, А. Ф. Использование технологии “Машинного зрения” для управления БПЛА / А. Ф. Мустаев // Вестник науки. – 2019. – Т. 5, № 12(21). – С. 195-198.
2. SimIn Tech: Справочная система SimIn Tech – О SimIn Tech [Электронный ресурс]. – URL: <http://help.simintech.ru/> (дата обращения: 25.04.2024).
3. Воропанова, М. А. Анализ популярных сред динамического моделирования систем / М. А. Воропанова, И. В. Ремизова // Энергетика и автоматизация в современном обществе: материалы ежегодной III Всероссийской научно-практической конференции обучающихся и преподавателей. В 3-х частях, Санкт-Петербург, 03 июня 2020 года / Под общей редакцией Т. Ю. Коротковой. Часть II. – Санкт-Петербург: Высшая школа технологии и энергетики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования “Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна”, 2020. – С. 44-48.
4. Распознавание и подсчёт объектов // SimIn Tech: Справочная система SimIn Tech [Электронный ресурс]. – URL: https://help.simintech.ru/index.html?q=/4_nachalo_raboty/laboratornye_raboty_organizacii/SimInTech/DAT_raspoznovanie_i_podschet_obektov.html (дата обращения: 25.04.2024).
5. ГОСТ Р ИСО/МЭК 19794-10-2010: Автоматическая идентификация. Идентификация биометрическая. Форматы обмена биометрическими данными. – Часть 10. Данные геометрии контура кисти руки. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200083325> (дата обращения: 25.04.2024).

© Новикова М. А., Ремизова И. В., 2024

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОМПОЗИЦИЕЙ БАСЕЙНА СМЕШАННОЙ МАССЫ НА КОНДОПОЖСКОМ ЦБК

студент **Москаленко Павел Анатольевич**,
науч. руководитель: заведующий кафедрой АТПиП
Ковалёв Дмитрий Александрович,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В данной работе описан проект модернизации системы управления смешанным массным бассейном на Кондопожском ЦБК с целью повышения скорости подготовки массы для последующих производственных процессов. Основное внимание уделяется анализу существующих неэффективностей и разработке комплексного технического решения для анализа данных в режиме реального времени и автоматической коррекции процессов. Предлагаемые технические решения подкрепляются конкретными моделями и описаниями оборудования, а также обсуждается ожидаемый экономический эффект от внедрения новой системы, включая увеличение производственных мощностей, сокращение простоев и улучшение рентабельности.

Ключевые слова: автоматизация, расходомеры, ультразвуковые датчики уровня, регулирующие клапаны, SCADA-система, Кондопожский ЦБК.

MODERNIZATION OF THE MANAGEMENT SYSTEM FOR THE COMPOSITION OF THE MIXED MASS POOL AT THE KONDOPOGA PPM

Student **Moskalenko Pavel Anatolievich**,
Academic Advisor: Head of the Department АТПiP
Kovalev Dmitry Aleksendrovich,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. This paper describes a project to modernize the mixed mass pool control system at the Kondopoga Pulp and Paper Mill in order to increase the speed of mass preparation for subsequent production processes. The main focus is on analyzing existing inefficiencies and developing a comprehensive technical solution for real-time data analysis and automatic process correction. The proposed technical solutions are supported by specific equipment models and descriptions, and the expected economic

benefits of implementing the new system are discussed, including increased production capacity, reduced downtime, and improved profitability.

Keywords: automation, flow meters, ultrasonic level sensors, control valves, SCADA system, Kondopoga Pulp and Paper Mill.

Целлюлозно-бумажный комбинат (ЦБК) Кондопожский является одним из ключевых предприятий в отрасли производства бумаги и картона. Один из важнейших аспектов его деятельности – это обеспечение высокого уровня очистки промышленных стоков, что является неотъемлемой частью экологически ответственного производства. Цех механической очистки на ЦБК играет в этом процессе центральную роль.

Цех механической очистки промышленных стоков необходим для удаления из воды твердых частиц, волокон, а также других механических загрязнений, которые могут негативно повлиять на качество конечной продукции и привести к износу оборудования. Эффективная работа этого цеха позволяет снизить нагрузку на последующие стадии очистки, тем самым повышая общую эффективность системы очистки стоков [1].

В цехе механической очистки применяются различные технологии, начиная от простых сетчатых фильтров и заканчивая более сложными установками, такими как флотационные устройства и гидроциклоны. В процессе очистки сначала происходит отделение крупных фракций отходов, которые могут быть легко уловлены сетками. Затем более мелкие частицы удаляются с помощью более тонкой фильтрации или флотации, где загрязнения отделяются путем прикрепления к пузырькам воздуха и поднимаются на поверхность для удаления.

Эффективность цеха механической очистки напрямую влияет на качество воды, которая возвращается в производственный цикл, и на степень ее воздействия на окружающую среду при сбросе. Поэтому важно не только поддерживать оборудование в исправном состоянии, но и регулярно обновлять технологический процесс с учетом последних достижений в области очистки сточных вод [2].

В современных условиях производства бумаги и картона повышение эффективности процессов является ключевым фактором конкурентоспособности предприятия. Кондопожский целлюлозно-бумажный комбинат (ЦБК), один из лидеров отрасли, стоит перед задачей модернизации системы управления композицией бассейна смешанной массы. Цель модернизации – оптимизация процесса подготовки массы для увеличения производственных мощностей в связи с установкой нового оборудования – декантеров.

На текущий момент в бассейн смешанной массы Кондопожского ЦБК поступают три вида осадка: из радиальных отстойников волокнопотока и щелокопотока, а также уплотненный осадок избыточного активного ила с флотатора. Смешение осадков происходит в определенных пропорциях, при этом содержание волокносодержащего осадка должно быть не менее 50 %.

Концентрация перемешанного осадка в бассейне поддерживается на уровне 2,9 %.

В нынешней конфигурации системы управления бассейном смешанной массы на Кондопожском ЦБК выявлен ряд недостатков, среди которых ключевым является замедленный темп подготовки массы. Это затруднение имеет прямое влияние на эффективность последующих производственных этапов, в частности, на работу новейших декантеров (рис. 1), введенных в эксплуатацию для повышения качества очистки и подготовки массы.

Декантер – это технологическое оборудование, используемое для разделения жидких и твердых компонентов в процессе производства целлюлозы и бумаги. Он представляет собой цилиндрический бак с коническим дном, в котором вращается специальный винтовой шнек. Под действием центробежной силы твердые частицы отделяются от жидкости и выделяются наружу через перфорированные стенки декантера. Очищенная жидкость сбрасывается через верхнюю часть декантера (рис.). Декантеры широко используются в производстве целлюлозы и бумаги для очистки различных жидкостей, таких как отходы бумажного производства, отходы сточных вод и другие жидкости, содержащие твердые частицы.

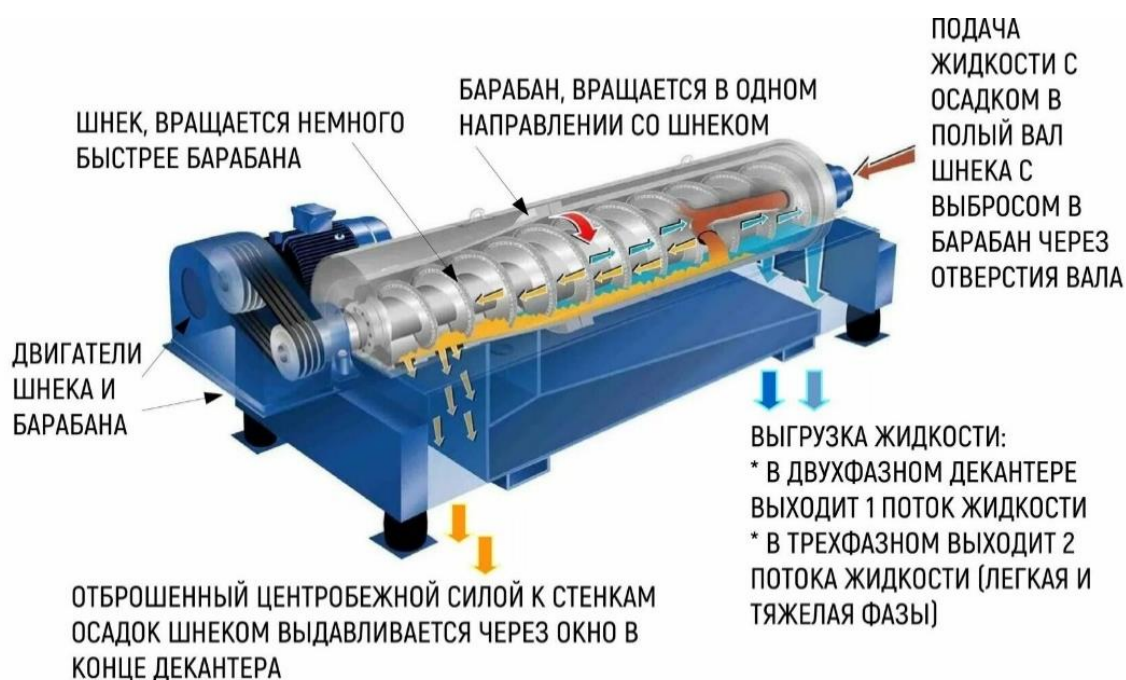


Рисунок – Декантерная центрифуга

Декантеры, являясь высокопроизводительным оборудованием, требуют к себе постоянного и стабильного подвода массы для эффективного отделения жидкости от твердых частиц. Однако текущая производительность системы накопления и подготовки массы не соответствует требуемым объемам, что приводит к периодическим простоям и, как следствие, к снижению общей производительности цеха [3].

Проблема усугубляется тем, что система управления бассейном не обладает необходимой гибкостью и адаптивностью для оперативного

реагирования на изменения в процессах производства. Отсутствие автоматизированной регулировки потоков массы, неспособность системы к масштабированию в условиях увеличения производственных мощностей, а также недостаточная точность измерительных устройств вносят свой вклад в снижение эффективности общего процесса.

Исходя из вышеописанного, для устранения выявленных недостатков и обеспечения непрерывной работы декантеров необходимо провести комплексную модернизацию системы управления бассейном смешанной массы, включающую в себя установку современного измерительного и регулирующего оборудования, а также внедрение интегрированного программного обеспечения для автоматизации процессов.

Основная цель модернизации – увеличение скорости набора массы в бассейне, что позволит ускорить процесс подготовки массы и увеличить объемы производства. Для достижения этой цели предлагается установка расходомеров на трубы, подающие осадок в бассейн. Это даст возможность точно контролировать и регулировать объемы поступающих осадков, оптимизируя тем самым процесс смешения и подготовки массы. Модернизация предполагает внедрение автоматизированной системы управления, которая будет включать в себя следующие элементы:

1. Для обеспечения точного мониторинга объемов поступающих осадков планируется установка Кориолисовых расходомеров Micro Motion серии ELITE от Emerson, которые выделяются высокой точностью измерения массового расхода и плотности даже в сложных условиях эксплуатации. Их встроенные диагностические функции позволяют своевременно выявлять и предотвращать потенциальные неполадки. Эти расходомеры могут быть интегрированы в систему управления процессом с использованием протоколов связи HART или Modbus, что обеспечивает надежную и бесперебойную передачу данных.

2. Внедрение ультразвуковых датчиков уровня Pulsarpoint 310 от Pulsar в систему управления бассейном смешанной массы позволит осуществлять непрерывный контроль за уровнем массы и предотвратит возможность ее переполнения. Эти датчики отличаются высокой надежностью и точностью измерения, а также устойчивостью к воздействию пыли и пара. Их интеграция с системой автоматизации дает возможность оперативно реагировать на изменения уровня массы и поддерживать его в оптимальном диапазоне [4].

3. Регулирующие клапаны Fisher Control Valves от Emerson будут использоваться для точной подачи осадка в бассейн. Эти клапаны заслужили признание на рынке благодаря своей надежности и точности регулирования потока, что критически важно для поддержания эффективности процессов. Они могут быть оснащены электрическими или пневматическими приводами и интегрированы с системой управления, что позволит автоматически регулировать потоки в соответствии с заданными параметрами.

4. Разрабатываемое программное обеспечение на базе SCADA-систем, таких как Wonderware или Siemens SIMATIC, будет служить для анализа данных, поступающих с датчиков, и автоматической корректировки процессов в реальном времени. Это ПО позволит не только визуализировать процессы, но и

собирают исторические данные, создавать отчеты, что существенно упростит процесс управления и повысит его прозрачность. Важным аспектом является возможность интеграции с существующей инфраструктурой комбината и возможность масштабирования системы.

5. Для оперативного реагирования на изменения в процессе будет обеспечена возможность дистанционного управления и мониторинга системы через индустриальные VPN-решения вроде Secomea или Ewon Flexy. Эти решения гарантируют безопасное подключение к системе управления, позволяя техническому персоналу осуществлять мониторинг и управление процессами с любой точки мира. Интеграция VPN-устройств обеспечит поддержку различных протоколов связи [5].

Внедрение данных технологий может привести к значительному положительному экономическому эффекту для предприятия. Экономия на операционных затратах достигается за счет уменьшения расхода сырья и химикатов, благодаря точному дозированию, оптимизации потребления энергии и сокращения затрат на обслуживание оборудования. Повышение производительности происходит через увеличение объемов выпускаемой продукции, снижение времени простоев и улучшение качества продукции, что может стимулировать рост спроса. Сокращение потерь материала и предотвращение аварийных ситуаций также способствуют экономии ресурсов и средств. Улучшенное управление производством обеспечивается за счет более точного планирования и распределения ресурсов, благодаря данным, получаемым от SCADA-систем, и улучшения принятия решений на основе доступа к актуальной информации. Сокращение капитальных затрат происходит за счет отсрочки необходимости в новых инвестициях в оборудование и оптимизации инвестиционных расходов. Помимо этого, улучшение качества продукции может позволить повысить цены и расширить рынок сбыта, что приведет к росту доходов. Для оценки общего экономического эффекта необходимо сравнить первоначальные инвестиции с долгосрочным снижением затрат и увеличением доходов, что поможет определить рентабельность инвестиций и срок окупаемости проекта. Модернизация системы управления композицией бассейна смешанной массы является важным шагом на пути повышения эффективности производственных процессов Кондопожского ЦБК. Благодаря внедрению современных технологий и автоматизации управления процессами, комбинат сможет не только увеличить производственные мощности, но и снизить операционные расходы, что, в свою очередь, укрепит его позиции на рынке целлюлозно-бумажной продукции [6].

Список литературы:

1. АО «Кондопожский ЦБК Традиции качества: [сайт]. – 2019. – URL: <https://aokcbk.ru> (дата обращения: 05.04.2024). – Текст : электронный.
2. Механические методы очистки сточных вод: [сайт]. – 2022. – URL: <https://dekaprof.ru/novosti-i-stati/mehanicheskaya-ochistka-stochnyh-vod/> 7 (дата обращения: 7.04.2024). – Текст : электронный.

3. Центрифуга-декантер для обезвоживания осадка сточных вод: [сайт]. – 2022. – URL: <https://stowater.com/katalog-oborudovaniya/modulnoe-oborudovanie/czentrif/> (дата обращения: 8.04.2024). –Текст: электронный.
4. Борисова, О. В. Автоматизация управления информационными системами / О. В. Борисова, А. Р. Зиннатуллин // Развитие науки и практики в глобально меняющемся мире в условиях рисков: сборник материалов XXV Международной научно-практической конференции, Москва, 30 января 2024 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство АЛЕФ", 2024. – С. 255-258. – EDN SERZBD. <https://elibrary.ru/item.asp?id=60233419>
5. Borisova, O. V. Research of approaches to the selection of equipment for automated control systems / O. V. Borisova, A. A. Chuchalov // Theory and practice of modern science: the view of youth: Proceeding of the III All-Russian Scientific and Practical Conference in English. In 2 parts, Saint-Petersburg, 30 ноября 2023 года. – Saint-Petersburg: Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, 2024. – P. 94-99. – EDN VOKQLT. <https://elibrary.ru/item.asp?id=60036779>
6. Проекты снижения затрат: описание альтернатив и расчет экономического эффекта: перспективы: [сайт]. – 2022. – URL: <https://www.alt-invest.ru/lib/proekty-snizheniya-zatrat/> (дата обращения: 9.04.2024). –Текст: электронный.

© Москаленко П. А., 2024

ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА: КЛЮЧ К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ ЧЕРЕЗ ДЕКАРБОНИЗАЦИЮ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

студент **Широнина Александра Михайловна**,
студент **Воронин Илья Павлович**,
науч. руководитель: доктор техн. наук, профессор
Ташлыков Олег Леонидович,
Уральский Федеральный Университет им. первого Президента России
Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Российская Федерация

Аннотация. В данном исследовании рассматривается проблема глобального потепления, вызванного значительными выбросами углекислого газа от тепловых электростанций. Анализируется потенциал атомной энергетики в реализации перехода к углеродной нейтральности с помощью АЭС с высоким КИУМ и реакторах на быстрых нейтронах. Проводится сравнение атомной энергетики с другими способами производства энергии.

Ключевые слова: АЭС, декарбонизация, альтернативные источники энергии, зеленая энергетика.

NUCLEAR ENERGY: THE KEY TO SOLVING THE PROBLEM OF GLOBAL WARMING IS THROUGH DECARBONIZATION OF ELECTRICITY SUPPLY

Student **Shironina Alexandra Mikhailovna**,
Student **Voronin Ilya Pavlovich**,
D.T.S., Professor **Tashlykov Oleg Leonidovich**,
Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,
Ekaterinburg, Russian Federation

Abstract. This study examines the problem of global warming caused by significant carbon dioxide emissions from thermal power plants. The potential of nuclear energy in the implementation of the transition to carbon neutrality using nuclear power plants with high KIUM and fast neutron reactors is analyzed. The comparison of nuclear energy with other methods of energy production is carried out.

Keywords: Nuclear power plants, decarbonization, alternative energy sources, green energy.

Мировой переход к низкоуглеродному развитию является ответом на изменение климата, вызванное в результате выбросов парниковых газов. Цель декарбонизации заключается в уменьшении или полном исключении этих

выбросов для минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Одним из результатов такого перехода будет снижение спроса на ископаемое топливо и наращивание роли возобновляемых и экологически чистых источников энергии.

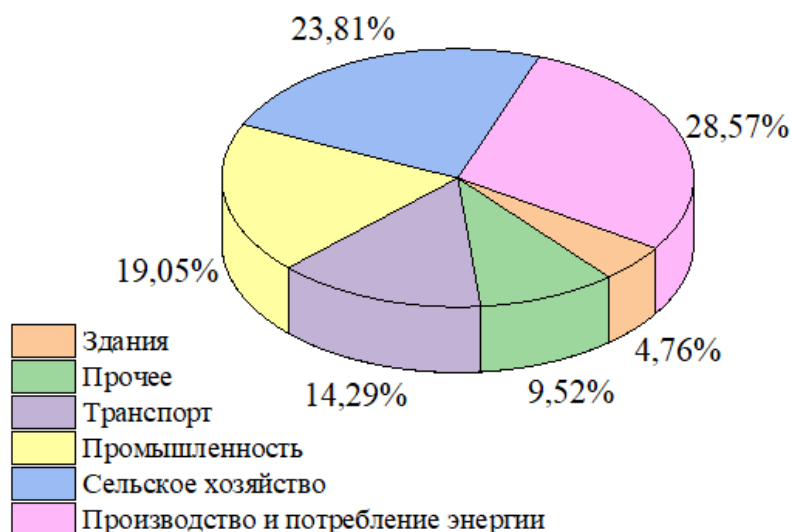


Рисунок 1 – Выбросы углерода в России по секторам экономики

Выбросы углекислого газа в энергетическом секторе в России значительны из-за использования ископаемого топлива, такого как уголь, нефть и природный газ (рис. 1). Россия является одним из крупнейших производителей и потребителей энергии в мире, поэтому уровень выбросов углекислого газа высок. В 2022 году выбросы углекислого газа от энергетики в России составили примерно 1,46 миллиарда метрических тонн CO_2 , что свидетельствует о снижении по сравнению с предыдущим годом [1].

Роль атомной энергетики в декарбонизации

Большая часть электроэнергии в мире производится за счет использования ископаемых топлив. Атомные электростанции, состоящие из нескольких энергоблоков, способны обеспечить от 3,5 до 8,2 ГВт энергии. В среднем каждая атомная электростанция вырабатывает около 5,3-5,4 ГВт, что достаточно для снабжения электроэнергией до 5 миллионов человек. При этом выбросы углекислого газа на атомных станциях невелики по сравнению с другими источниками энергии. Последние полвека использование атомной энергии смогло сократить глобальные выбросы CO_2 на приблизительно 74 Гт. Только гидроэнергетика играла более важную роль в сокращении выбросов в прошлые периоды.

Атомные электростанции с высоким коэффициентом использования мощности (КИУМ) способны обеспечить значительное сокращение выбросов CO_2 по сравнению с угольными и газовыми электростанциями, а также с другими безуглеродными источниками энергии. КИУМ – отношение количества фактически выработанной электроэнергии к тому количеству электроэнергии, которое было бы выработано, если бы электростанция работала с нагрузкой, соответствующей ее установленной мощности. В отличие от ветровой и

солнечной энергетики, производство электроэнергии на АЭС не подвержено влиянию изменчивых погодных условий. АЭС с КИУМ в 85 % могут сократить годовые выбросы CO_2 на 7,8 млн тонн при замещении угольных электростанций и на 2,8 млн тонн при замещении парогазовых электростанций. Для солнечных и ветряных электростанций эти показатели составляют примерно 1,5 и 2,5 млн тонн CO_2 соответственно при замещении угольных и 0,5 и 1 млн тонн при замещении парогазовых установок.

Атомная энергетика является надежным и важным источником электроэнергии, который важен для успешного смягчения последствий изменения климата для России и всего мирового сообщества в целом. Тем не менее около 11 % вырабатываемой в мире энергии приходится на АЭС [2]. Согласно анализу журнала «Перспективы развития мировой энергетики» Международного энергетического агентства, в ближайшие десятилетия ожидается значительный рост мощности атомных электростанций – с 417 гигаватт в 2022 году до 620 гигаватт к 2050 году [3]. В России атомная энергетика уже сегодня обеспечивает около 20 % энергетического баланса страны. Переход к низкоуглеродному развитию приведет к снижению спроса на ископаемое топливо и увеличению доли возобновляемых и зеленых источников энергии.

Современная атомная электростанция представляет собой ядерную установку, использующую ядерный реактор для производства электрической или тепловой энергии. На данный момент в России находятся в эксплуатации 3 типа реакторов: РБМК, ВВЭР и БН. Топливо для таких реакторов состоит из переработанного урана, плутония и потенциально тория вместо углеводородов. Тепло производится в результате ядерного деления внутри реактора, а не сжигания углеводородов.

Процесс ядерного деления обладает огромным энергетическим потенциалом и высвобождает примерно в миллион раз больше энергии, чем при сгорании. В классическом ядерном реакторе происходит цепная реакция деления изотопа урана ^{235}U . В естественной урановой руде доля этого изотопа составляет всего лишь 0,72 %. Для работы реактора эту долю повышают до 3-5 % на обогатительных заводах. После этого обогащенный уран превращается в порошок, из которого затем изготавливают специальные топливные таблетки.

Чтобы уран-238 участвовал в производстве энергии, нужны реакторы на быстрых нейтронах. Быстрые реакторы могут вовлечь в топливный цикл больше урана-238, содержание которого в отработавшем топливе составляет около 94 %. Сегодня большие запасы урана-238 хранятся на обогатительных заводах и пока мало используются. Как альтернативу, можно использовать плутоний, который образуется в обычных реакторах в количестве около 1 %. Быстрые нейтроны могут делить минорные актиниды, что избавляет от необходимости их длительного хранения.

Быстрые реакторы (БН) способны обеспечить расширенное воспроизводство ядерного топлива, то есть нарабатывать больше делящегося материала, чем расходуется исходного. Для повторного использования отработавшего ядерного топлива его перерабатывают, отделяют продукты деления, производят фабрикации нового топлива.

В настоящее время в России ведутся исследования по нескольким вариантам нового ЯТЦ для решения вопросов ОЯТ и более эффективного использования урана: крупномасштабное развитие АЭ на быстрых реакторах с рециклированием регенерированного урана и плутония [4]; так называемый цикл REMIX. Топливо REMIX изготавливается из неразделенной смеси рециклированных урана и плутония, получаемой при переработке ОЯТ реакторов ВВЭР (рис. 2).

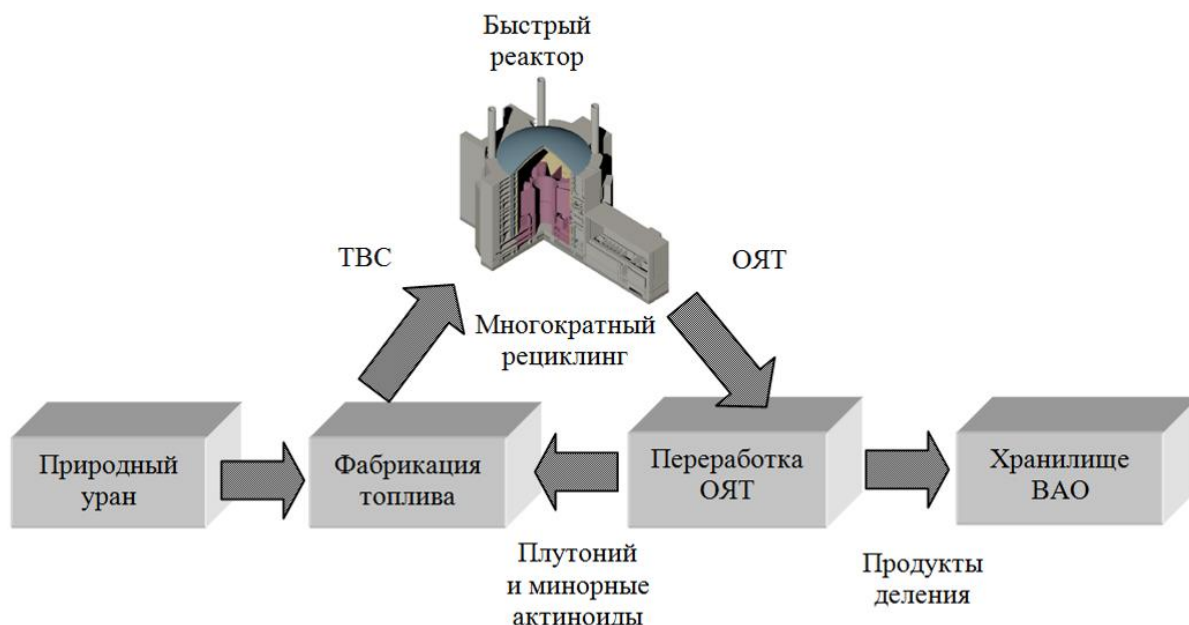


Рисунок 2 – Топливный цикл на основе быстрых реакторов

В России смешанное оксидное топливо для быстрых реакторов производят на горно-химическом комбинате в Красноярском крае. Это топливо уже используется на Белоярской атомной станции на реакторе БН-800, который с 2022 года полностью переведен на МОКС-топливо. В данный момент БН-800 является тестовой площадкой для концепции замкнутого топливного цикла, когда отработанное топливо одного реактора становится топливом для другого. Более совершенным реактором будет БН-1200М, который разрабатывается для Белоярской АЭС [5].

В последние годы вопрос декарбонизации энергетики в кратчайшие сроки становится все более актуальным. Строительство обычного энергоблока атомной электростанции – это процесс, занимающий минимум 5-10 лет и требующий вложения не менее 5-7 млрд долларов. В данный момент все больше внимания уделяется развитию так называемых атомных станций малой мощности (АСММ), или по западной классификации SMR (Small Modular Reactors) – малых модульных реакторов. Они отличаются высокой степенью заводской сборки оборудования в виде отдельных модулей.

Еще одной характерной чертой SMR является их мощность – станции проектируются с учетом электрической мощности до 300 МВт. Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) ведет каталогизацию проектов SMR. Если в обзоре 2011 года учитывалось 45 проектов, то в 2016 году число возросло

до 48, а в 2018 – до 56. Последний обзор 2020 года уже охватывает более 72 проектов, которые разрабатываются в разных странах индустрией, от крупных корпораций до небольших стартапов. Российские проекты составляют 17 из 72 обзореваемых.

Малые АЭС должны строиться намного быстрее, чем обычные АЭС, в среднем в течение 2-3 лет, благодаря заводскому изготовлению основного оборудования в виде модулей. Модульность проектирования позволит упростить и процесс эксплуатации, и утилизацию реакторов. Снижение удельных затрат и стоимости SMR относительно обычных АЭС достижимо благодаря модульности и серийному производству, однако эти данные потребуют дальнейшей проверки на практике. Малые АЭС обеспечивают увеличение уровня безопасности. Одна из наиболее опасных ситуаций для любой АЭС – потеря охлаждения реактора.

Многие малые станции рассчитаны на работу в отдаленных местах и спроектированы для более длительной работы без сложного обслуживания. Планируется использование более обогащенного уранового топлива – до 20 % по изотопу урана-235, что добавляет эффективности процессу. Станции малой мощности представляют собой оптимальное решение для стабильного и экологически чистого энергообеспечения потребителей на удаленных территориях и для замены устаревших электростанций с высокими выбросами CO₂. Эти станции имеют целый ряд преимуществ в сравнении с традиционными методами атомной генерации [6].

На сегодняшний день еще не существует полностью экологически чистых источников энергии. Солнечные панели, ветряки, гидроэнергетика и геотермальная энергия требуют существенных инвестиций в исследования и разработки для повышения эффективности и снижения затрат. Реализация этой цели скажется самым серьезным образом на экономике мира и России. Для того, чтобы энергия стала по-настоящему экологически чистой, необходимо минимизировать воздействие на окружающую среду. При строительстве электростанций используются ресурсы из недр земли, что влечет за собой определенный ущерб экологии.

При использовании атомных электростанций возникают потенциальные проблемы, такие как радиоактивное загрязнение, необходимость большого количества воды для охлаждения реакторов и управление радиоактивными отходами. Поэтому проектирование ядерных установок включает в себя создание множества барьеров безопасности для защиты людей и окружающей среды от выбросов радиоактивных веществ.

Хотя доля радиоактивного излучения от атомной энергетики составляет менее 0,1 % от общего радиационного воздействия на человека, крупные аварии на атомных станциях вызывают серьезные опасения по поводу безопасности эксплуатации таких объектов. Проведенные уроки и выводы из произошедших аварий и инцидентов учитываются при проектировании новых реакторов и в практике эксплуатации ядерных объектов, чтобы обеспечить безопасность людей и окружающей среды.

Однако атомная энергетика считается наиболее безопасной с точки зрения радиоактивных выбросов по сравнению с другими видами энергетики.

Наибольшее количество радиоактивных выбросов происходит именно при сжигании угля, содержащего значительное количество урана и тория. Процесс газификации органического материала угля приводит к накоплению минеральных компонентов в остатках сжигания. По всему миру столько угля сжигается, что это является основным источником радиоактивных выбросов в окружающую среду [7].

Энергетика играет важную роль в сокращении углеродного следа общества и может быть эффективным средством для борьбы с изменением климата. Атомные электростанции с высоким коэффициентом использования мощности способны оказать значительное воздействие на сокращение выбросов углекислого газа по сравнению с другими источниками энергии. Применение малых модульных реакторов и замкнутого ядерного топливного цикла могут существенно снизить выбросы CO₂.

Список литературы:

1. Ташлыков, О. Л. Экологическое прогнозирование в ядерной энергетике XXI века / О. Л. Ташлыков, С.Е. Щеклеин // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – 2015. – № 8-9 (172-173). – С. 50-58– Текст : непосредственный.
2. Ядерные энергетические реакторы, реакторные технологии: [сайт]. – 2023. – URL: <https://www.iaea.org/ru/temy/yadernye-energeticheskie-reaktory/> (дата обращения: 16.04.2024). – Текст : электронный.
3. Международное энергетическое агентство прогнозирует увеличение глобальной мощности атомной генерации с 417 ГВт до 620 ГВт в 2050 году: [сайт] – 2023. – URL: <https://www.atomic-energy.ru/news/2023/11/02/140161?ysclid=lvaj3rygt3734451921/> (дата обращения: 16.04.2024). – Текст : электронный.
4. Ташлыков, О. Л. Основы ядерной энергетики / О. Л. Ташлыков. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 225 с. – Текст : непосредственный.
5. Переработка ядерного топлива: [сайт]. – 2023. – URL: <https://e-plus.media/people/yadernyj-reaktor-novogo-tipa-budet-proizvodit-energiyu-dlya-lyudej-i-toplivo-dlya-sebya/> (дата обращения: 18.04.2024). – Текст : электронный.
6. АСММ на языке цифр: [сайт]. – 2024. – URL: https://atomicexpertnew.ru/asmm_in_the_language_of_numbers/ (дата обращения: 18.04.2024). – Текст : электронный.

© Широина А. М., Воронин И. П., 2024

**ИССЛЕДОВАНИЯ КАФЕДРЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ
ДЛЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой автоматизации
технологических процессов и производств
Ковалёв Дмитрий Александрович,
студент **Анищенко Лидия Сергеевна,**
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Выполнен обзор исследований кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств» для развития целлюлозно-бумажной промышленности. Проводится анализ деятельности кафедры с 1970 по 2000 годы и структурирование патентной и учебно-методической базы кафедры. Рассматриваются основные направления научных исследований, достижения и разработки в области автоматизации технологических процессов целлюлозно-бумажной промышленности.

Ключевые слова: патент, автоматизация технологических процессов, регенерационный цикл, целлюлозно-бумажная промышленность, содорегенерационный котел, кафедра.

**RESEARCH OF THE DEPARTMENT OF AUTOMATION
OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND PRODUCTIONS
FOR THE PULP AND PAPER INDUSTRY**

PhD in Technology, Head of the Department of Automation of Technological
Processes and Productions
Kovalev Dmitrii Alexandrovich,
Student **Anischenko Lidia Sergeevna,**
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. A review of the research of the Department of Automation of Technological Processes and Production for the development of the pulp and paper industry was completed. An analysis of the department's activities from 1970 to 2010 and the structuring of the department's patent and educational base are carried out. The main directions of scientific research, achievements and developments in the field of automation of technological processes in the pulp and paper industry are considered.

Keywords: patent, automation of technological processes, regeneration cycle, pulp and paper industry, soda recovery boiler, department.

Кафедра «Автоматизация производственных процессов» (АПП) была основана в 1960 г. (Приказ Министерства высшего и среднего образования РСФСР №196 от 04.03.1960 г.) и входила в состав механического факультета ЛТИ ЦБП.

Созданную кафедру АПП возглавил к.т.н., доцент Иван Степанович Подбелло, который заведовал кафедрой в период с 1960 по 1972 годы.

Под руководством И. С. Подбелло создаются учебные лаборатории технологических измерений и приборов, технических средств автоматизации, моделирования систем управления и проблемная научно-исследовательская лаборатория. Закладываются основы научной школы по моделированию технологических процессов целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) как объектов управления.

В период с 1973 по 1982 год кафедру возглавлял Иван Елизарович Вьюков. Под руководством И. Е. Вьюкова кафедра АПП фокусируется на научных исследованиях и разработке в области создания автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) в ЦБП.

В период с 1982 по 1985 годы кафедру АПП возглавляла выдающийся специалист в области информационно-измерительных систем и метрологии д.т.н., профессор Галина Анатольевна Кондрашкова.

В 1985 году механический факультет был разделен, в результате был образован факультет «Автоматизированных систем управления технологическими процессами».

В связи с образованием нового факультета АСУТП и возросшей потребностью в специалистах по автоматизации технологических процессов в разных отраслях промышленности, кафедра АПП разделилась на две кафедры в 1985 году:

- кафедру «Автоматизация химико-технологических процессов» под руководством д.т.н., профессора Г. А. Кондрашковой;
- кафедру «Автоматизация теплоэнергетических процессов», возглавил Валентин Алексеевич Доронин, который также стал первым деканом нового факультета АСУТП.

В период с 1985 по 2001 годы кафедра «Автоматизация теплоэнергетических процессов» под руководством В. А. Доронина успешно проводила научные исследования, связанные с циклом регенерации щелоков варки сульфатной целлюлозы.

В период с 2001 по 2017 годы кафедру возглавлял Валерий Николаевич Суриков – специалист в области оптимального управления технологическими процессами и производствами в ЦБП.

В 2008 году кафедра «Автоматизация теплоэнергетических процессов» была переименована в кафедру «Автоматизация технологических процессов и производств» (АТП и П) [1], что более отражает историческую преемственность, связанную с кафедрой АПП, и соответствует направлению подготовки 15.03.04.

С 2017 года кафедру АТПиП возглавил к.т.н., доцент Ковалёв Дмитрий Александрович.

В марте 2025 года кафедра АТПиП отметит свой 65-летний юбилей.

За прошедшие годы научные исследования кафедры были неразрывно связаны с ЦБП.

Авторами было проведено исследование по патентной деятельности ключевых сотрудников кафедры в период с 1970 по 2000 годы.

За указанный период коллективом кафедры было получено более 100 патентов, неразрывно связанных с ЦБП, в частности, с циклом регенерации щелоков сульфатной варки целлюлозы (рис.).

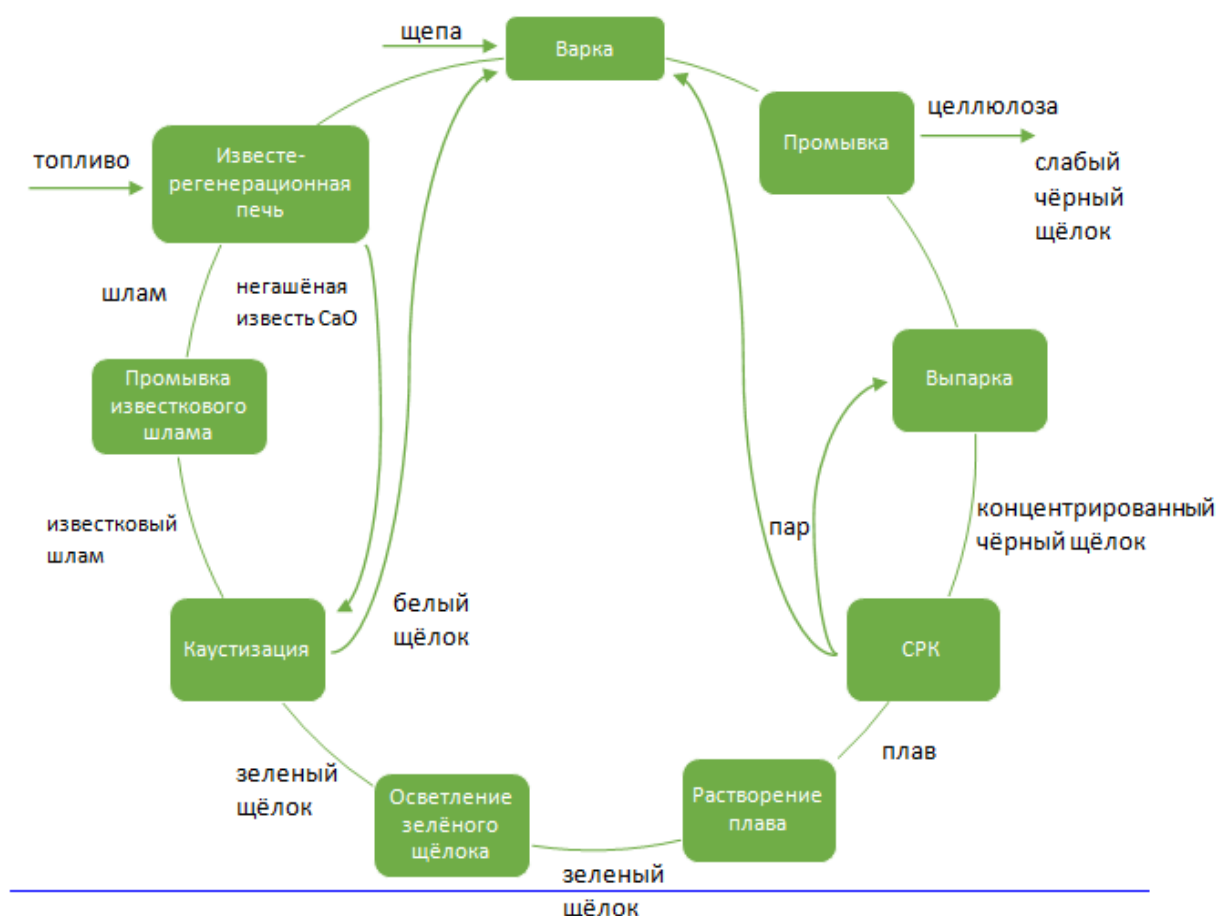


Рисунок – Схема регенерационного цикла щелоков сульфатной варки целлюлозы

Наибольшее количество патентов, связанных с ЦБП, за указанный период:

- Доронин Валентин Алексеевич – 46 патентов;
- Вьюков Борис Елизарович – 30 патентов;
- Пожитков Владимир Васильевич – 17 патентов;
- Буйлов Герман Павлович – 13 патентов;
- Соминин Михаил Алексеевич – 12 патентов;
- Щагина Марина Ивановна – 6 патентов.

Наибольшее количество патентов – по технологическим процессам и объектам ЦБП:

- содорегенерационные котлоагрегаты – 26 патентов;
- подготовка щепы – 17 патентов;
- картоноделательные машины и бумажное полотно – 15 патентов;
- растворение плава – 6 патентов;
- варка щепы – 2 патента;
- прочее – 39 патентов.

Для развития научных исследований кафедры АТПиП в дальнейшем планируется создание базы данных, которая будет включать в себя существующие разработки кафедры. Указанная база данных будет полезна как для сотрудников кафедры и ее аспирантов, так и для студентов, обучающихся по направлению подготовки 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств».

Список литературы:

1. Сайт кафедры Автоматизации технологических процессов и производств. – URL: https://gturp.spb.ru/?page_id=343

© Ковалёв Д. А., Анищенко Л. С., 2024

ПРЕДИКТИВНАЯ АНАЛИТИКА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ

канд. техн. наук, зав. каф. ИИТСУ **Сидельников Владимир Иванович**,
ассистент каф. ИИТСУ **Никешин Владислав Геннадьевич**,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В данной статье рассматривается возможность использования предиктивной аналитики в целях повышения эффективности производственных процессов. Существующие возможности получения больших объемов данных и способов их обработки позволяют прогнозировать поведение оборудования, снизить затраты на его ремонт, а также обеспечить оптимизацию технологических процессов на базе систем усовершенствованного управления (АРС). Приведены основные термины и примеры использования предиктивной аналитики в производственных процессах.

Ключевые слова: предиктивная аналитика, данные, производственные системы, модель, оптимизация, ремонт, управление.

PREDICTIVE ANALYTICS IN PRODUCTION PROCESSES

PhD in Technology, Head of IITSU Department
Vladimir Ivanovich Sidelnikov,
Assistant of IITSU Department **Vladislav Gennadievich Nikeshin**,
St. Petersburg University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. This article discusses the possibility of using predictive analytics to improve the efficiency of production processes. The existing possibilities of obtaining large amounts of data and methods of their processing allow to predict the behavior of equipment, reduce the cost of its repair, and provide optimization of technological processes on the basis of advanced control systems (APC). The basic terms and examples of using predictive analytics in production processes are given.

Keywords: machine learning, pulp bleaching, computer vision, neural network, automation, model, control.

Предиктивная аналитика (от английского Predictive analytics) – это предсказательная или прогнозная аналитика, которая включает в себя совокупность методов анализа данных (Big Data) и их интерпретаций, что

помогает на основе прошлых событий принять с большой точностью верное решение в будущем [1]. Это обеспечивается за счет нахождения среди данных таких параметров, которые оказывают влияние на другие параметры, лежащие в основе принятия решений, эта технология называется data mining.

В настоящее время данный подход находит применение в различных средах бизнеса, ритейлинге, маркетинге и клиентском анализе и, в том числе, в решении задач, связанных с производственными процессами и диагностикой.

Предиктивная аналитика позволяет минимизировать риски в промышленности, сокращает потери от простоя оборудования и затраты на его ремонт, решает задачи оптимизации производства.

Такие возможности появились с развитием технологии и цифровизации производства, увеличением количества устройств, которые могут генерировать новые данные, и возможностями их передачи по сети на сервер и в хранилище данных. Данные обрабатываются и хранятся в удобном для предиктивной аналитики виде с использованием технологии машинного обучения ML-алгоритмов [2, 3].

Машинное обучение – это специализированный способ, позволяющий обучать компьютеры, не прибегая к программированию (обучение младенца, который учится самостоятельно классифицировать объекты и события, определять взаимосвязь между ними). Важно перед сбором информации определиться с задачами и целевыми действиями, которые возможно преобразовать в рамках конкретной технологической задачи. Датчики отслеживают параметры технологического процесса и состояние оборудования. Системы предиктивной аналитики оценивают полученные данные и прогнозируют, например, какие детали выйдут из строя или оценивают изменение качества продукции.

Чтобы использовать эти данные, необходимо изменить процессы внутри организации таким образом, чтобы их сбор и накопление стали частью ежедневной работы. Это должно быть единой современной офисной системой вместо разрозненных таблиц на локальных компьютерах.

Для работы с данными используются различные решения: от классических баз данных до in memoгу технологий и платформ интернет вещей (IoT) для сбора данных с датчиков, а также ML-платформа (машинное обучение) для обучения и тестирования модели.

Согласно подсчетам, внедрение решений предсказания отказов промышленного оборудования может увеличить его срок службы на 20-40 % и сократить время простоя на 30-50 % [4]. Увеличивается прибыль за счет автоматизации рутины и оптимизации рабочих процессов, экономии на аварийном ремонте оборудования.

Методы предиктивной диагностики представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Методы предиктивной диагностики

На рисунке 2 представлен пример экономического эффекта от внедрения систем предиктивной диагностики.

Экономический эффект может быть основан на:

Сокращении времени внепланового останова

За счет более раннего выявления дефекта и выполнения подготовительных мероприятий с целью сократить остановочный ремонт

Сокращении потерь при переходе на резервное оборудование

Например, при переходе необходимо дополнительное заполнение емкостей. В случае, если емкости заполнены заранее, при переходе не наблюдается ухудшения качества

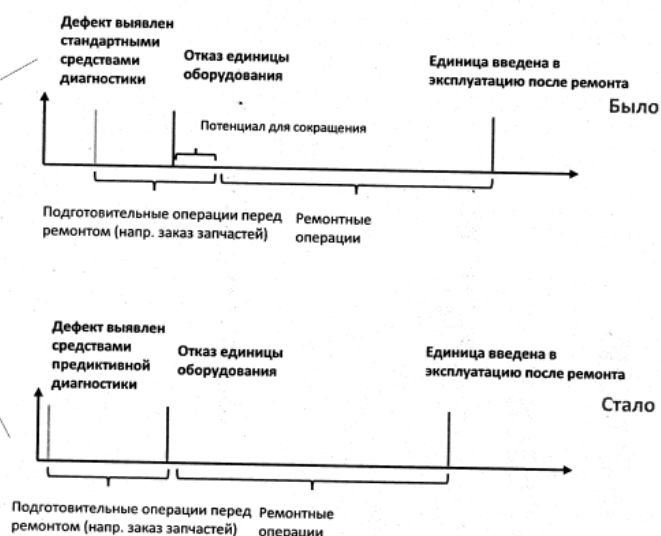


Рисунок 2 – Экономический эффект от внедрения систем предиктивной диагностики

Другой пример использования предиктивной аналитики связан с созданием систем усовершенствованного управления (APC-систем), где контрольное место отводится к разработке прогнозирующей модели (MPC) на основе обработки текущих данных о технологическом процессе.

Алгоритм MPC строится на динамической модели технологического процесса, содержащей взаимосвязи управляющих взаимодействий с регулируемыми параметрами.

Основная прибыль от реализации APC-систем обеспечивается за счет увеличения производительности, роста стабильности процессов, уменьшения производственных затрат и уменьшения времени перехода процессов.

Практика внедрения показывает, что срок окупаемости данных систем составляет от 3 до 6 месяцев.

Реализация идеи использования предиктивной аналитики включает в себя следующие этапы:

1. Данные из разнообразных источников в сыром виде агрегируют в data lake (хранилище данных) в естественном или обработанном виде.

Проверяют качество и «витрины данных» таблиц, из которых алгоритм берет статистику.

2. Затем нужно подобрать прогностическую модель (алгоритм) и признаки, которые они будут использовать в обучении. Модели уточняют имеющиеся данные и «доставляют» знания о неизвестных признаках. Это уменьшает объем данных. Важно сохранить ценные «инсайты», несмотря на обработки и сокращение объемов признаков. Подбор признаков и моделей – большая и важная работа [5].

Есть и автоматизированные подходы (AUTO ML), которые решают эту задачу, но для максимальной точности нужна помощь специалиста.

3. Этап эксперимента, на котором аналитики исследуют результаты, изучают процессы, распределение ошибок, важность признаков с точки зрения модели. Если подтверждена точность, то она внедряется для регулярного использования или встраивается в существующую систему управления.

Следует отметить, что предиктивная аналитика, как и вся работа с большими данными строится на статистике и гипотезах, у нее есть всегда погрешность.

Вероятность ошибки в алгоритмах во многом зависит от области применения аналитики.

Еще один очень важный момент – стоимость внедрения этого подхода.

Стоимость предиктивной аналитики зависит от того, что:

- требуется единый отчет или регулярное получение условий;
- получение продукта или сервиса. Есть ли функционал предиктивной аналитики или построение функций предиктивной аналитики с нуля внутри существующей системы;
- есть ли все необходимые данные или их надо получать?
- есть ли готовый вопрос, который может задать алгоритму, или вопрос надо найти с точки зрения создания системы и т. п.

Чтобы делать проекты с предиктивной аналитикой, в компании должна быть сформирована хоть какая-то культура данных, без наличия хороших данных прогнозы не построить. Если данных нет, то нужно начать с построения их сбора и хранения, и иметь данные хотя бы за два месяца, затем можно браться за предиктивную аналитику. Необходимо отметить, что если потребуется создавать структуру предсказательных сервисов с нуля, т. е. собрать данные, закупать серверы для их хранения, строить IoT-платформу, нанимать команду, то это может стоить больших денег. Высокий порог входа в индустрию Big Data (одной из самых закрытых областей IT), для которой потребуется специальная инфраструктура (дорогостоящие дефицитные специалисты) и огромный объем данных.

Конечно, могут быть использованы готовые аналитические серверы по подписке и подключение к уже проверенным сервисам по приемлемой цене. Однако это возможно лишь тогда, когда процессы и задачи между компаниями относительно унифицированы.

Стоимость также зависит от сложности аналитики и масштаба работ, потребности в кастомизированной проработке запроса. Например, для геоаналитики стоит будет от 7 тыс. руб. до нескольких десятков миллионов для долгосрочного доступа к платформе Geo Effekt, но практика показывает, что это экономически оправданно. Для предиктивной аналитики нужны два ресурса – люди и вычислительные мощности для обработки данных, но это очень перспективно.

Список литературы:

1. Михаил Черемохин. Предиктивная аналитика: 3 метода и системы / Михаил Черемохин [Электронный ресурс] // InScale: [сайт]. – URL: <https://inscale.ru/blog/prediktivnaya-analitika/> (дата обращения: 04.03.2024).
2. Никешин, В. Г., Сидельников, В. И. Тенденция развития адаптивного управления с предиктивной моделью как инструмента оптимизации современного производства / В. Г. Никешин, В. И. Сидельников [Текст] // IV Всесоюзный конгресс по сенсорике и экономике «Сенсорное слияние». – СПб: печатается по Решению Оргкомитета IV Всесоюзного Конгресса по сенсорике и экономике «Сенсорное Слияние-2023», 2023. – С. 182. ISBN 978-5-02-038183-4.
3. Патент RU (11) 2786934(13) С1. Способ предсказания выхода из строя оборудования сенсорных и беспроводных сетей на основе онтологии с применением машинного обучения. СПК Н04L 43/04 (2022.08). Автор(ы): Гребешков Александр Юрьевич (RU), Кузнецов Яков Михайлович (RU), Пашин Станислав Сергеевич (RU) Дата регистрации: 26.12.2022. Патентообладатель(и): Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (RU). Опубликовано: 26.12.2022 Бюл. № 36.
4. Елена Шпрингер. Как предиктивную аналитику уже сегодня применяют в промышленности и энергетике / Елена Шпрингер [Электронный ресурс] // Журнал VK Cloud об IT-бизнесе, технологиях и цифровой трансформации: [сайт]. – URL: <https://mcs.mail.ru/blog/prediktivnaya-analitika-v-promyshlennosti-i-energetike> (дата обращения: 06.03.2024).
5. Кувайскова, Ю. Е. Алгоритм прогнозирования технического состояния объекта с использованием моделей нечёткого логического вывода. [Текст] / Ю. Е. Кувайскова // Информационные технологии и нанотехнологии. – 2017. – С. 1778.

© Сидельников В. И., Никешин В. Г., 2024

ИДЕОЛОГИЯ «УЗКОГО ГОРЛЫШКА» НА ЦЕЛЛЮЛОЗНО- БУМАЖНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

ассистент каф. ИИТСУ **Никешин Владислав Геннадьевич**,
канд. техн. наук, зав. каф. ИИТСУ **Сидельников Владимир Иванович**,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Идеология узкого горлышка – это термин, который набирает обороты в сфере управления технологическими процессами, особенно в контексте производства бумаги. В данной статье рассматривается сущность данной идеологии и методология ее применения в области целлюлозно-бумажной промышленности на разных уровнях управления предприятием, приводятся примеры узких мест на производстве и предлагается решение для одного из примеров.

Ключевые слова: целлюлозно-бумажная промышленность, оптимизация, эффективность, производительность, автоматизация, ограничения.

THE IDEOLOGY OF THE “BOTTLENECK” IN THE PULP AND PAPER PRODUCTION

PhD in Technology, Head of IITSU Department
Vladimir Ivanovich Sidelnikov,
Assistant of IITSU Department **Vladislav Gennadievich Nikeshin**,
St. Petersburg University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. Bottleneck ideology is a term that is gaining momentum in the field of process control, especially in the context of papermaking. This paper discusses the essence of this ideology and the methodology of its application in the field of pulp and paper industry at different levels of enterprise management, gives examples of bottlenecks in production and proposes a solution for one of the examples.

Keywords: pulp and paper industry, optimization, efficiency, productivity, automation, constraints.

В 1980-х годах Эльяху Голдратт разработал методологию управления производством, которую можно использовать для любой сферы деятельности. Узкое место – это явление, при котором производительность или пропускная способность системы ограничена одним или несколькими компонентами или ресурсами.

Целлюлозно-бумажная промышленность является масштабным комплексом операций по механическому и химическому преобразованию исходного сырья в виде древесины в готовую продукцию, в виде большого числа наименований бумажных изделий, и поэтому сталкивается со значительной сложностью в управлении из-за многочисленных взаимосвязанных процессов и переменных [1].

На рисунке представлена упрощенная схема производства бумажной продукции.

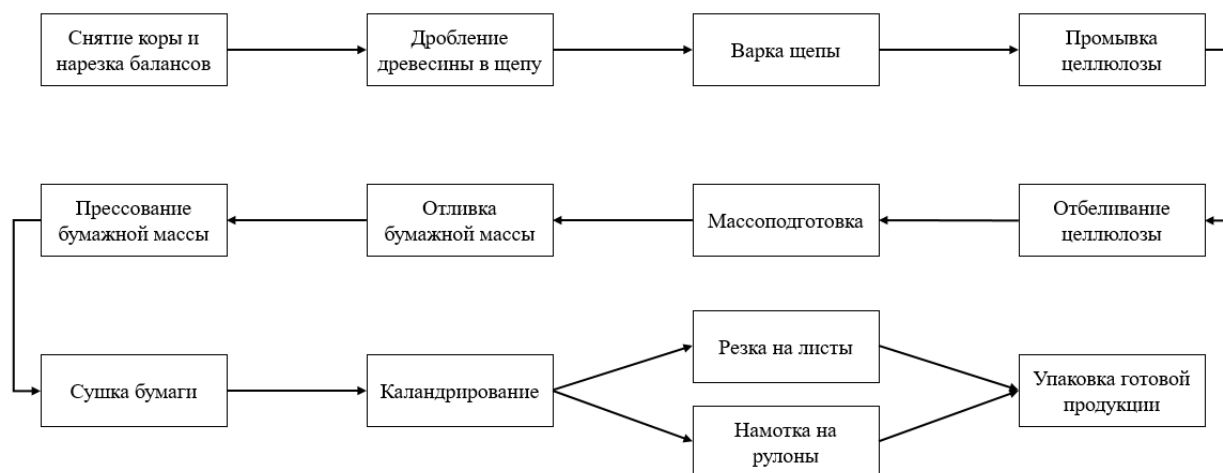


Рисунок – Упрощенная схема производства бумажной продукции

Данная промышленность характеризуется не только высоким потреблением различных видов ресурсов, сырья и энергии, но и требует большого количества рабочей силы для обслуживания крупного комбината и развитой инфраструктуры (железных дорог, портов), поэтому целлюлозно-бумажное производство (ЦБП) чаще всего является градообразующим предприятием, способным в будущем стимулировать местные рынки ресурсов и обеспечивать население рабочими местами и социальными услугами, такими как обеспечение отопления жилых помещений и спонсирование общественных мероприятий.

Идеология «узкого горлышка» в процессах производства бумаги заключается в улучшении эффективности и оптимизации всех этапов производства с целью увеличения производительности и снижения издержек. Это означает, что компания стремится сосредоточиться на основных производственных операциях, которые приносят наибольшую прибыль, и постоянно совершенствовать их для достижения лучших результатов. Кроме того, идеология узкого горлышка также максимально учитывает потребности клиентов и рыночные требования, чтобы обеспечить производство продукции, которая наиболее соответствует их ожиданиям и требованиям [2].

Данная идеология является основополагающей частью теории ограничений и может применяться на различных уровнях управления производством, начиная с полевого и заканчивая уровнем высшего менеджмента (стратегического планирования).

Теория ограничений – это управленческая парадигма, которая подчеркивает важность выявления наиболее значимого ограничивающего фактора в производственных процессах и предлагает инструменты для устранения «узких» мест [3].

Под определением узких мест на ЦБП подразумевается анализ производственных линий бумаги с использованием аналитических данных и наблюдений для выявления этапов, вызывающих задержки или обладающих низкой эффективностью.

Если рассматривать узкие места с позиции стратегического планирования и планирования ресурсов предприятия, то к ним можно отнести следующие проблемы.

1. Поставки древесины или полуфабрикатов, которые усложняются проблемами с логистикой и транспортировкой, сезонными колебаниями в поставках древесины, а также зависимостью от поставщиков не только отечественных, но и зарубежных.

2. Качество и объем сырья, узкими местами которого являются нестабильные объемы и колебания качества в зависимости от региона и сезона.

3. Энергопотребление предприятия в целом и каждого процесса в частности. В зависимости от состояния предприятия может наблюдаться нерациональный расход электроэнергии и применение оборудования с низкой энергоэффективностью.

4. Логистика готовой продукции к заказчикам, которая выражается в неэффективности транспортных маршрутов, что, в свою очередь, приводит к повышенному расходу топлива, и возможность повреждения товара при транспортировке.

5. Эффективность складов, выражающаяся в неэффективном управлении запасами и недостаточности размера складских помещений.

6. Надежность оборудования и наличие запасных частей для ремонта также является важной проблемой. Узкими местами в данном случае выступают частые поломки оборудования, которые приводят к останову производства и потери крупной части дохода, а также отсутствие или задержка в поставках запасных частей.

Например, на основании опроса руководства предприятий ЦБП в 2024 году узкой частью является острая нехватка квалифицированных кадров на целлюлозно-бумажных комбинатах. Даная проблема связана с множеством причин, среди которых смещение интересов поколений, конкуренция с другими более оплачиваемыми областями, географические ограничения, специфичность требуемых знаний и низкая вариативность учебных заведений, содержащих специализированные программы для ЦБП. Поэтому предприятиям приходится проводить профориентационную работу начиная с детских садов и школ [4].

В основе идеологии «узкого горлышка» лежит признание того, что любая система сильна лишь настолько, насколько сильно ее самое слабое звено. Выявляя и фокусируясь на критических узких местах, которые ограничивают общий результат процесса, организации могут проводить целенаправленные

улучшения, которые оказывают существенное влияние на производительность. Методология данной идеологии подразумевает следующие действия.

1. Выявление узких мест. Данный пункт заключается в анализе процесса производства бумаги с целью выявления этапов или ресурсов, которые ограничивают общую производительность предприятия.

2. «Расширение» узких мест. Расширение подразумевает реализацию стратегий, направленных на максимальное увеличение производительности и эффективности выявленных узких мест путем оптимизации процесса, модернизации технологий и оборудования или перераспределения ресурсов.

3. Согласование результатов «расширения» с остальными частями производства. Данный пункт направлен на обеспечение того, чтобы области, не являющиеся узкими местами, согласовывали свои темпы с узкими местами, чтобы предотвратить перепроизводство и ненужную нагрузку на критически важные ресурсы и оборудование.

Если рассматривать идеологию «узкого горлышка» в непосредственной близости конкретного технологического процесса, то ее смысл заключается в выявлении основополагающих переменных среди множества взаимосвязанных параметров и оптимизации систем управления по определенному критерию, удовлетворяющему цели производства.

В качестве примера работы данной идеологии может выступать улучшение обработки древесной щепы перед подачей в загрузочные устройства.

Первым и важным узким местом в целлюлозно-бумажной промышленности является достижение унифицированного размера получаемой древесной щепы, который будет соответствовать оптимальным требованиям для последующих процессов, таких как варка и отбеливание.

На получение древесной щепы влияют следующие факторы [5].

1. Неоднородность сырья, заключающаяся в использовании разных видов древесины с разными условиями роста, что приводит к разным свойствам древесины.

2. Износ режущих элементов оборудования и эффективность измельчения.

3. Неверно настроенные системы сортировки и фильтрации, что в конечном итоге приводит к засорам и неравномерности пропитки щепы.

Исходя из вышеперечисленных факторов наблюдаются негативные последствия в виде неравномерного потока материала через производственную линию, повышенного износа оборудования на протяжении всего жизненного цикла продукции, а также снижение качества готовой продукции и повышение затрат на электроэнергию.

После выявления первого узкого места, влияющего на качество конечной продукции, необходимо его «расширить» путем нейтрализации или минимизации влияния перечисленных факторов. То есть необходимо внедрить эффективные системы сортировки и фильтрации, обязать персонал к регулярному обслуживанию режущих элементов оборудования или внедрению диагностической системы состояния режущих элементов и перегрузки, а также оптимизировать процесс измельчения древесины путем оптимизации системы

подачи балансов, контроля скорости рубительной машины и мониторинга наличия засоров.

В заключение стоит отметить, что идеология «узкого горлышка» в целлюлозно-бумажной промышленности играет значительную роль в повышении эффективности производства, оптимизации бизнес-процессов и улучшении качества выпускаемой продукции. Ее внедрение требует комплексного подхода и согласованной работы всех звеньев производственной цепочки. Однако при правильной реализации данная идеология может стать мощным инструментом для совершенствования целлюлозно-бумажной промышленности и обеспечения ее конкурентоспособности на мировом рынке.

Список литературы:

1. Материалы III Международной научно-технической конференции молодых учёных и специалистов ЦБП «Современная целлюлозно-бумажная промышленность. Актуальные задачи и перспективные решения» (Санкт-Петербург, 8 ноября 2021 года) / Ред. О. В. Фёдорова; А. Г. Кузнецов. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2022. – Том II. – 98 с. ISBN 978-5-91646-298-2.
2. Алексей Бояршинов. Бутылочное горлышко: что это такое, как оно вредит бизнесу и как его обнаружить и устранить / Алексей Бояршинов [Электронный ресурс] // Biz360 «О малом бизнесе малому бизнесу»: [сайт]. – URL: <https://biz360.ru/materials/butylochnoe-gorlyshko-cto-eto-takoe-kak-ono-vredit-biznesu-i-kak-ego-obnaruzhit-i-ustranit/> (дата обращения: 03.04.2024).
3. Налетова, А. Н. ТЕОРИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ СИСТЕМ: ИСТОКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ / А. Н. Налетова [Электронный ресурс] // Cyberleninka: [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/teoriya-ogranicheniy-sistem-istoki-i-perspektivy?ysclid=lv54tm7vc7240957257> (дата обращения: 04.04.2024).
4. Марина Ледяева. Как целлюлозно-бумажная промышленность адаптировалась к новым экономическим условиям / Марина Ледяева [Электронный ресурс] // RGRU: Российская газета: [сайт]. – URL: <https://rg.ru/2023/09/15/put-bumagi.html?ysclid=lv87le1qp1890713513> (дата обращения: 06.04.2024).
5. Девятникова, Л. А., Доспехова, Н. А., Раковская, М. И. Комплексный анализ операций переработки круглых лесоматериалов в технологическую щепу на целлюлозно-бумажном комбинате / Л. А. Девятникова, Н. А. Доспехова, М. И. Раковская [Электронный ресурс] // Cyberleninka: [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnyy-analiz-operatsiy-pererabotki-kruglyh-lesomaterialov-v-tehnologicheskuyu-schepu-na-tsellyulozno-bumazhnom-kombinate> (дата обращения: 06.04.2024).

© Никешин В. Г., Сидельников В. И., 2024

ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ПЛЕНОК И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

студент **Пилецкая Анастасия Сергеевна**,
аспирант **Крюков Кирилл Александрович**,
науч. руководитель: доктор ф.-м. наук **Лейман Валерий Иванович**,
Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна,
Высшая школа технологий и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В представленной статье исследуется влияние цвета краски, нанесенной на электропроводящие пленки, на их тепловые свойства и процессы теплопереноса. Проведенные эксперименты позволили выявить отличия в теплопроводности и нагреве пленок различных цветов. Результаты исследования раскрывают важность выбора цвета краски при создании электропроводящих пленок для оптимизации тепловых процессов и повышения эффективности применения в различных областях промышленности и технологий.

Ключевые слова: токопроводящие пленки, полимеры, цвет, нагрев, градиент температуры.

THERMAL PROPERTIES OF ELECTRICALLY CONDUCTIVE FILMS AND THEIR APPLICATION

Student **Piletskaya Anastasia Sergeevna**,
Graduate Student **Kryukov Kirill Alexandrovich**,
Academic advisor: PhD in Physics and Mathematics
Valery Ivanovich Leyman,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. The present article examines the effect of the color of the paint applied to electrically conductive films on their thermal properties and heat transfer processes. The experiments made it possible to identify differences in thermal conductivity and heating of films of different colors. The results of the study reveal the importance of choosing the color of paint when creating electrically conductive films to optimize thermal processes and increase the efficiency of applications in various fields of industry and technology.

Keywords: conductive films, polymers, color, heating, temperature gradient.

В настоящее время традиционным методом отопления по-прежнему является централизованное отопление. Расходы несет государство или

предприятие. При использовании системы электронагревательной пленки температура и стоимость тесно связаны. Поэтому пользователи должны заботиться как о температуре, так и о стоимости. Правильный выбор температуры и времени нагрева очень важен для экономии затрат. Система электронагревательной пленки имеет удобную настройку и отдельную систему управления помещением. Пользователи могут настроить систему отопления в соответствии со своими потребностями. Это позволяет экономить электроэнергию для отопления, например, для освещения и воды. Прозрачная электронагревательная пленка обычно изготавливается путем «прослойки» проводящего материала между слоями стекла или прозрачного пластика, традиционно поликарбоната или акрила. Проблема здесь заключается в использовании токопроводящего материала, обладающего достаточной проводимостью и прозрачностью.

Прозрачные проводящие пленки (TCF) представляют собой тонкие пленки из оптически прозрачного и электропроводящего материала. Они являются важным компонентом ряда электронных устройств, включая жидкокристаллические дисплеи, OLED, сенсорные экраны и фотоэлектрические элементы.

Прозрачные проводящие пленки для фотоэлектрических применений изготавливаются как из неорганических, так и из органических материалов. Неорганические пленки обычно состоят из слоя прозрачного проводящего оксида (TCO), чаще всего оксида индия-олова (ITO), легированного фтором оксида олова (FTO), легированного ниобием TiO_2 или легированного оксида цинка. Органические пленки разрабатываются с использованием сетей из углеродных нанотрубок и графена, которые могут быть изготовлены с высокой прозрачностью для инфракрасного излучения. Альтернативой могут быть прозрачные проводящие оксиды более широкого спектра действия, проводящие полимеры, металлические сетки и случайные металлические сетки, углеродные нанотрубки, графен, нанопроволоки [1].

Проводящие полимеры, такие как поли-3,4-этилендиокситиофен, полистиролсульфонат, обладают выдающимися преимуществами с точки зрения механической гибкости и технологичности решения. Однако проводящие полимеры обладают низкой электропроводностью и плохой устойчивостью к нагреву и влаге, что ограничивает их применение в высокопроизводительных оптоэлектронных устройствах. Между тем углеродные наноматериалы, такие как графен и углеродные нанотрубки, обладают превосходной теплопроводностью и гибкостью; однако затраты на производство высококачественных наноматериалов на основе углерода с помощью методов термического и плазмохимического осаждения из паровой фазы обычно высоки. Соответственно, благодаря их относительно простому производственному процессу и превосходным физическим свойствам, таким как оптическая и электрическая проводимость и механическая гибкость, разработка гибких пленок на основе металла с металлическими нанопроволоками и сетчатыми структурами в последнее время привлекла значительное внимание в

качестве альтернативы коммерческим пленкам из прозрачного проводящего оксида [2].

Низкотемпературная электронагревательная пленка представляет собой разновидность полупрозрачной полиэфирной пленки, которая может выделять тепло при наэлектризовывании. При работе с электронагревательной пленкой в качестве нагревательного элемента тепло поступает в пространство в виде излучения, тело и предметы сначала нагреваются, общий эффект превосходит традиционное конвекционное отопление. Низкотемпературная система лучистого электрического отопления состоит из источника питания, термостата, разъемов, изоляционного слоя, электронагревательной пленки и отделки. Питание осуществляется по проводу, подключенному к электронагревательной пленке, электрическая энергия преобразуется в тепло. Поскольку электрическая пленка представляет собой чисто резистивную цепь, эффективность ее преобразования высока, за исключением небольшой доли (2 %) потерь, подавляющее большинство (98 %) преобразуется в тепло.

Электротермическая пленка не может использоваться непосредственно для радиационного обогрева пола, требуется запатентованная вакуумная оболочка из ПВХ, но может использоваться для подогрева пола, чтобы обеспечить использование результатов и ожидаемый срок службы [2, 3].

Электротермическая пленка обладает большим потенциалом для развития в соответствии с тенденцией развития низкоуглеродной экономики. Методы электротермического мембранного нагрева не потребляют воду, не занимают землю, обеспечивают автономность, энергосберегающие материалы, ориентированные на низкий уровень выбросов углерода [4].

Типичное применение:

1. Высокоэффективный источник тепла для медицинского диагностического оборудования и анализаторов для поддержания постоянной температуры оборудования.
2. В условиях высокой температуры выполняет температурную компенсацию прибора для поддержания безопасной рабочей температуры.
3. Защита электронного и механического оборудования военной продукции, такой как самолеты, от низких температур в высокогорных районах.
4. Поддержание стабильности оптоэлектронных компонентов.
5. Источник тепла в области вакуумного нагрева.
6. Наружное электронное оборудование, такое как считыватели карт, ЖК-дисплеи или долговечные ноутбуки, может нормально работать при низких температурах
7. Поддерживает нормальную скорость запуска бытовой фототехники.

Преимущества и использование электронагревательной пленки

Проводящая пленка делится на высокотемпературную и низкотемпературную. Высокотемпературная пленка обычно используется в электронных приборах, в военной отрасли и т. д. В настоящее время электротермическая пленка производится научно-техническим путем. Низкотемпературная электронагревательная пленка представляет собой полупрозрачную полиэфирную пленку, которая может выделять тепло после

подачи напряжения. Она изготовлена из специальных проводящих чернил и металлической токопроводящей ленты и подвергнута термическому прессованию между изолирующими полиэфирными пленками.

Токопроводящую пленку нельзя использовать непосредственно для лучистого обогрева пола [5].

Экспериментальная часть исследования включает в себя установку (рис.), которая оборудована электропроводящей пленкой, покрытой черной и серебристой красками. Установка также включает в себя амперметр, вольтметр, термопару и штатив с токопроводящими пленками. Целью настоящего эксперимента является изучение зависимости температуры от цвета краски на пленке при заданном напряжении и силе тока.

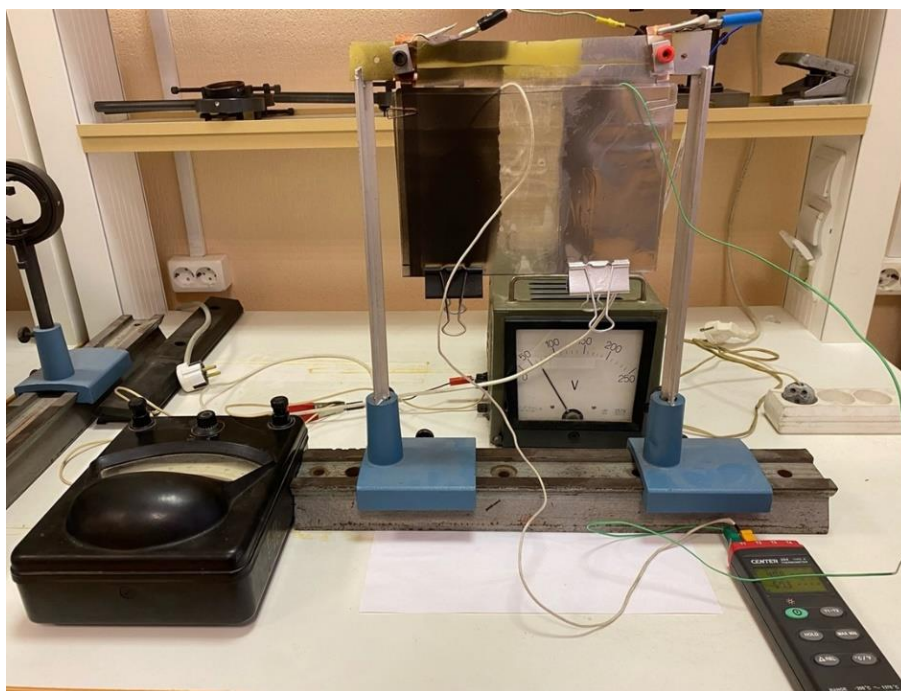


Рисунок – Экспериментальная установка

Для проведения исследования на пленку подается определенное напряжение и измеряется сила тока. Затем с помощью термопары измеряется температура пленки при использовании различных цветовых красок. Путем анализа полученных данных и построения графиков можно выявить влияние цвета краски на тепловые свойства пленки, что может быть полезно для разработки новых материалов с желаемыми характеристиками.

Полученные результаты показали, что при одинаковых значениях напряжения и силы тока температура пленки, окрашенной черной краской, была выше ($60\text{ }^{\circ}\text{C}$), чем температура пленки с серебристой краской ($42,2\text{ }^{\circ}\text{C}$), в то время как температура участка пленки без краски составила $29,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Эти данные позволяют сделать вывод о том, что цвет краски на электропроводящей пленке влияет на ее тепловые свойства, причем краска черного цвета способствует более сильному нагреву пленки по сравнению с серебристой.

Градиент температуры – это изменение температуры на единицу длины вдоль пути или поверхности. Он показывает, как быстро изменяется температура

в пространстве или на материале. Градиент температуры имеет важное значение в тепловых расчетах и инженерных расчетах.

Градиент температуры позволяет определить скорость изменения температуры вдоль участка или материала, что может быть необходимо для анализа тепловых процессов, расчета теплопередачи, определения равновесных состояний в системах и других инженерных расчетов.

Для расчета градиента температуры участка электропроводящей пленки необходимо выполнить следующие шаги:

1. Рассчитать мощность, выделяемую на участке пленки с черной краской:

$$P = U * I = 65 * 0,44 = 28,6 \text{ Вт}$$

2. Рассчитать коэффициент теплопроводности материала пленки:

$$\lambda = \frac{P * L}{(T_1 - T_2)} = \frac{28,6 * 1}{(60 - 58,9)} = 26 \frac{\text{Вт}}{\text{м}} \cdot \text{C}^\circ$$

3. Рассчитать градиент температуры участка пленки с черной краской:

$$\Delta T_1 = \frac{P}{(\lambda * L)} = \frac{28,6}{26 * 1} = 1,1 \frac{\text{C}^\circ}{\text{м}}$$

Аналогично, выполнить расчет для участка пленки с серебряной краской:

$$P = U * I = 65 * 0,44 = 28,6 \text{ Вт}$$

$$\lambda = \frac{P * L}{(T_1 - T_2)} = \frac{28,6 * 1}{(40 - 39,9)} = 286 \frac{\text{Вт}}{\text{м}} \cdot \text{C}^\circ$$

$$\Delta T_2 = \frac{P}{(\lambda * L)} = \frac{28,6}{286 * 1} = 0,1 \frac{\text{C}^\circ}{\text{м}}$$

В ходе проведенных расчетов градиента температуры участков электропроводящей пленки с различной окраской были получены следующие значения:

Для участка пленки с черной краской был рассчитан градиент температуры величиной приблизительно 1,1 °C/м. Это говорит о скорости изменения температуры на 1 метре данного участка при заданных условиях тока и напряжения. Такой высокий градиент температуры указывает на более интенсивный нагрев пленки с черной краской.

Для участка пленки с серебристой краской значение градиента температуры составило около 0,1 °C/м. Это означает, что скорость изменения температуры данного участка при тех же условиях нагрева ниже, чем у пленки с черной краской.

Эффективность поглощения и излучения тепла зависит от цвета поверхности. Черные объекты поглощают больше тепла, чем светлые. Это связано с тем, что черная краска имеет способность лучше поглощать энергию излучения, благодаря своей способности поглощать все видимые спектры света и превращать их в тепло. С другой стороны, серебряная краска имеет хорошие свойства отражения, что позволяет ей отражать большую часть падающего излучения и почти не поглощать его. Это делает ее менее эффективной в плане нагрева по сравнению с черной краской.

Таким образом, черная краска, обладая способностью поглощать больше излучения и превращать его в тепло, обеспечивает более интенсивный нагрев поверхности, чем светлые цвета, такие как серебро.

Общие выводы исследования показывают, что цвет краски на электропроводящей пленке влияет на ее тепловые свойства, где краска черного цвета способствует более сильному нагреву пленки по сравнению с краской серебристого цвета.

Применение электропроводящей пленки имеет многочисленные преимущества в различных областях применения благодаря своим тепловым свойствам. Она может использоваться в отоплении, контроле температуры, электронике, медицинском оборудовании, солнечных батареях, оптических устройствах и других областях, где требуется эффективное и управляемое распределение тепла. Это делает электропроводящие пленки важным инструментом в современном мире, обеспечивая прогресс и инновации в различных отраслях промышленности и технологий.

Список литературы:

1. Бесцветные пленки с прозрачными электропроводящим покрытием: [сайт] – URL: <https://polymeroptics.ru/produktyi/пэт-пленка-с-прозрачным-электропроводящим-покрытием/?ysclid=lvummom474422163960> (дата обращения: 24.04.24). – Текст электронный.
2. Петрова Л. Г., Потапов М. А., Чудина О. В. Электротехнические материалы: учебное пособие / МАДИ (ГТУ). – М., 2008. – 198 с.
3. Методы получения тонких пленок: практическое пособие / В. А. Гольдаде, Н. Н. Федосенко ; М-во образования РБ, Гом. гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2015. – 41 с.
4. Тепловые свойства электроизоляционных материалов: [сайт] – URL: <https://studfile.net/preview/3719584/page:3/> (дата обращения: 25.04.24). – Текст электронный
5. Виды, свойства и области применения электропроводящих полимерных композиций : [сайт]. – URL: <https://scienceforum.ru/2020/article/2018019800?ysclid=lvumfqjre2293066545> (дата обращения: 25.04.24). – Текст электронный.

© Пилецкая А. С., Крюков К. А., 2024

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В МИРЕ

студент **Слободенюк Дмитрий Русланович,**

студент **Фазылов Роман Викторович,**

науч. руководитель: аспирант, преподаватель

Юренская Светлана Алексеевна,

Колледж космического машиностроения и технологий,

Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза,

летчика-космонавта А.А. Леонова,

г. Королев, Российская Федерация

Аннотация. Статья посвящена современному состоянию и анализу факторов, влияющих на использование альтернативных источников энергии в глобальном масштабе. Наблюдается постоянный рост объемов потребления энергии, что связано со стабильностью мировой экономики, увеличением расходов на отопление и охлаждение в различных регионах мира. В статье отмечается необходимость перехода на использование альтернативных источников энергии (ветровой, солнечной, гидро-геотермальной и биомасса, атомная энергия), так как в наиболее густонаселенных районах (Китай, Индия) на уголь приходится до 80 % энергетического баланса, что приводит к увеличению выбросов CO₂. Авторы приходят к выводу, что темпы роста возобновляемых источников энергии (ВИЭ) недостаточны, определяют факторы, влияющие на эффективность их использования и барьеры, препятствующие ускорению темпов замещения традиционных источников энергии ВИЭ. Особое внимание уделяется мерам государственной поддержки и соответствующим законодательным актам, которые направлены на стимулирование и привлечение необходимых инвестиций в данную отрасль экономики.

Ключевые слова: CO₂ выбросы, альтернативная энергетика, возобновляемые источники энергии, меры стимулирования, барьеры.

CURRENT STATE AND PROBLEMS OF ALTERNATIVE ENERGY DEVELOPMENT IN THE WORLD

Student **Slobodenyuk Dmitry Ruslanovich,**

Student **Fazylov Roman Viktorovich,**

Academic Advisor: Graduate Student, Lecturer

Yurenskaya Svetlana Alekseevna,

Space Engineering and Technology College

Technological University named after twice Hero of the Soviet Union,

pilot-cosmonaut A.A. Leonov,

Korolev, Russian Federation

Abstract. The article is devoted to the current state and analysis of factors, affecting the use of alternative energy sources on a global scale. There has been a steady increase in energy consumption, owing to the stability of the world economy and the increase in heating and cooling costs in various regions of the world. The article notes the need to switch to the use of alternative energy sources (wind, solar, hydro-geothermal and biomass, nuclear energy), as in the most densely populated areas (China, India) coal accounts for 80% of the energy balance, which leads to increased CO₂ emissions. The authors conclude that the rate of growth of renewable energy sources (RES) is insufficient and identify factors affecting the efficiency of their use and barriers to accelerating the rate of substitution of traditional RES energy sources. Special attention is paid to the state support measures and relevant legislative acts aimed at stimulating and attracting the necessary investments in this sector of the economy.

Keywords: CO₂ emissions, alternative energy, renewable energy, incentives, barriers.

Развитие энергетики в современных условиях характеризуется увеличением доли альтернативных источников энергии, особенно солнечной и ветровой. По данным Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA), использование ВИЭ сопровождается мультипликативным эффектом: удвоение доли ВИЭ в мировом энергобалансе к 2030 году приведет к росту ВВП на 0,6-1,1 % (1,3 трлн. долл.), а также к увеличению благосостояния на 3,7 %, занятость в секторе возобновляемой энергетики будет увеличиваться на 6 % ежегодно.

В 2022 году доля альтернативной энергетики в мировом энергетическом секторе, включая атомную энергию, составила 39 %. В то же время высокая доля угля в производстве электроэнергии приводит к значительным выбросам CO₂, которые в 2022 году достигли исторического максимума (224 Мт). Этот процесс приводит к глобальному потеплению и изменению климата, которые выражаются в повышении уровня моря и стихийных бедствиях. В связи с этим изучение вопросов, связанных с глобальными тенденциями в использовании альтернативных источников энергии, анализ факторов, влияющих на их развитие, а также препятствий для их более широкого распространения является актуальным для современного научного сообщества.

В современном мире регионы и страны зависят друг от друга с точки зрения устойчивого экономического развития и энергетической безопасности, и также в обеспечении эффективных мер по борьбе с изменением климата. Глобальное потребление энергии в период с 1980 по 2022 год выросло более чем втрое, что обусловлено устойчивым развитием мировой экономики и ростом потребностей в отоплении и охлаждении в некоторых частях света [2]. На диаграмме 1 представлены данные о выбросах CO₂ от ископаемых видов топлива.

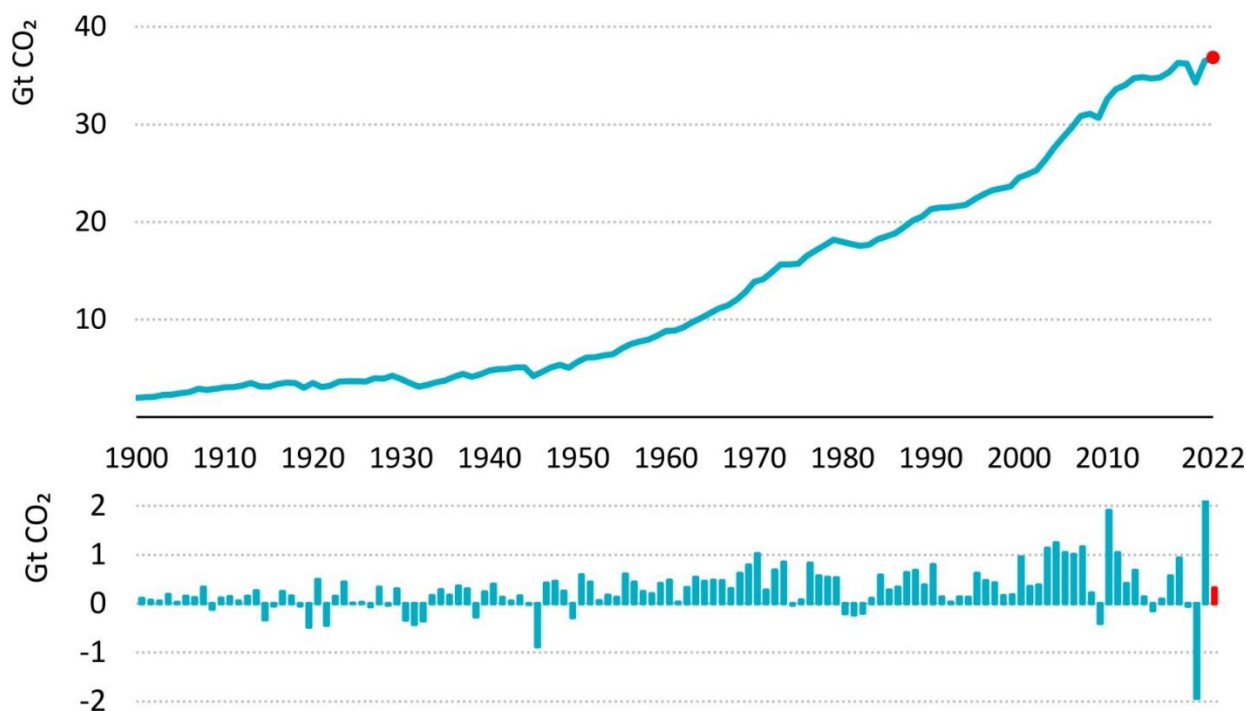


Рисунок 1 – Выбросы CO₂ от ископаемого топлива по состоянию на 2022 г.

Ожидается, что к 2030 году мировой спрос на энергию и выбросы CO₂ вырастут примерно на 60 %, а к 2050 году – более чем в два раза. В 2050 году будет потребляться почти в 3 раза больше угля, чем в начале 2000-х годов, потребление газа увеличится на 138 %, а нефти – на 65 % [1].

Основу мировой энергетики в настоящее время составляют запасы углеводородов (уголь, нефть, газ), из которых производится около 70 % мировой энергии. В то же время мир переживает переломный момент, когда необходимо пересмотреть структуру традиционной энергетики, основанной на углеводородных источниках. Помимо истощения этих возобновляемых энергоресурсов, важную роль играет экологический кризис. Ежегодные выбросы углекислого газа увеличиваются в среднем на 100 тонн. Ученые прогнозируют, что если критическая ситуация сохранится в таком же темпе, то человечеству грозит глобальная катастрофа.

Такие страны, как Индия, Китай, используют 70-80 % угля в энергетическом балансе страны, США, Япония и Германия – 30-40 %, США, Япония и Германия – 30-40 %. Самая низкая доля угля (5-15 %) – в Англии, Канаде, Испании, Италии и Ирландии. Таким образом, мировое сообщество выдвигает на первый план расширение использования возобновляемых и альтернативных источников энергии: ветра, солнца, воды, ядерных и водородных технологий [3]. Мировым сообществом было осознано, что для каждого объекта энергопотребления необходимо сделать выбор и найти индивидуальное решение для системы тепло- и энергоснабжения, прежде всего, выбор между традиционными и нетрадиционными возобновляемыми источниками энергии, которые являются основой альтернативной (AlE) или инновационной энергетики (InE).

Понятия AlE или InE включают в себя устройства, генерирующие электрическую и тепловую энергию и использующие не углеводороды, а другие

источники энергии (энергию ветра, солнца, тепла земли и т. д.). В зависимости от типа источника энергии альтернативная энергетика подразделяется на: ветровую, малую энергетику, солнечную (гелиоэнергетику), энергию от использования промышленных и бытовых отходов, энергия биомассы, водородная, ядерная и т. д.

В целом существует около 15 видов альтернативной энергетики. В мировой практике накоплен большой опыт в разработке и внедрении энергосберегающих возобновляемых экологически чистых технологий. В ряде передовых стран программы, направленные на развитие альтернативной энергетики, появились в 1980-х годах. Однако большинство государств начали предпринимать серьезные шаги в этом направлении в 1990-х годах. В настоящее время политические программы, направленные на развитие альтернативной энергетики, существуют в 66 странах. Среди них все 27 стран ЕС, 29 штатов Америки и 9 провинций Канады.

Одной из наиболее важных мер в данном вопросе является разработка стандартов альтернативной энергетики, которые обязывают розничных поставщиков электроэнергии использовать определенный процент электроэнергии, произведенной на основе ВИЭ. Эти стандарты действуют в 44 странах, включая США, Нидерланды, Великобританию, Бельгию, Данию, Францию и другие страны. Одной из наиболее важных мер стала разработка стандартов в области альтернативной энергетики, которые требуют от розничных поставщиков электроэнергии использовать определенный процент электроэнергии, вырабатываемой за счет ВИЭ. Все эти меры позволили увеличить долю возобновляемых источников до 30 % в 2022 году, включая до 39,2 % с учетом атомной энергии (диаграмма 2).

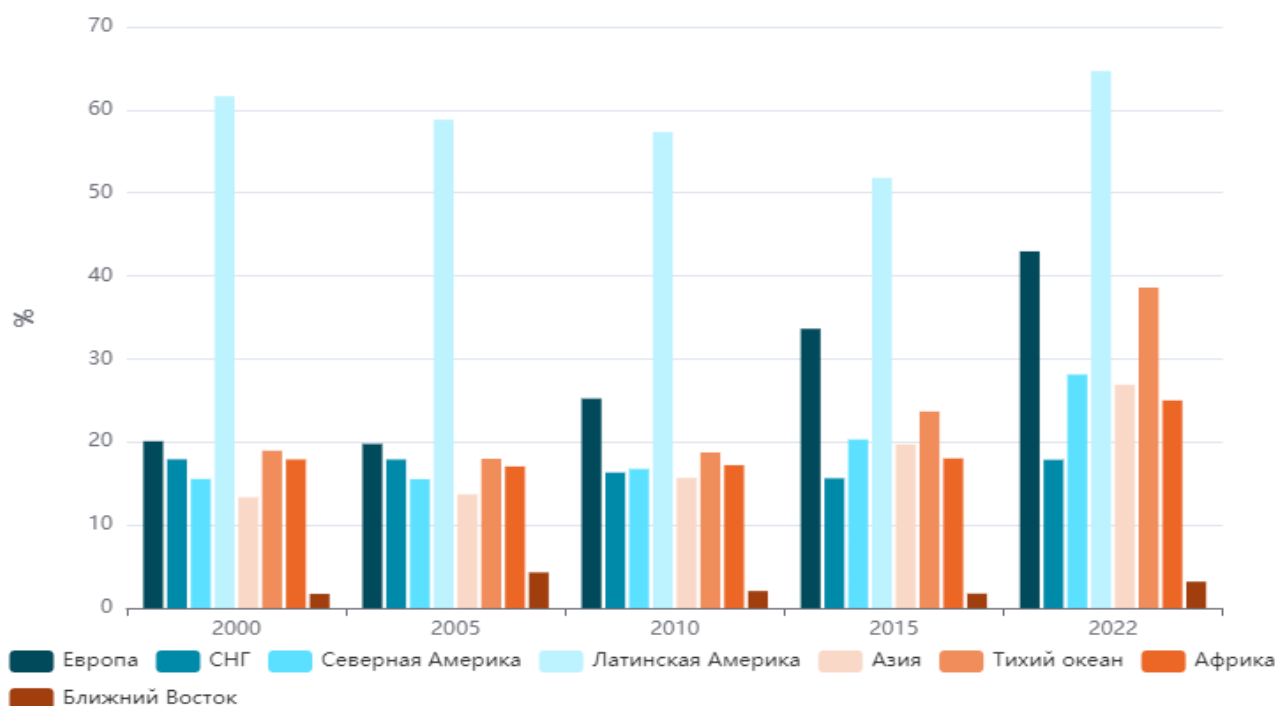


Рисунок 2 – Доля ВИЭ в потреблении электроэнергии в 2022 году, %

Например, в Китае мощность возобновляемых источников энергии в 2022 году выросла на 8,1 % по сравнению с 2021 годом, поскольку страна продолжает реализовывать новые проекты, несмотря на проблемы с мощностью и растущие долги по выплате субсидий. Общая мощность, включая гидроэнергетику и биомассы, а также солнечной и ветровой энергии, увеличилась до 2799 ГВт-ч к концу 2020 года, что составило на 261 ГВт, или 10,3 % больше, чем в 2019 году [4].

Так, Китай является одним из мировых лидеров по производству и использованию энергии из возобновляемых источников – гидроэлектроэнергии, ветра, солнца и биомассы – со значительным развитием геотермальной и морской энергии, на долю которых приходится более 70 % общего производства электроэнергии в Китае в 2022 году. Согласно данным Национального энергетического совета (НЭБ), ВИЭ, такие как ветра, биомассы, геотермальной и солнечной энергии, достигнет 12 % от общего объема производства электроэнергии к 2035 году [5].

Одним из видов альтернативных источников энергии является атомная энергия. В мире в целом она составляет 10,2 %, около 450 ядерных реакторов эксплуатируются примерно в 30 странах. АЭС в России в 2022 году установили новый рекорд выработки электроэнергии, выдав более 223 миллиардов киловатт-часов.

Энергосистема	Потребление электроэнергии, млрд кВт-ч			Динамика потребления, %	
	2022 год	2021 год	Отклонение (+/-) от 2021	Фактическая	Приведенная к температурным условиям 2021 года
ЕЭС РОССИИ	1 106,3	1 090,4	15,9	1,5	1,8
ОЭС Центра	257,3	256,3	1,0	0,4	0,9
ОЭС Средней Волги	110,9	111,4	-0,6	-0,5	0,2
ОЭС Урала	260,8	256,7	4,2	1,6	1,9
ОЭС Северо-Запада	97,1	97,6	-0,4	-0,4	0,1
ОЭС Юга	111,0	108,3	2,8	2,6	3,1
ОЭС Сибири	224,7	217,3	7,3	3,4	3,4
ОЭС Востока	44,5	42,9	1,6	3,8	3,9

Рисунок 3 – Производство электроэнергии в России в 2021-2022 гг.

Основными проблемами данного вида ВИЭ являются высокая стоимость будущей атомной электростанции и проблемы, связанные с обеспечением безопасности на АЭС. Аварии, произошедшие на атомных электростанциях (Чернобыль, Фукусима), показали опасность радиоактивного заражения после выброса в окружающую среду. Так, например, Украина дополнительно расходует бюджетные средства по программе государственного агентства Украины по управлению зоной отчуждения «Взносы Украины в Чернобыльский фонд», а также на счета ЕБРР по ядерной безопасности. Следует отметить, что срок службы атомных энергоблоков составляет 30 лет. В Украине есть реакторы, которые отработали свой срок службы, значит, необходимы значительные инвестиции для их модернизации и замены.

Япония также понесла огромные убытки из-за аварии на АЭС, которые уже превысили 100 миллиардов долларов США. Ежегодные расходы на обслуживание реактора и обеспечение безопасности даже после его окончательной остановки также исчисляются миллионами долларов США. Не стоит забывать, что хранение и контроль тысяч тонн высокоактивных отходов реакторов в течение сотен лет также требует значительных финансовых ресурсов [7]. Следовательно, на наш взгляд, необходимо проводить референдум по таким важным вопросам, касающимся безопасности не только отдельного региона, но и страны в целом. Например, в Германии было принято решение о постепенном отказе от атомной энергии и переходе на «зеленую» энергию. После аварии на АЭС «Фукусима» Япония поставила перед собой цель утроить производство электроэнергии из ВИЭ к 2030 году по сравнению с 2010 годом [8]. На наш взгляд, это правильная стратегия.

Таким образом, при принятии решений о поставках электроэнергии необходимо учитывать положительные и отрицательные стороны различных источников электроэнергии. В связи с этим нами было проведено исследование, в результате которого систематизированы факторы, влияющие на эффективность использования альтернативных источников энергии, и разработаны рекомендации по поддержке производителей электроэнергии на основе ВИЭ с учетом международного опыта (табл. 1).

Таблица 1 — Классификация факторов, влияющих на эффективность использования альтернативных источников энергии

Климатические условия	Технико-экономические условия	Экологические условия	Географические условия
- скорость ветра, м/с; - степень открытости местности; - инсоляция, Вт/м²; - наличие естественных или искусственных водотоков; - наличие геотермальных источников и т. д.	- цена оборудования; - стоимость транспортировки и установки оборудования; - срок службы оборудования; - плата за загрязнение окружающей среды; - состояние энергетического оборудования; - коэффициент эффективности; - тариф на электроэнергию от традиционных источников и т. д.	- воздействие на животных и птиц от вращения лопастей ветрогенератора; - воздействие электромагнитных полей на морских животных; - количество вредных выбросов и парниковый эффект от традиционных источников энергии и т. д.	- удаленность от централизованной системы электроснабжения; - удаленность от поставщиков ископаемого топлива; - минимальное расстояние от установки до населенных пунктов и т. д.

Несмотря на достижения в области использования ВИЭ, Индия и Китай продолжают использовать 70-80 % угля в энергетическом балансе, хотя обладают значительным потенциалом ВИЭ. По мнению экспертов, для достижения баланса между потребностью в электроэнергии и ее производством, Индии следует обратить особое внимание на атомную энергетику. В настоящее время на долю атомной энергии приходится только 2 % от общего объема электроэнергии, вырабатываемой 7 АЭС [9].

Чтобы ускорить процесс замены традиционных источников энергии на возобновляемые, необходимо выявить проблемы (барьеры), которые препятствуют этому процессу [10]:

- Политические и нормативные барьеры. В странах, где нет государственной поддержки, отсутствуют законодательные и нормативные акты, поддерживающие использование ВИЭ, инвесторы не заинтересованы во вложении капитала из-за отсутствия стимулов и сопутствующих высоких рисков.

- Технический барьер. В некоторых, особенно развивающихся странах, отсутствуют технологии и инфраструктура для развития альтернативной энергетики. Из-за низкого общего уровня образования и нехватки квалифицированных кадров (например, в странах Африки к югу от Сахары), некоторые страны не готовы импортировать оборудование и технологии для использования ВИЭ. Кроме того, импортировать оборудование дорого, что также влияет на стоимость электроэнергии, которая становится практически недоступной для бедных слоев населения. Когда оборудование выходит из строя, часто нет ни запасных частей, ни специалистов для его обслуживания и ремонта. Существуют большие проблемы с передачей возобновляемых источников энергии по сетям (особенно это касается энергии ветра), что связано с потерями энергии и, как следствие, инвесторы не хотят вкладывать деньги в ВИЭ из-за высоких рисков.

С другой стороны, в энергетическом прогнозе BloombergNEF (NEO) на 2019 год отмечается, что внедрение возобновляемых источников энергии происходит настолько быстро, что это позволит миру ограничить рост глобальной температуры до 2 °C к 2030 году. Согласно прогнозам, к 2030 году новые ветряные и солнечные электростанции, часто с аккумуляторами, будут производить энергию дешевле, чем существующие угольные и газовые электростанции почти всего мира. В результате роль угля в мировом энергобалансе снизится с 37 % в настоящее время до всего лишь 12 % к 2050 году, а нефть как источник энергии практически исчезнет, поскольку доля ветра и солнца вырастет с 7 % производимых сегодня до 48 % к 2050 году. Вклад гидроэнергетики, природного газа и атомной энергии останется примерно таким же в процентном отношении [11].

Согласно прогнозам, в ближайшие два десятилетия мировое потребление электроэнергии будет расти. В то же время мировое сообщество обеспокоено глобальным изменением климата, ростом цен на ископаемое топливо и политической нестабильностью в основных странах-поставщиках. В связи с этим ВИЭ стали важным объектом исследований, направленных на увеличение их доли в общем объеме энергопотребления [12].

Широкому использованию возобновляемых источников энергии и повышению конкурентоспособности также препятствуют сохраняющиеся субсидии и другие меры государственной поддержки нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности. В связи с этим необходимо учитывать факторы, влияющие на эффективность внедрения ВИЭ, а также барьеры, препятствующие ускорению процесса замещения традиционных источников ВИЭ (политические и нормативные барьеры, технические, социокультурные, финансово-экономические, рыночные, географические и экологические барьеры).

Список литературы:

1. Global Energy and CO2 Status Report. International Energy Agency, 28 (2022).
2. BR Statistical Review of World Energy 2019 (June 2019) at p. 57. See J. Olivier and J. Peters. Trends in Global CO2.
3. Reporting by David Stanway and Beijing Monitoring Desk. Reuters. Environment (January 28, 2019).
4. Rachel Cordery. Power Technology (24 July 2019).
5. Export.gov. Canada Country Commercial Guide (30 September 2019).
6. Statista. World nuclear power consumption by country 2022. Published by M. Garside, (Apr 26, 2024).
7. Shahrouz Abolhosseini, Almas Heshmati. WIDER Working Paper 2016/21. The main Support Mechanisms to Finance Renewable Energy Development.
8. Jack Unwin. The top seven nuclear power plants in India. Power Technology (26.02.2019).
9. Dorcas Kariuki. Barriers to Renewable Energy Technologies Development. The Official publication of the American Energy Society published by De Gruyter (20). Mike Scott. Wind and Solar power set to dominate power mix by 2050, as coal continues to decline. Forbes (Jun 24, 2019).
10. AtomicEnergy: официальный сайт. URL: <https://www.atomic-energy.ru/news/2023/03/02/133216> (дата обращения: 10.05.2024).
11. ImgHub: официальный сайт. URL: <https://imghub.ru/viyrabotka-elektroenergii-v-2022-godu> (Дата обращения 10.05.2024)
12. EnerData: официальный сайт. URL: <https://energystats.enerdata.net/renewables/renewable-in-electricity-production-share.html> (дата обращения: 10.05.2024).

© Слободенюк Д. Р., Фазылов Р. В., 2024

**МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ
КОРРЕКЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ КОТЛОВОЙ ВОДЫ ДЛЯ ПАРОВЫХ
КОТЛОВ ГМ-50-14/250 “ЮЖНОЙ ТЭЦ” г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**

магистрант **Дмитриев Георгий Витальевич**,
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент

Харди́ков Евге́ний Васи́льевич,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассматривается вопрос модернизации системы управления коррекционной обработки котловой воды для парового котла ГМ-50-14/250. Описывается действующая технологическая схема, а также система управления процессом, оцениваются преимущества и недостатки. Обозревается возможность модернизации действующей системы управления с разработкой автоматизированной системы управления технологическим процессом.

Ключевые слова: коррекционная обработка, автоматизация, технологическая схема, система управления, паровой котел, непрерывные измерения.

**MODERNIZATION OF THE PROCESS CONTROL SYSTEM FOR
CORRECTIVE TREATMENT OF BOILER WATER FOR STEAM BOILERS
GM-50-14/250 “SOUTH HPS” ST. PETERSBURG**

Master Student **Dmitriev Georgy Vitalievich**,
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor

Khardikov Evgeny Vasilyevich,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. The paper considers the issue of modernization of the control system for corrective treatment of boiler water for the steam boiler GM-50-14/250. The current technological scheme is described, as well as the process control system, advantages and disadvantages are evaluated. The possibility of upgrading the existing control system with the development of an automated process control system is being considered.

Keywords: correction processing, automation, flow chart, control system, steam boiler, continuous measurements.

Вода является хорошим теплоносителем и не понапрасну до сих пор является основным способом переноса тепла в промышленной теплоэнергетике. Наряду с этой важной ролью, вода является хорошим растворителем. Как следствие, неподготовленная вода несет в себе большое количество примесей, таких как механические частицы, растворенные в воде газы и т. д. Полноценная подготовка питательной воды для паровых котлов является неотъемлемым этапом технологического процесса производства пара. Поддержание водно-химического режима (ВХР) котельной низкого давления (КНД) должно обеспечивать работу всех элементов оборудования тепловой схемы без повреждений и снижения экономичности, вызванных коррозией, образованием накипи, шлама и отложений [1, с. 3].

Известно, что большая часть теплопередачи – примерно 80 % осуществляется через относительно небольшую часть теплопередающей поверхности вблизи зоны пламени котловых горелок. Именно в этой области образуется основная часть отложений. Данные отложения затрудняют теплопередачу и снижают эффективность работы системы. Отложения толщиной от 0,3 до 0,5 мм приводят к снижению теплопередачи энергии воде на 6-10 %. При этом возникает значительный градиент температуры между участками системы теплопередачи, что может приводить к различного рода деформациям, трещинам и разгерметизации сварных соединений. Следствием этого становятся регулярные технические осмотры оборудования и ремонты, которые требуют вывода котельного агрегата из эксплуатации, что влечет за собой экономические потери [2, с. 13].

Исходя из причин, указанных выше, становится ясно, что контроль за надлежащим состоянием питательной воды необходим для поддержания работоспособности оборудования и его технико-экономических параметров.

На данный момент система водоподготовки Южной ТЭЦ состоит из каскадов механических фильтров, в процессе прохождения через которые из воды удаляются механические примеси. Далее вода проходит две ступени умягчения на Na-катионитовых фильтрах. Заключительным этапом процесса водоподготовки является коррекционная обработка. Все это необходимо для того, чтобы избежать образования накипи и отложений на поверхностях нагрева котлов.

Коррекционная обработка заключается в непрерывной дозации в барабан котлоагрегата ГМ-50-14/250 раствора тринатрийфосфата (Na_3PO_4), что позволяет обходиться без подщелачивания фосфатного раствора едким натром. В присутствии фосфатов создаются условия, при которых кальций образует шлам не на поверхности нагрева, а в толще котловой воды. Рыхлый, не прикипающий шлам удаляется из котла с продувкой.

Свойствами неприкипающего шлама обладает труднорастворимое комплексное соединение кальция – гидроксилapatит $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$. В случае его образования концентрация ионов кальция в котловой воде снижается настолько, что такие ионы-накипеобразователи, как SO_4 и SiO_3 , становятся не опасными, так как концентрация соединений CaSO_4 и CaSiO_3 не достигает насыщения. Высокая температура и большой водяной объем котла ускоряют

процесс протекания реакции. Шлам, образовавшийся в процессе реакции, удаляется из водяного пространства котельного агрегата в момент периодической продувки его нижних точек. Типовая схема установки для приготовления и дозирования раствора фосфата в паровой котел представлена на рисунке 1 [1, 2, с. 98].

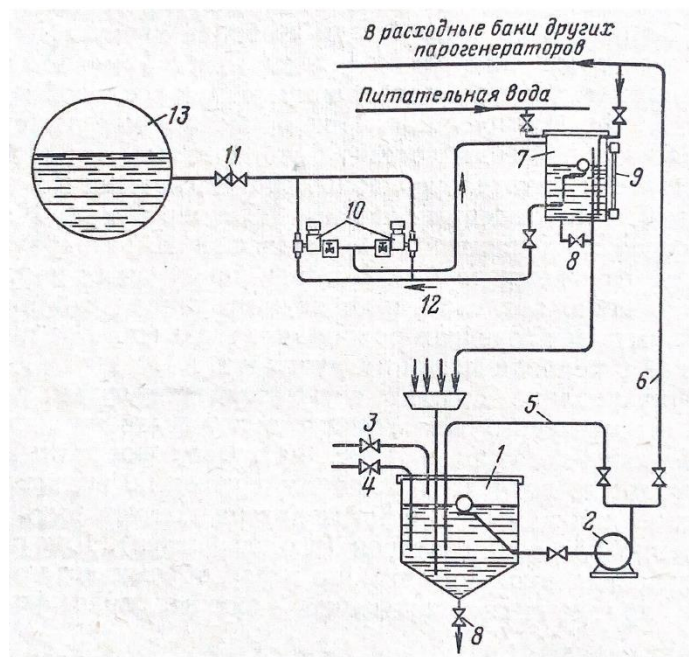


Рисунок 1 – Типовая схема установки для приготовления и дозирования раствора фосфата в паровой котел

На данном рисунке:

- 1 – бак для приготовления раствора реагента;
- 2 – центробежный насос;
- 3 – подача воды для приготовления раствора;
- 4 – подача пара;
- 5 – линия рециркуляции для перемешивания раствора;
- 6 – фосфатная магистраль для подачи раствора в расходный бак;
- 7 – расходный бак котельного агрегата;
- 8 – дренажи;
- 9 – водоуказательное стекло;
- 10 – плунжерные насосы;
- 11 – напорная линия от насоса к паровому котлу;
- 12 – всасывающая линия насоса;
- 13 – барабан парового котла.

Данная схема фосфатирования котловой воды получила широкое распространение на энергетических предприятиях и является основой для различных технологических решений по автоматизации и модернизации дозации фосфатов в барабаны паровых котлов.

Принцип работы данной установки состоит в следующем: в баке мернике для приготовления раствора реагента (1) смешивается тринатрийфосфат

(Na_3PO_4) и химически подготовленная вода и пар через арматуру 3 и 4 соответственно. Далее образовавшийся раствор циркулирует по линии (5) с помощью центробежного насоса (2). После полного растворения тринатрийфосфата (Na_3PO_4) в воде, полученный раствор подается в расходный бак котельного агрегата (7), где уровень остаточного раствора можно видеть по водоуказательному стеклу (9). После чего двумя плунжерными насосами (10) по напорной линии (11) подается водяное пространство барабана парового котла (13).

Действующая функциональная схема автоматизации (ФСА) установки коррекционной обработки котловой воды паровых котлов ГМ-50-14/250 Южной ТЭЦ представлена на рисунке 2.

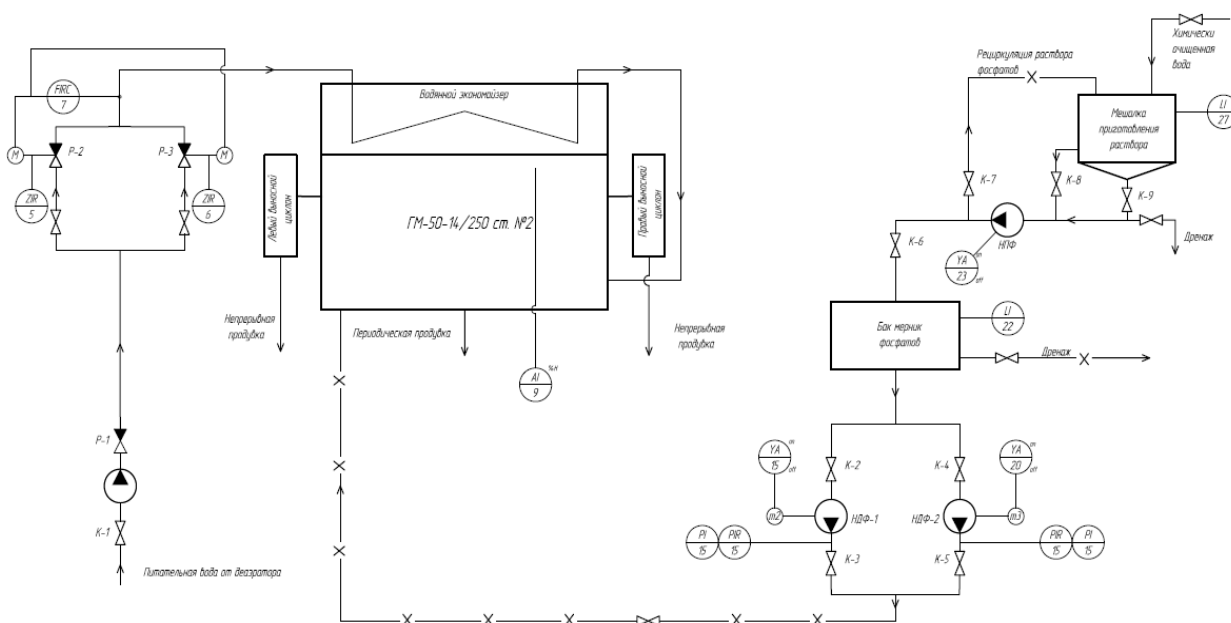


Рисунок 2 – Функциональная схема автоматизации коррекционной обработки котловой воды

Исходя из данной схемы видно, что данная установка обладает низким уровнем автоматизации. Измерение уровня в баке приготовления и баке мернике происходит через водоуказательные стекла. Управление насосом рециркуляции и насосами-дозаторами происходит вручную и только «по месту». Измерение уровня рН котловой воды происходит также вручную. Более того, отсутствует корректирующее воздействие по такому параметру, как расход питательной воды к котлу.

Отдельно стоит остановиться на ручном отборе проб для определения рН котловой воды. Данный способ имеет место быть на производстве, но только в качестве контрольного. Во-первых, сам анализ занимает 20-30 минут, что делает невозможным непрерывный контроль за параметром рН. Во-вторых, нельзя не отметить и влияние человеческого фактора. В-третьих, в инструкции по организации водно-химического режима котлов низкого давления ГМ-50-14/250 и в должностной инструкции лаборанта химического анализа указано, что отбор проб для определения рН питательной воды происходит один раз за 12 часов,

содержание PO_4 в чистом и солевых отсеках котла – один раз в 6 часов. Исходя из всего изложенного выше становится очевидно, что действующая система управления коррекционной обработки котловой воды требует модернизации. Поскольку не способна непрерывно отслеживать параметры и корректировать любые их отклонения, связанные с возмущающими воздействиями и переходными режимами работы оборудования.

Согласно РТМ 24.030.24-72 «Котлы паровые низкого и среднего давления. Организация химического контроля (ХК) за ВХР», щелочность котловой воды в первой ступени должна приходиться на диапазон 0,6-1,7 мг-экв/дм³, а содержание избыточных фосфатов в диапазоне 3-6 мг/дм³ [3]. Результаты измерения щелочности и избытка фосфатов котловой воды в первой ступени котла ГМ-50-14/250 Южной ТЭЦ г. Санкт-Петербург приведены на графике 3 и графике 4. Данные были получены за период эксплуатации парового котла с 01.02.2024 по 15.02.2024.

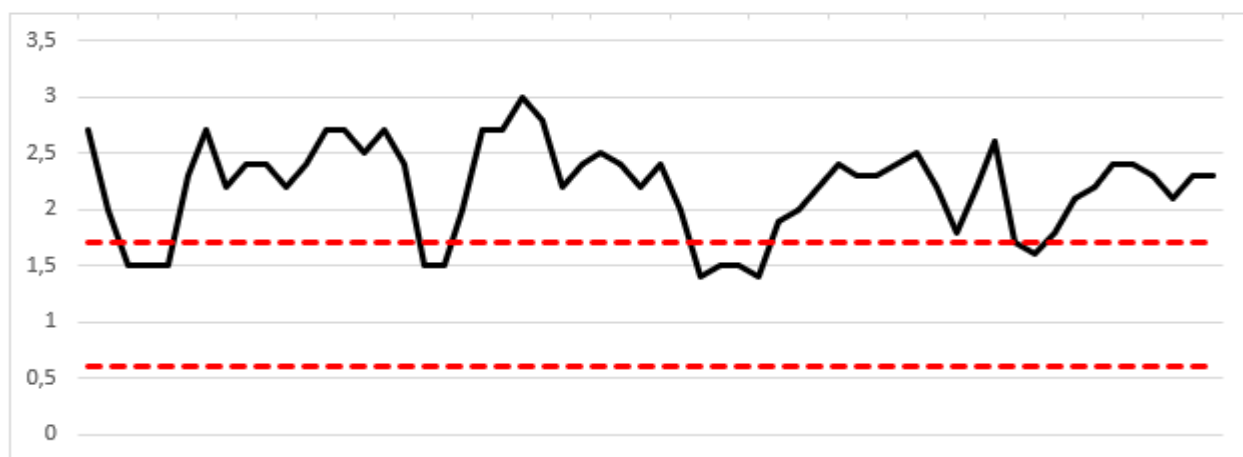


Рисунок 3 – Щелочность котловой воды в I ступени

На данном рисунке сплошной линией обозначено изменение щелочности котловой воды в первой ступени, а пунктирными – верхние и нижние границы данного параметра, согласно РТМ24.030.24-72.

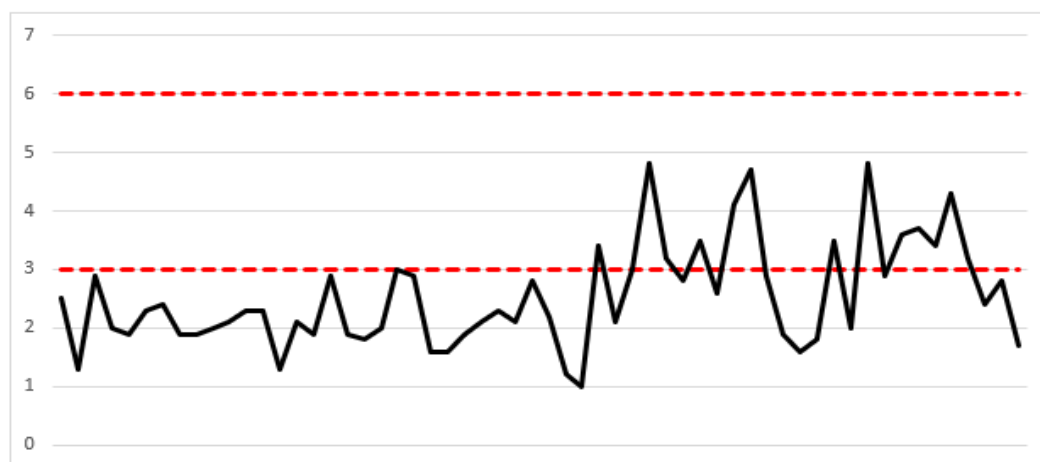


Рисунок 4 – Содержание избыточных фосфатов (PO_4) в котловой воде I ступени

На данном рисунке сплошной линией обозначено изменение содержания свободных фосфатов котловой воды в первой ступени, а пунктирными – верхние и нижние границы данного параметра, согласно РТМ24.030.24-72.

Как видно из графиков, исследуемые параметры не всегда лежат в границах, определенных в РТМ. Данный факт уже говорит о необходимости модернизации действующей системы управления. Более того, график имеет ломаную структуру с резкими подъемами и спадами, что говорит о низкой частоте отбора проб, а, как следствие, низкой точности реакции на возмущающие воздействия и большом запаздывании.

Исходя из всего указанного выше и в соответствии с ГОСТ 21.408-2013 «Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов», ГОСТ 21.208-2013 «Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах» и ГОСТ 20995-75 «Котлы паровые стационарные давлением до 3,9 МПа. Показатели качества питательной воды и пара» была разработана ФСА для модернизации установки коррекционной обработки котловой воды. Данная схема представлена на рисунке 5 [4, 5, 6].

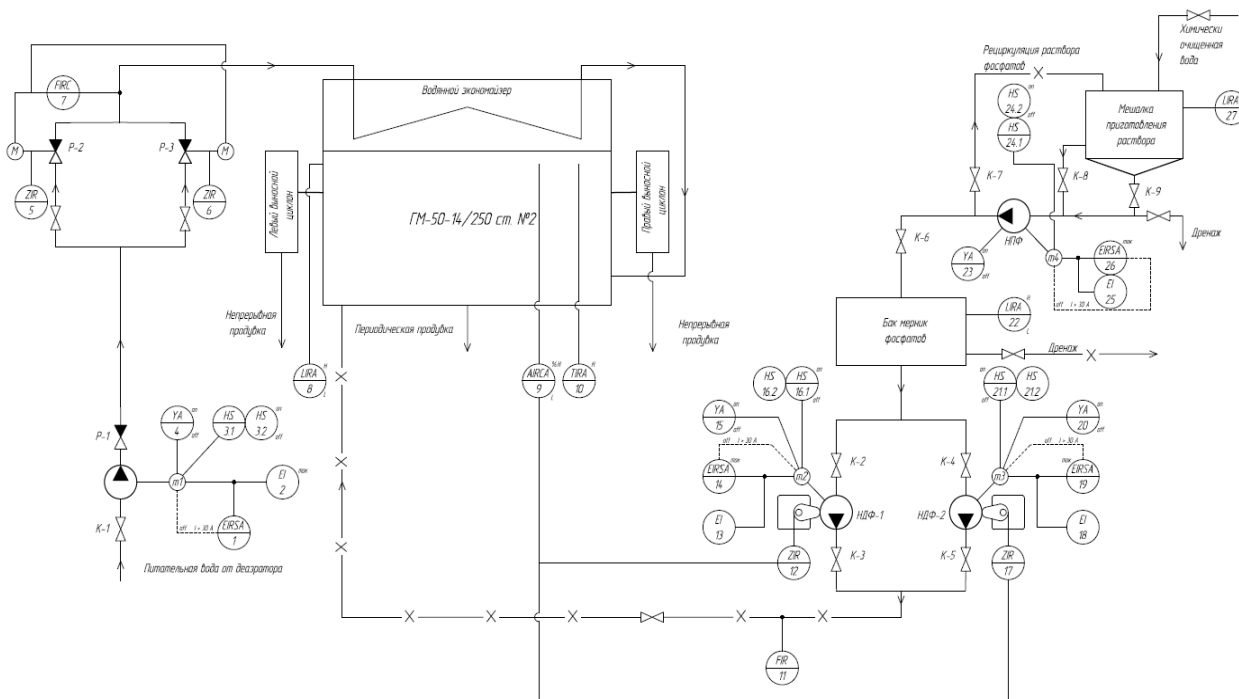


Рисунок 5 – Разработанная функциональная схема автоматизации установки коррекционной обработки котловой воды

В данной функциональной схеме представлен непрерывный контроль параметра pH (AIRCA-9) в барабане котельного агрегата, с сигнализацией по верхнему и нижнему уровням, архивацией и передачей в контроллер для выработки управляющего воздействия. Обработанный контроллером, входящий сигнал об уровне pH, вырабатывает сигнал управляющего воздействия для сервоприводов плунжерных насосов (ZIR-12,17), которые меняют положение

штока плунжера на валу, а, следовательно, и производительность всего насоса. Благодаря чему можно корректировать объем, подаваемого в барабан котла, раствора фосфатов.

Также в данной схеме отображены вспомогательные параметры, которые подвергаются контролю и могут участвовать в защитах и блокировках, а также в логике включения или отключения автоматического ввода резерва (АВР), например, ток электродвигателя плунжерного насоса (EIRSA-14, 19). Контроль за данным параметром реализован встроенным в электродвигатель амперметром, который в непрерывном режиме передает данные о токе в обмотках электродвигателя, что дает понимание оператору о состоянии электродвигателя и всего насоса. По превышению данного параметра реализована защита на вывод оборудования из работы и включения в работу по АВР резервного насоса-дозатора.

Таким образом, в данной работе была проанализирована действующая система управления коррекционной обработкой котловой воды, произведена оценка ее работы и представлена возможная схема модернизации установки коррекционной обработки котловой воды котельного агрегата ГМ-50-14/240 Южной ТЭЦ г. Санкт-Петербург.

Список литературы:

1. Инструкция / ТИ ХЦ-16 по организации водно-химического режима котлов низкого давления ГМ-50-14 / ПАО “ТГК-1” филиал “Невский” “Южная ТЭЦ” : 2023. – 15 с. – Текст : непосредственный.
2. Манькина, Н. Н. Физико-химические процессы в пароводяном цикле электроснабжений / Н. Н. Манькина. – Москва : Издательство «Энергия», 1977. – 256 с. – Текст : непосредственный.
3. РТМ 24.030.24-72 Котлы паровые низкого и среднего давления. Организация и методы химического контроля за водно-химическим режимом: утвержден и введен Минэнерго СССР: дата введения 1972.01.01. – Москва : Машиностроение, 1972. – 16 с. – Текст : непосредственный.
4. ГОСТ 21.408-2013. Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов: национальной стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 17 декабря 2013 г. № 2293-ст : дата введения 2014-11-01. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 53 с. – Текст : непосредственный.
5. ГОСТ 21.208-2013. Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах : национальной стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 17 декабря 2013 г. № 2311-ст : дата введения 2014-11-01. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 30 с. – Текст : непосредственный.

6. ГОСТ 20995-75. Котлы паровые стационарные давлением до 3,9 МПа. Показатели качества питательной воды и пара : национальной стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие постановлением государственного комитета стандартов совета министров СССР от 09 июля 1975 г. № 1741 : дата введения 1977-01-01. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2014. – 6 с. – Текст : непосредственный

© Дмитриев Г. В., 2024

ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕПЦИИ SMART GRID В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

канд. техн. наук, старший преподаватель **Порубай Оксана Витальевна**,
Ферганский филиал Ташкентского университета информационных технологий
им. Мухаммада аль-Хорезми,
г. Фергана, Республика Узбекистан

Аннотация. В работе рассматривается применение программно-аппаратных комплексов для региональных ЭЭС, в рамках концепции Smart Grid. В процессе перехода к структурам, основанным на концепции Smart Grid, в качестве базового метода отдельное внимание заслуживает применение метода интеллектуализации подходов НАС, которые объединяют в себе достоинства нейронных сетей и сетей с нечеткой логикой.

Ключевые слова: концепция Smart Grid, нейро-аналитическая сеть, электроэнергетическая система, искусственная нейронная сеть.

APPLICATION OF THE SMART GRID CONCEPT IN THE TASKS OF CONTROLLING THE OPERATION MODES OF ELECTRIC POWER SYSTEMS

PhD in Technology, Senior Lecturer **Porubay Oksana Vitalevna**,
Fergana branch of the Tashkent University of Information Technologies named
after Muhammad al-Khorezmi,
Fergana, Republic of Uzbekistan

Abstract. The paper considers the application of hardware and software systems for regional power systems within the Smart Grid concept. In the process of transition to structures based on the Smart Grid concept, as a basic method, special attention should be paid to the application of the method of intellectualization of neuro-analytical network approaches, which combine the advantages of neural networks and fuzzy logic networks.

Keywords: Smart Grid concept, neuro-analytical network, electric power system, artificial neural network.

To apply Smart Grid technology in the design of electric power systems (EPS), the main condition for implementation is the presence of active, customizable, and controllable elements of electric power objects (EPO). The next point is the presence of automatic systems for monitoring, analyzing, and controlling the distribution of energy resources in the EES in online mode. At the same time, an important point is the intellectualization of the processes of distribution and consumption of energy

resources using Smart Grid technology, both at the hardware and software level [1, 2, 3].

The way out of this situation is an evolutionary transition from the existing EES control systems to the control systems of electric grids using the Smart Grid concept, which allows to reduce the number of many parameters when solving optimization problems related to the determination of power flow losses of EES [4, 5].

The main direction for the noted systems is the development of objects with the highest degree of automation.

Let us describe the state of the EES by a mathematical model [6]:

$$\begin{aligned} x_{h+1} &= x_h + T(x_h, H_k) \cdot v_k + G(x_k, H_k) \cdot \zeta_k \\ v_k &= \varphi(x_k, H_k) + \eta_k, \end{aligned} \quad (1)$$

where x_h – vector of control actions; x_k – EPS state vector; v_k – vector of measured values; H_k – matrix of power grid parameters; T, G – normalising matrices; ζ_k, η_k – random factors; φ – nonlinear function vector.

It can be seen from (1) that the dynamics of EPS are significantly influenced by random effects, which causes certain difficulties in the task of controlling the processes of transporting and consuming electricity. These and other factors of the complexity of EPS control determine the application of Smart Grid concept principles in the form of software and algorithmic complexity of EPS operation mode control, which is one of the main tasks of EPS operation mode optimization in real-time. To solve this problem, different methods are used, with different degrees of efficiency [7, 8, 9]:

- methods based on the replacement of systems with uncertain parameters by similar systems with deterministic data;
- methods based on the application of stochastic optimization principles;
- methods based on the application of the principles of multi-criteria optimization;
- methods of intellectual technologies, which include methods of fuzzy logic, neural networks, and artificial neural networks.

The analysis of existing methods of research of dynamic objects has shown that the most convenient mathematical apparatus for the creation of an EPS control system is the application of a hybrid neural network, including artificial neural network (ANN) and neuro-analytical network (NAN) [10, 11, 12]. The application of software and hardware complexes for regional EPSs, within the Smart Grid concept, seems to be the most effective under such conditions. In the process of transition to structures based on the Smart Grid concept, as a basic method, the application of the method of intellectualization of NAN approaches, which combine the advantages of neural networks and networks with fuzzy logic, deserves special attention [13, 14].

Within the Smart Grid concept, a formalized description of the generalized structural scheme of the ANN/NAS-based EPS control system has been developed [15, 16], which has a hierarchical structure and consists of two levels (Fig. 1.5): Electricity transport level (upper) and consumer load control level (lower). At the upper level, the problems of optimizing the generation of control actions are solved taking into account the dynamics of EPS parameters. At the same time, additional delay blocks (z^{-m} , z^{-n}) are introduced to take into account the delay of power transmission in the system. At

the lower level of the EPS structure, there is a local system of control of technological parameters of EPS subsystems, designed to compensate for changes in the structure and load in power grids. The control loop additionally includes a learning algorithm to determine the value of the neural network based on changes in the technological parameters of the control system, taking into account the information on electricity consumption in real time [16, 17].

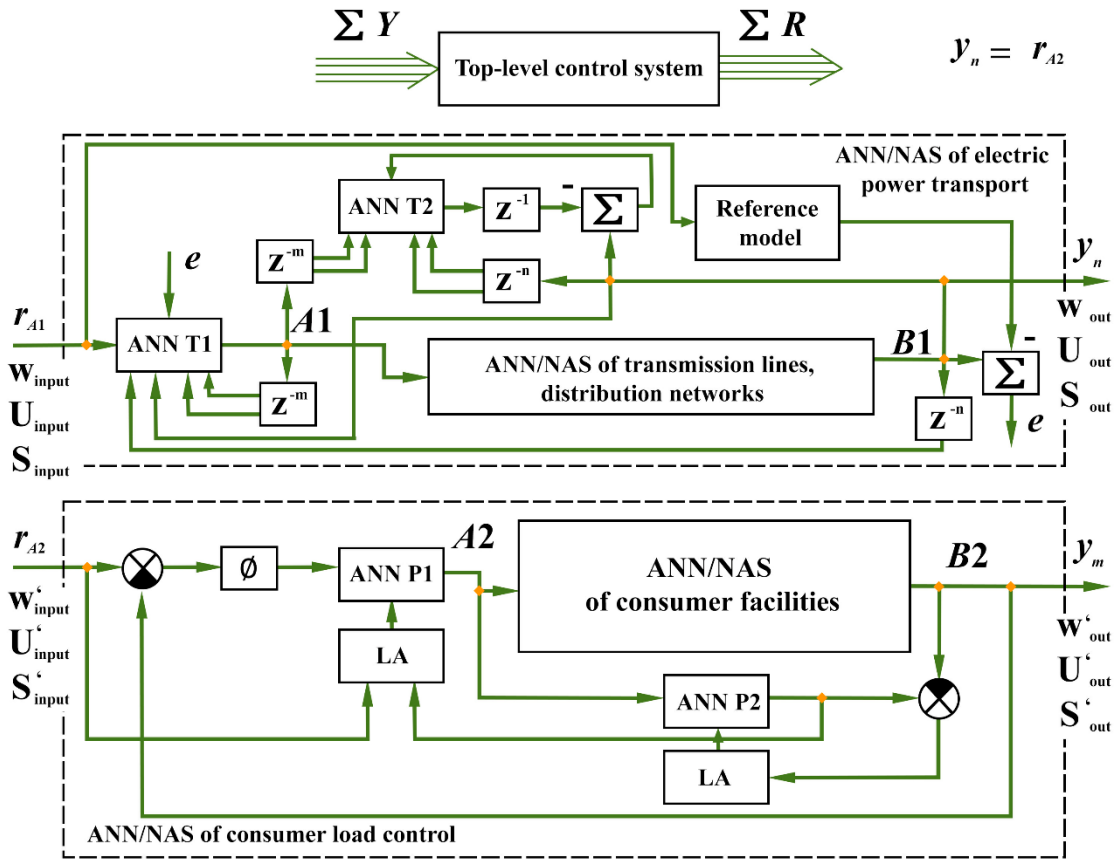


Figure 1 – Structural diagram of EPS control system with application of ANN and NAS

It should be noted that the proposed approach allows to give adaptive properties to the structure of the EPS control system and is reversible when parameters are changed and augmented, depending on the proposed applicability criterion. The main task of the topology under consideration is to improve the methods of energy efficiency (transport) and energy saving (power supply nodes) by finding global target functions through the joint work of ANN and NAS.

Application of NAS for forecasting, control, and optimization of EPS control modes allows for an increase in the properties of intelligence and adaptability of control processes of power consumption systems in the presence of various types of uncertainties of operation modes of power system equipment, as well as the probabilistic nature of external influences.

Список литературы:

1. Бурковский, В. Л. Реализация концепции Smart Grid с применением искусственных нейронных (ИНС) и нейро-нечётких сетей (ННС) / В. Л. Бурковский, В. Н. Крысанов, А. Л. Руцков // Энергия XXI век – 2015. – № 3 (91). – С. 38-46.
2. Крысанов, В. Н. Особенности реализации технологии Smart Grid в региональных системах электроснабжения / В. Н. Крысанов, А. Л. Руцков, Шукур Омар Шукур Махмуд // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2014. – Т.10, № 5-1. – С. 92-97.
3. Siddikov, I., & Porubay, O. (2021). Neural network model of decision making in electric power facilities under conditions of uncertainty. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 304, p. 01001). EDP Sciences.
4. Крысанов, В. Н. Анализ программно-аппаратного обеспечения сетей Smart Grid/ В. Н. Крысанов, Ю. В. Шарапов, А. Л. Руцков // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2015. – Т.11, № 4. – С. 97-101.
5. Siddikov, I., Porubay, O., & Mirjalilov, O. (2022, December). An algorithm for optimizing short-term modes of electric power systems, taking into account the conditions of the nature of the probability of the information flow of data. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2373, No. 8, p. 082014). IOP Publishing.
6. Бурковский, В. Л. Модель прогнозирования регионального энергопотребления на базе нечёткой нейронной сети / В. Л. Бурковский, В. Н. Крысанов, А. Л. Руцков, Шукур Омар Шукур Махмуд // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2015. – Т.11, № 5. – С. 41-46.
7. Руцков А. Л., Бурковский А. В., Яскевич О. Г. Оптимизационные модели управления динамикой перетоков мощности в электроэнергетических системах // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2018. – Т. 14, №. 6. – С. 92-97.
8. Siddikov, I., & Madina, K. (2022, September). Algorithm for optimizing the mode of electric power systems by active power. In *2022 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT)* (pp. 1-4). IEEE.
9. Siddikov, I., Rakhimov, T. (2024). Synthesis of the neuro-fuzzy regulator with genetic algorithm. *International Journal of Electrical & Computer Engineering* (2088-8708), 14(1).
10. Siddikov, I. K., & Porubay, O. V. (2022, June). Neuro-fuzzy system for regulating the processes of power flows in electric power facilities. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2432, No. 1). AIP Publishing.
11. Сиддиков, И. Х., Порубай, О. В. Нейросетевая модель принятия решений в электроэнергетических объектах в условиях неопределенности / И. Х. Сиддиков, О. В. Порубай // Научно-технический журнал. НТЖ ФерПИ. – 2023. – № 27. – С. 98-105.
12. Сидоренко, Е. В. Интеллектуализация управления внутренними потребительскими ресурсами АЭС на основе нейронных сетей / Е. В. Сидоренко, А. Л. Руцков, В. Л. Бурковский // Альтернативная и интеллектуальная энергетика: сб. тр. междунар. научн.-практ. конф. / Воронежский государственный университет, 2018. – С. 56-57.

13. Руцков, А. Л. Анализ применения нечётких нейронных сетей для прогнозирования энергопотребления промышленных предприятий / А. Д. Данилов, Шукур О. М., А. Л. Руцков // Актуальные научные исследования XXI века: теория и практика. – 2016. – Т. 4, № 6 (26). – С. 59-63.
14. Сиддиков, И. Х., Порубай, О. В., Хасанова, М. У. (2023). Нейро-нечеткая система регулирования процессов энергопотока в электроэнергетических объектах / И. Х. Сиддиков, О. В. Порубай, М. У. Хасанова // Научный вестник НамГУ. – 2023. – № 1. – С. 37-44.
15. Суханов, О. А. Иерархические модели в анализе и управлении режимами электроэнергетических систем / О. А. Суханов, Ю. В. Шаров. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 312 с.: ил.
16. Сиддиков, И. Х., Порубай, О. В. (2023). Нейро-аналитическая система оптимизации процессов энергопотока в объектах электроэнергетики / И. Х. Сиддиков, О. В. Порубай // Журнал «Приборы». – 2023. – № 9 (279). – С. 30-34.
17. Семенова Людмила Анатольевна. Разработка методики принятия решения по развитию систем электроснабжения с применением техноценологического подхода и теории нечетких множеств: диссертация кандидата технических наук : 05.14.02 / Семенова Людмила Анатольевна; [Место защиты: Ур. гос. техн. ун-т-УПИ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина]. – Екатеринбург, 2010. – 187 с.: ил. РГБ ОД, 61 10-5/2305.

© Порубай О. В., 2024

МАТЕРИАЛЫ
VII Всероссийской научно-практической конференции
обучающихся и преподавателей
«ЭНЕРГЕТИКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ
В СОВРЕМЕННОМ ОБЩЕСТВЕ»

2024

Редактор и корректор М. Д. Баранова
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 15.07.2024. Изд. № 5098/24

Высшая школа технологии и энергетики СПб ГУПТД
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4