ЭНЕРГЕТИКА, УПРАВЛЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ: ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ

МАТЕРИАЛЫ
III 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

III Всероссийской научно-практической конференции обучающихся и преподавателей «ЭНЕРГЕТИКА, УПРАВЛЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ: ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ»

Научное издание

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)

Ответственный редактор:

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 III Всероссийской научно-практической конференции обучающихся и преподавателей «Энергетика, управление и автоматизация: инновационные решения проблем» / 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. — 399 с.
ISBN 978-5-91646-383-5

В настоящем сборнике представлены материалы III Всероссийской научно-практической конференции обучающихся и преподавателей «Энергетика, управление и автоматизация: инновационные решения проблем», состоявшейся 22 декабря 2023 года в Санкт-Петербурге.

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

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

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

УДК 620.9
ББК 31

ISBN 978-5-91646-383-5

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2024
© Коллектив авторов, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Перекальский И. Н., Данилин П. М., Валишев Ю. А., Сагайдашный Д. К.
ПРИМЕНЕНИЕ NODE MSU И ARDUINO В РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМ ТЕЛЕМЕТРИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ. 9

Камолиддинова Ф. М., Абдуллаева А. М., науч. рук. Курбанова С. Б.
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ И ГАЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ PLC И SCADA. 16

Гуляченко И. В., Климова Д. Н.
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В КОММЕРЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ. . . . 21

Трейман М. Г.
ИЗУЧЕНИЕ ПРАКТИКИ ЭНЕРГОСЕРВИСНЫХ КОНТРАКТОВ НА РЕСУРСОСНАБЖАЮЩЕМ ПРЕДПРИЯТИИ. 26

Суслов В. А.
УСЛОВИЯ ДОКРИЗИСНОГО КИПЕНИЯ СУЛЬФАТНОГО ЩЁЛОКА ПРИ РАВНОМЕРНОМ ОБОГРЕВЕ ТРУБЫ ВЫПАРНОГО АППАРАТА. 31

Бутко В. П., науч. рук. Кузьмин Р. В.
ДУГОСТАТОРНЫЙ ИНДУКТОРНЫЙ ГЕНЕРАТОР КАК ОСНОВА БЕСПЛОТИННОЙ МИКРОГЭС ДЛЯ РАВНИННЫХ РЕК. 39

Иванов В. А., науч. рук. Кривоносова Н. В.
ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЕЛОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ. . . . 46

Цыкунова А. А., науч. рук. Сериков А. В.
ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИЛОВЫХ МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ. 52

Самусева Н. В.
АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ЭЛЕМЕНТА ПЕЛЬТЬЕ. 63

Исаев А. С., Суханов В. А.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ОТКЛЮЧЕНИЯ АВАРИЙНОГО РЕЖИМА РЕШЕНИЕМ УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ РОТОРА СИНХРОННОЙ МАШИНЫ. 68

Момот С. А., науч. рук. Губарь В. Н.
МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ БЕТОННОЙ СМЕСИ СПОСОБОМ ЭЛЕКТРООБРАБОТКИ. 74

Москаленко П. А., науч. рук. Горобченко С. Л.
ОДНОФАЗНАЯ FLISR: ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД
К АВТОМАТИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ. 81

Левашева П. Д., науч. рук. Суслов В. А.
ТЕПЛОВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫПАРНЫХ СТАНЦИЙ
В ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ. 86

Касаткин А. Н., науч. рук. Борисова О. В.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНТРОЛЛЕРОВ «SIEMENSLOGO!»
И «ОВЕН ПР205» С ЦЕЛЬЮ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ. 93

Халилов Ф. М., Борисова О. В.
БУДУЩЕЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ:
ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ. 97

Резепкин П. П., науч. рук. Генварева Ю. А.
К ВОПРОСУ ОБ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ
ТРАНСПОРТЕ. 101

Моликов П. А., Шенцева М. С., науч. рук. Коротких А. А.
ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИЛЫХ
ОБЪЕКТОВ. 105

Моликов П. А., науч. рук. Коротких А. А.
АКТУАЛЬНОСТЬ МОНИТОРИНГА СИСТЕМ
ГОЛОЛЕДООБЛЕДЕНЕНИЯ. 113

Богданова А. Н.
БИОМИМИКРИЯ В ДИЗАЙНЕ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ: НОВЫЕ
ПОДХОДЫ К МАТЕРИАЛАМ И КОНСТРУКЦИЯМ. 118

Федорук С. С., Рыжиков В. А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
КОМБИНИРОВАННОГО ТОПЛИВНОГО БРИКЕТА, СОДЕРЖАЩЕГО
ЦЕЛЛЮЛОЗУ И СИНТЕТИЧЕСКИЕ ПОЛИМЕРЫ. 124

Таутиев И. М.
АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОГО ФОРМИРОВАНИЯ
МАШИН И МЕХАНИЗМОВ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ДЕМОНТАЖНЫХ
РАБОТ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. 130

Вергун В. С., науч. рук. Кривоносова Н. В.
УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ
С ПОМОЩЬЮ ТИКЕТ-СИСТЕМЫ. 136

Соловьев Д. С.
К ВОПРОСУ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СИНТЕЗА
СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ. . . 142

Киселёв А. А., науч. рук. Леонова Н. Л.
ПРОВЕРКА СТАТИСТИЧЕСКИХ ГИПОТЕЗ С ПОМОЩЬЮ ЯЗЫКА
ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON. 146

Мансуров Д. О., науч. рук. Ершов К. К.
АНАЛИЗ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ АСИНХРОННЫХ МАШИН. . . 152

Дорофеева К. И., науч. рук. Горобченко С. Л.
ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ. 157

Запылихина А. Р., науч. рук. Юсупова И. Г.
АНАЛИЗ РОССИЙСКОГО РЫНКА КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ
ПРИБОРОВ В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ. 164

Мазяркин Д. В., науч. рук. Ершов К. К.
ЦИФРОВОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО: НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ПЕРЕДАЧУ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА. 168

Кащеев К. О., науч. рук. Ширяев А. Д.
ИНТЕГРАЦИЯ ВЕТРЯНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В СИСТЕМАХ
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЧАСТНОГО ДОМА. 174

Абдрахманов Д. Р., Борисова О. В., науч. рук. Гильфанов К. Х.
СИСТЕМА МАСЛОСНАБЖЕНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
УСТАНОВКИ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ТАТАРСТАНА. 182

Николенко К. В., Николенко А. В., Курсин В. В.
ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЕН
С ВЗАИМОСВЯЗАННЫМИ ПОРАМИ В КОМПАКТНЫХ
ТЕПЛООБМЕННИКАХ. 186

Аймалетдинов Р. М., Воякин Н. Р., науч. рук. Кронгауз Д. Э.
СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РАНЖИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ 191

Поплавская П. С., науч. рук. Оробинский А. М.
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ НА БАЗЕ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА ОСНОВЕ
ПРИМЕНЕНИЯ УМНЫХ СЕТЕЙ (SMART GRID). 196

Мансуров Д. О., науч. рук. Королёв В. И.
РАЗРАБОТКА РАСЧЁТНОЙ СХЕМЫ КОЛЕБАНИЙ ГРУЗА
ПРИ ДВИЖЕНИИ МОСТОВОГО КРАНА. 201

Пономарев А. А., науч. рук. Соловьев Д. С.
ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЯ ПЕРЕДАЧА АУДИОСИГНАЛА ПО ТЕХНОЛОГИИ BLUETOOTH НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ESP32 И МИКРОСХЕМЫ PCM5102A. 207

Босе У., науч. рук. Кузменко Ю. Г.
РОЛЬ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В УСТОЙЧИВОМ РАЗВИТИИ РЕГИОНАЛЬНОГО СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ. 213

Таранухин А. С., науч. рук. Мезенцева А. В.
ОПТИМАЛЬНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА РЕОСТАТНЫМ СПОСОБОМ. 223

Федорова У. Н., Апаев С. В., Яндарханова М. З., науч. рук. Янукян А. П.
КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К БОРЬБЕ С КОРРОЗИЕЙ НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ. 229

Маняхина З. А., Черемухов Д. В., науч. рук. Кривоносова Н. В.
ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВИЗАЦИИ БЕРЕЖЛИВОГО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ. 236

Ермолович В. С., науч. рук. Шпенст В. А.
ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ НЕИСПРАВНОСТЕЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК. 242

Тарасенко В. А., науч. рук. Беловодский Е. А.
ПРИМЕНЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ. 248

Кравчук А. А., науч. рук. Гаврилова С. В.
ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВА ПЛАВНОГО ПУСКА НА ОСНОВЕ ТРАНЗИСТОРНОГО РЕГУЛЯТОРА НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ГРУЗОПОДЪЕМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ. . 254

Зиангиров А. Ф., науч. рук. Зинуров В. Э.
АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ СОЗДАНИЕ ОДНОТИПНЫХ 3D-МОДЕЛЕЙ ПРИ ПОМОЩИ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ. 260

Кириллов Д. С., Борисова О. В.
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ПРОИЗВОДСТВЕ. 265

Хакимова А. З., Борисова О. В., науч. рук. Гильфанов К. Х.
АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ АСУ ТП
В СОВРЕМЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. 270

Сычева М. П., науч. рук. Николаева А. Г.
АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА СТОИМОСТЬ ПРОЕКТНО-
ИЗЫСКАТЕЛЬСКИХ РАБОТ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ГАЗОПРОВОДОВ
В МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ. 279

Рубцов К. Д., науч. рук. Жуйко Л. И.
РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПОПЕРЕЧНОЙ
ЕМКОСТНОЙ КОМПЕНСАЦИИ. 287

Фролов А. В.
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ГРУЗА
АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ. 294

Маткурбанов Т. А., науч. рук. Родионов А. С.
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО
МОНИТОРИНГА БОЛЬШИХ ТЕРРИТОРИЙ НА ОСНОВЕ
СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. 301

Марковчин К. В., Гугин М. В., науч. рук. Ковалёв Е. Н.
АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ
ПАРАЛЛЕЛЬНО С СЕТЬЮ ПОТРЕБИТЕЛЯ. 310

Мерзлая Д. М., науч. рук. Кундюков О. А.
ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В СИСТЕМАХ
УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ. 319

Чепелева К. В., науч. рук. Королева Е. Б.
РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ В СИСТЕМЕ
С ТУРБИНОЙ ПТ-80-130. 325

Савенко А. В., науч. рук. Крюков К. А.
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ
В ЧАСТНЫХ ДОМАХ НА ТЕРРИТОРИИ КРАСНОДАРСКОГО
КРАЯ. 337

Морошкин И. К., Ремизова И. В.
ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ
ОПТИМИЗАЦИИ РАСКРОЯ МАТЕРИАЛА. 342

Чолокоглы М. А., науч. рук. Гуляев А. И.
ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ И ИХ СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ. 348

Мерзлая Д. М., Максимов Я. В., науч. рук. Благодарный Н. С.
ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ С НЕЛИНЕЙНОЙ КРИВОЙ НАМАГНИЧИВАНИЯ В СРЕДЕ SIMULINK. 359

Ремизова И. В.
ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АДАПТИВНОЙ МОДЕЛИ В СИСТЕМАХ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ КОТЕЛЬНОЙ. . 368

Акимов А. И.
ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОМАССОПЕРЕДАЧИ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ КОМПОЗИТАХ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ В ФАЗЕ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. 374

Морозов Н. А., Родоманова К. С., науч. рук. Калмук А. С.
АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ КОРАБЕЛЬНЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК НА ОРГАНИЧЕСКОМ ТОПЛИВЕ. 380

Шахова А. В., науч. рук. Беловодский Е. А.
КАКОВА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРАДИЦИОННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ? 387

Герт С. А., Горобченко С. Л.
РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ МЕТОДОВ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ. 392

Титенков В. В., Лавриков В. А., науч. рук. Рахматуллина Д. Э.
ВОДНЫЙ РЕЖИМ РЕАКТОРА ТИПА ВВЭР. 396

УДК 374

ПРИМЕНЕНИЕ NODE MSU И ARDUINO В РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМ ТЕЛЕМЕТРИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

программист **Перекальский Игорь Николаевич,**
Уральский завод тяжёлого машиностроения,
студент **Данилин Павел Михайлович,**
студент **Валишев Юрий Альбертович,**
Екатеринбургский техникум «Автоматика»
учащийся **Сагайдашный Данил Константинович,**
г. Екатеринбург, Российская Федерация

Аннотация. В настоящее время разработка систем телеметрии и мониторинга на промышленных предприятиях имеет важное значение для множества выполняемых задач. С целью повышения эффективности и надежности таких систем исследователи и инженеры всегда в поиске инновационных решений и технологических платформ.

В данной работе исследуется потенциал применения Node MSU в связи с Arduino, двух популярных открытых платформ для разработки программного и аппаратного обеспечения, при создании систем телеметрии и мониторинга на предприятии машиностроения. Особое внимание уделяется интеграции этих платформ с системой управления базами данных MS SQL, уже существующей на предприятии, и передачей информации с использованием Telegram бота.

Ключевые слова: Arduino, NodeMsu, IOT, интернет вещей, умный дом, телеметрия, мониторинг оборудования.

APPLICATION OF NODE MSU AND ARDUINO IN THE DEVELOPMENT OF TELEMETRY SYSTEMS FOR AN INDUSTRIAL ENTERPRISE

Programmer **Perekalsky Igor Nikolaevich,**
Ural Heavy Engineering Plant,
Student **Danilin Pavel Mikhailovich,**
Student **Valishev Yuri Albertovich,**
Ekaterinburg technique «Automatics»,
student **Sagaidashny Danil Konstantinovich,**
Ekaterinburg, Russian Federation

Abstract. Currently, the development of telemetry and monitoring systems at industrial enterprises is important for many tasks performed. In order to improve the efficiency and reliability of such systems, researchers and engineers are always looking for innovative solutions and technology platforms.

This paper explores the potential of using Node MSU in connection with Arduino, two popular open platforms for software and hardware development, when creating telemetry and monitoring systems in a mechanical engineering enterprise.

Particular attention is paid to the integration of these platforms with the MS SQL database management system already existing in the enterprise and the transfer of information using a Telegram bot.

Keywords: Arduino, NodeMsu, IOT, Internet of things, smart home, telemetry, equipment monitoring.

Основные понятия и термины

В данной статье будут рассмотрены следующие основные понятия и термины:

Телеметрия – процесс сбора и передачи информации о состоянии различных объектов или процессов на расстоянии.

Node MSU – микроконтроллер, предназначенный для работы с различными датчиками и исполнительными устройствами.

Arduino – платформа для создания различных устройств и систем на базе микроконтроллеров, позволяющая упростить процесс разработки и отладки.

Telegram-бот – программа, работающая на удаленном сервере, которая взаимодействует с пользователем через Telegram.

База данных MS SQL – система управления реляционными базами данных, разработанная корпорацией Microsoft.

Введение

В условиях быстрого развития технологий и повсеместного доступа к интернету сбор, передача и анализ данных стали ключевыми компонентами успешного управления и мониторинга удаленными объектами, к которым относятся крупные машиностроительные предприятия. При этом интеграция различных технологических решений и платформ в одну систему стала неотъемлемой частью современных проектов телеметрии. Исследование применения Node MSU и Arduino в этом контексте актуально, так как оно позволяет исследовать эффективные способы интеграции и управления данными, что, в свою очередь, способствует повышению производительности и надежности систем мониторинга и управления. Немаловажным фактом при этом является то, что решение позволяет обеспечить необходимую надежность, масштабируемость вне зависимости от характеристики производственных процессов, где оно применяется.

Данный аспект имеет важное значение в контексте оптимизации процессов и снижения затрат в различных отраслях промышленности, а также в научных исследованиях и экспериментах.

Примеры систем телеметрии, применяемых на заводах, могут включать в себя следующие:

- Системы мониторинга оборудования и производственных линий;
- Системы контроля и управления энергопотреблением;
- Системы мониторинга качества продукции;
- Системы телеметрии для автоматизации складов и логистики;
- Системы мониторинга условий окружающей среды;
- Системы мониторинга безопасности;
- Системы управления доступом и контроля персонала.

Подобная классификация основывается на работах таких авторов как [1,2].

Примеры построения систем телеметрии в рассматриваемых областях с применением контроллеров типа Arduino не является новым решением. Подобные системы рассматривались такими авторами как [2–5].

Общая тематика всех предложенных статей связана с различными аспектами систем мониторинга для промышленных объектов, основанными на современных технологиях, таких как Интернет вещей (IoT), облачные вычисления и различные аппаратные средства. Общая цель всех предложенных работ – повысить эффективность, надежность и управляемость систем мониторинга, что может привести к улучшению качества окружающей среды, снижению энергопотребления и оптимизации производственных процессов.

Существующие решения для телеметрии

За рубежом популярностью пользуются такие, как Siemens WinCC [6], Wonderware InTouch [7]. В России существует множество систем монитиринга производственных процессов. Они различаются по объемам обработки информации, способам предоставления её пользователю. ТЕРАДЕКС СКАДА (TERADEX SCADA) [8], ИнфоТеКС [9], SCADA TRACE MODE и др.

Недостатки существующих систем телеметрии могут варьироваться в зависимости от конкретных решений и применений, однако существуют общие тенденции и проблемы, с которыми сталкиваются многие системы. Вот некоторые из распространенных недостатков:

- Высокие затраты на развертывание и обслуживание;
- Сложность интеграции с существующими информационными системами;
- Зависимость от надежности сетей и связи;
- Безопасность данных;
- Сложность анализа и визуализации данных;
- Ограничения в энергопотреблении;
- Сложность масштабирования;
- Легкость в обслуживании и обновлениях.

Подобная классификация основывается на работах таких авторов как [10–14].

Устранение недостатков и повышение эффективности систем телеметрии требует комплексного подхода, включая анализ требований, выбор подходящих технологий, обеспечение безопасности данных и постоянное обновление системы в соответствии с потребностями предприятия.

Описание решения на основе Node MSU и Arduino

Авторами исследуется возможность применения решения на основе Node MSU и Arduino, в области систем мониторинга оборудования и производственных линий, мониторинга условий окружающей среды, мониторинга безопасности. В ходе разработки решения исследовалась возможность нивелировать такие недостатки, как высокие затраты на развертывание и обслуживание, сложность интеграции с существующими информационными системами, сложность масштабирования, трудности в обслуживании и обновлениях.

Исходя из поставленной цели и ограничений, налагаемых на решение, разработана следующая архитектура. Апробация решения проводится на площадке «Уралмашзавода».

Архитектура решения

Модуль Arduino будет подключен к различным сенсорам и датчикам, которые будут непрерывно собирать телеметрические данные о параметрах на заводе. В первой версии используются датчики: DHT22, BH-1750, релейный модуль для управления системой сигнализации.

Модуль передачи данных Node MSU (Microservices Unit) будет ответственным за сбор данных с Arduino и передачу их в центральную систему. Node MSU может быть программным компонентом, работающим на сервере в локальной сети завода.

Модуль базы данных MS SQL Центральная система будет использовать Microsoft SQL Server (MS SQL) в качестве базы данных для хранения телеметрических данных. Данные будут записываться в базу данных для последующего анализа и отчетности.

Модуль Telegram Bot. Для мониторинга данных и взаимодействия с системой телеметрии, на заводе Уралмаш будет развернут Telegram бот. Бот будет интегрирован с базой данных MS SQL и сможет предоставлять операторам и инженерам доступ к текущим данным и статистике, он также обеспечивает интерфейс пользователя. Сотрудники завода и инженеры смогут использовать мобильное приложение Telegram для доступа к данным телеметрии. Они смогут запрашивать статус оборудования, получать уведомления о событиях и принимать решения на основе полученных данных.

Модуль Система уведомлений Telegram бот также будет ответственным за отправку уведомлений и оповещений в случае возникновения аварийных ситуаций или превышения определенных пороговых значений параметров. Общий вид разработанного решения можно увидеть на рисунке 1.

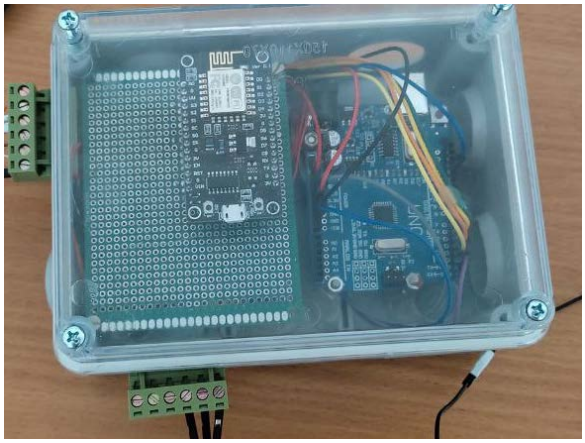


Рисунок 1. Общий вид системы телеметрии

Принципиальная схема взаимодействия контроллеров представлена ниже (рис. 2).

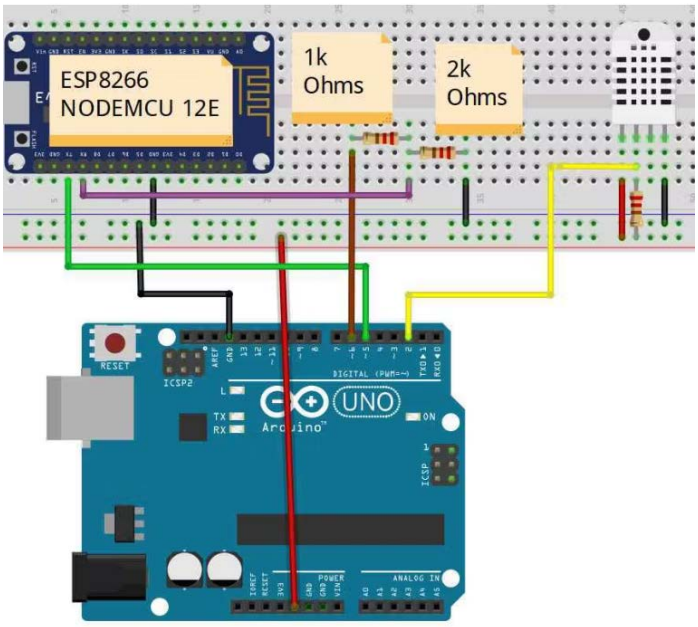


Рисунок 2. Принципиальная схема взаимодействия контроллеров

Перечень используемого оборудования, а также исходные коды, схемы устройства предлагаемого решения можно рассмотреть в открытом git репозитории https://github.com/Perekalskiyigor/ESPmonitoring_Uztm.git.

Результаты исследования

Исследован потенциал применения Node MSU в связи с Arduino, для разработки программного и аппаратного обеспечения, при создании систем телеметрии и мониторинга на предприятии «Уралмашзавод». Произведена интеграция решения с системой управления базами данных MS SQL, уже существующей на предприятии. Разработан Телеграм бот, который отвечает за предоставления интерфейса пользователя и позволяет сделать систему мониторинга универсальной и масштабируемой. Система запущена и в данный момент происходит её тестирование.

Перспективы развития

Возможности дальнейшего развития систем телеметрии включают интеграцию с искусственным интеллектом и аналитикой данных. Дальнейшее усовершенствование систем телеметрии может включать в себя интеграцию с инструментами и методами искусственного интеллекта (ИИ) для более точного анализа данных и прогнозирования аварийных ситуаций. Использование машинного обучения может помочь предсказывать неисправности и оптимизировать производственные процессы.

Расширение функциональности Telegram бота: Telegram боты могут быть усовершенствованы для предоставления более широкого спектра услуг, таких как команды для удаленного управления оборудованием, запросы аналитических отчетов и более продвинутые системы уведомлений.

Интернет вещей (IoT) и сети 5G: Применение IoT-технологий и сетей 5G может значительно расширить дальность и пропускную способность системы

телеметрии. Это позволит мониторить удаленные объекты и передавать данные в режиме реального времени с высокой скоростью.

Увеличение числа сенсоров и параметров мониторинга. С развитием технологий и уменьшением стоимости датчиков можно ожидать расширения числа измеряемых параметров и областей применения систем телеметрии.

Облачные решения: Использование облачных технологий позволит хранить и анализировать большие объемы данных и обеспечивать доступ к ним из любой точки мира, что становится все более важным для глобальных предприятий.

Все эти возможности будут способствовать улучшению надежности, производительности и безопасности производственных процессов на заводах, что является ключевой целью систем телеметрии.

Заключение

В настоящее время разработка систем телеметрии и мониторинга имеет важное значение для множества применений, включая промышленность, научные исследования и многие другие области. С целью повышения эффективности и надежности таких систем исследователи и инженеры всегда в поиске инновационных решений и технологических платформ.

В данной научной статье был рассмотрен потенциал применения Node MSU и Arduino, двух популярных открытых платформ для разработки программного и аппаратного обеспечения при создании систем телеметрии. Особое внимание было уделено интеграции этих платформ с системой управления базами данных MS SQL и передачей информации с использованием Telegram бота.

Список литературы:

1. Industrial process monitoring using loT | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore [сайт]. URL: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8058374 (дата обращения: 08.10.2023).
2. IoT-Based SCADA System Design and Generation Forecasting for Hydropower Station [сайт]. URL: https://www.researchgate.net/publication/355638596_IoT-Based_SCADA_System_Design_and_Generation_Forecasting_for_Hydropower_Station (дата обращения: 08.10.2023).
3. Polluino: An efficient cloud-based management of IoT devices for air quality monitoring | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore [сайт]. URL: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7740617 (дата обращения: 08.10.2023).
4. Electronics | Free Full-Text | Advanced Data Systems for Energy Consumption Optimization and Air Quality Control in Smart Public Buildings Using a Versatile Open Source Approach [сайт]. URL: https://www.mdpi.com/2079-9292/11/23/3904 (дата обращения: 08.10.2023).
5. D S. et al. Recent Trends in Computational Intelligence and Its Application: Proceedings of the 1st International Conference on Recent Trends in Information Technology and its Application (ICRTITA, 22). CRC Press, 2023. 565 p.

6. Sheng Z., Ji C., Hua S. Application of Siemens PLC and WinCC in the Monitoring-Control System of Bulk Grain Silo // 2018 Chinese Control And Decision Conference (CCDC). 2018. P. 4689–4693.
7. Design of SCADA for Protection System of Uncoiled DC Motor’s Temperature using PLC ABB AC 800PEC Based on Wonderware Intouch - IOPscience [Electronic resource]. URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/722/1/012031/meta (дата обращения: 08.10.2023).
8. SCADA TRACE MODE. Российская SCADA система для АСУ ТП. Скачать SCADA [сайт]. URL: http://www.adastra.ru/ (дата обращения: 08.10.2023).
9. Официальный сайт компании «ИнфоТеКС» | Безопасность информационных систем и защита данных, программное обеспечение [сайт]. URL: https://infotecs.ru/ (дата обращения: 08.10.2023).
10. Интеллектуальные SCADA-системы: истоки и перспективы [Electronic resource]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualnye-scada-sistemy-istoki-i-perspektivy/viewer (дата обращения: 08.10.2023).
11. Майданович О. В. Интеллектуальные технологии автоматизированного мониторинга сложных технических объектов // Труды Спииран. – 2013. – № 6 (29). – P. 201–216.
12. Костогрызов А. И., Григорьев Л. И., Бурцева А. Е. Информационно-аналитические системы мониторинга качества в нефтегазовом комплексе. Системные основы и перспективы развития // Труды Российского Государственного университета нефти и газа имени им. Губкина. – 2012. – № 3 (268). – P. 140–150.
13. Low-Cost Open Source IoT-Based SCADA System for a BTS Site Using ESP32 and Arduino IoT Cloud | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore [сайт]. URL: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9666691 (дата обращения: 08.10.2023).
14. Raspberry Pi SCADA Zonal based System for Agricultural Plant Monitoring | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore [сайт]. URL: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9107689 (дата обращения: 08.10.2023).

© Перекальский И. Н., Данилин П. М., Валишев Ю. А., Сагайдашный Д. К., 2023

УДК 66.5

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ И ГАЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ PLC И SCADA

студент **Камолиддинова Феруза Мирзохидовна,**
студент **Абдуллаева Аусел Мамудовна,**
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент **Курбанова Севара Бахетюровна,**
Филиал Российского государственного
университета нефти и газа (НИУ),
г. Ташкент, Республика Узбекистан

Аннотация. Автоматизация процессов переработки нефти и газа играет важную роль в обеспечении безопасности работников, точности управления оборудованием и сокращении трудозатрат. Многие процессы контролируются традиционными методами или Distributed Control System. Конкретный SCADA/PLC состоит из семи блоков, и три из них используются для управления процессами нефтепереработки. Создание высокостабильного и надежного SCADA/PLC должно определять управление автоматической переработкой нефти и газа.

Ключевые слова: нефтепереработка, автоматизация, графические интерфейсы, SCADA, PLC, DCS.

AUTOMATION OF THE OIL AND GAS REFINING PROCESS USING PLC AND SCADA

Student **Kamoliddinova Feruza Mirzoxidovna,**
Student **Abdullayeva Aysel Mamudovna,**
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor
Kurbanova Sevara Bakhtiyorovna,
Branch of the Russian State University of Oil and Gas (NRU),
Tashkent, Republic of Uzbekistan

Abstract. Automation of oil and gas refining processes plays an important role in ensuring the safety of workers, the accuracy of equipment management and reducing labor costs. Many processes are controlled by traditional methods or Distributed Control System. A specific SCADA/PLC consists of seven blocks and three of them are used to control oil refining processes. The creation of a highly stable and reliable SCADA/PLC should determine the management of automatic oil and gas refining.

Keywords: oil refining, automation, graphical interfaces, SCADA, PLC, DCS.

Автоматизация производственных процессов является решающим фактором повышения производительности труда и повышения качества продукции. Производственные процессы на современных промышленных объектах требуют контроля множества показателей и сложны в управлении. Под

автоматизацией процессов добычи нефти и газа следует понимать комплекс мероприятий по научно-технической модернизации систем и сооружений, направленных на снижение уровня участия персонала в деятельности предприятия. За счет внедрения прогрессивных методик и основных средств предприятию удается оптимизировать и модернизировать производственный процесс [1].

Цифровая трансформация в нефтегазовой отрасли в основном сосредоточена на новых технологиях, таких как искусственный интеллект (AI), роботизированная автоматизация процессов (RPA) и The Industrial Internet of Things (IIoT).

На рынке АСУ ТП огромной популярностью пользуются такие автоматизированные системы управления технологическими процессами, как SCADA, Profit Controller и др.

На сегодняшний день на нефтеперерабатывающих заводах используют традиционно распределенную систему управления (РСУ/DCS). DCS — это автоматизированная система управления, которая включает в себя географически распределенные системы управления по всему объекту или региону управления.

DCS — это технология управления процессами, которая связывает датчики, процессоры, операторские интерфейсы и приводы через сеть. DCS обычно имеет один или несколько процессоров для управления и связи с использованием собственных связей и протоколов, тогда как предлагаемая нами система управления SCADA означает человеко-машинный интерфейс (HMI), датчики которой используются для контроля и управления химическими, физическими и технологическими процессами, тем самым оказывая положительное влияние на эксплуатацию, техническое обслуживание, развитие технологических процессов и т. д. [2].

Так, SCADA системы — это совокупность устройств и информационно-коммуникационных инфраструктур, используемых для безопасной и надежной эксплуатации удаленных объектов. Система SCADA полагается на другие периферийные устройства, такие как PLC (программируемый логический контроллер) и PID-регуляторы (пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор) для взаимодействия с технологической установкой или оборудованием для регулирования расхода, давления, температуры и других параметров промышленного процесса. Система имеет ряд преимуществ [1].

- обменивается сводками с датчиками производственного оборудования в режиме реального времени;
- разрабатывает отчеты о результатах производственного процесса;
- управляет, мониторит и дистанционно измеряет необходимые параметры в режиме реального времени;
- анализирует устойчивость и работоспособность технологического процесса [1].

В этой статье рассматривается графические интерфейсы SCADA предназначенные для мониторинга и управления следующими процессами нефтеперерабатывающих заводов [3].

В этом окне показан разделительный блок (рис. 1), в котором сырая нефть из резервуара проходит через нагреватель, где в зависимости от различной температуры кипения отделяются различные продукты, такие как нафта, сжиженный газ, керосин, газойль и прямогонный остаток, который снова отправляется на дальнейшую переработку [5].

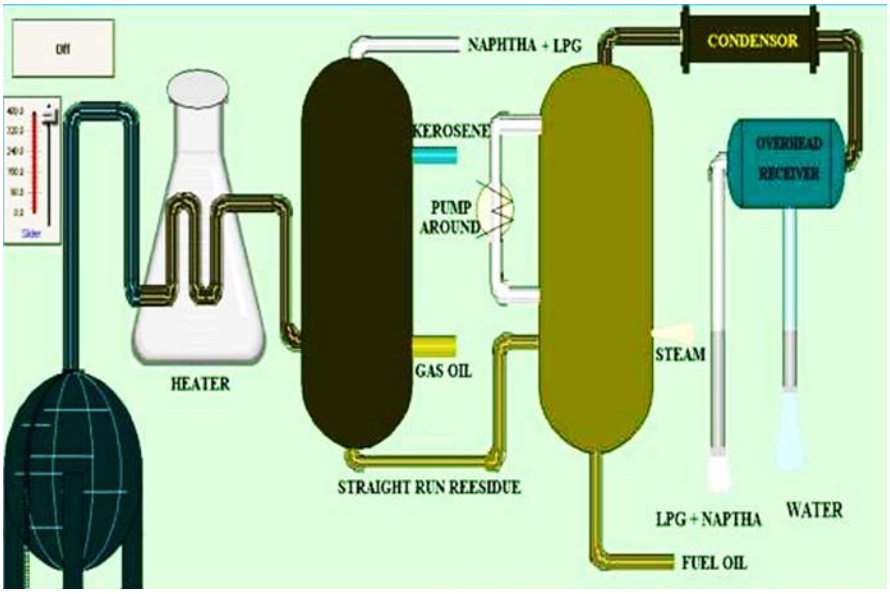


Рисунок 1. Разделительный блок [5]

Производственный блок представлен на рисунке 2. В этом окне можно проследить, как отделенная сырая нефть в виде прямогонного остатка подается в нагреватель таким образом, чтобы полностью удалить оставшуюся воду, а затем через горизонтальный резервуар снова подается в реактор, откуда отделяются сжиженный газ и нафта [6].

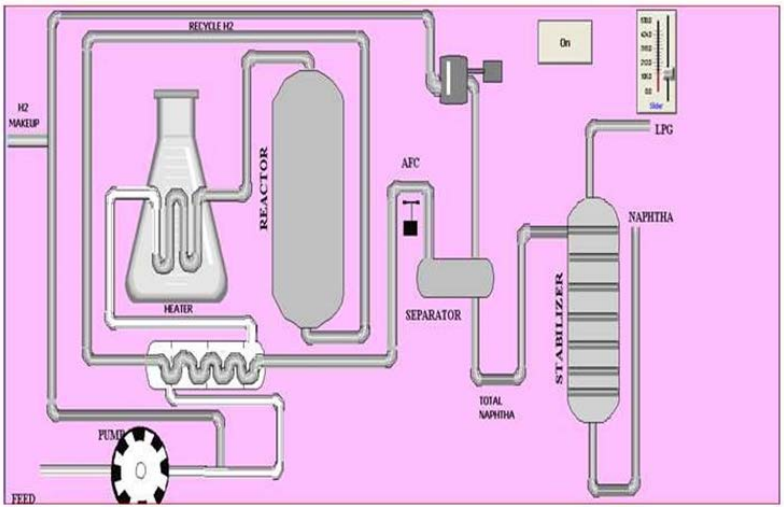


Рисунок 2. Производственный блок [6]

В дистилляционном блоке, который представлен на рисунке 3, происходит процесс дистилляции, поскольку сырая нефть является конечным продуктом. Дистилляция – это процесс, в котором тепло используется для разделения смеси углеводородов на два или более относительно чистых продукта (или фракции) по разнице в их соответствующих температурах кипения или диапазонах кипячения. При нагревании смеси углеводородов легкие компоненты первыми закипают и переходят в парообразное состояние. Эти пары охлаждаются и конденсируются с образованием фракции. Таким образом, целью дистилляции сырой нефти является, прежде всего, разделение сырой нефти на несколько фракций дистиллята с определенным диапазоном кипения [7].

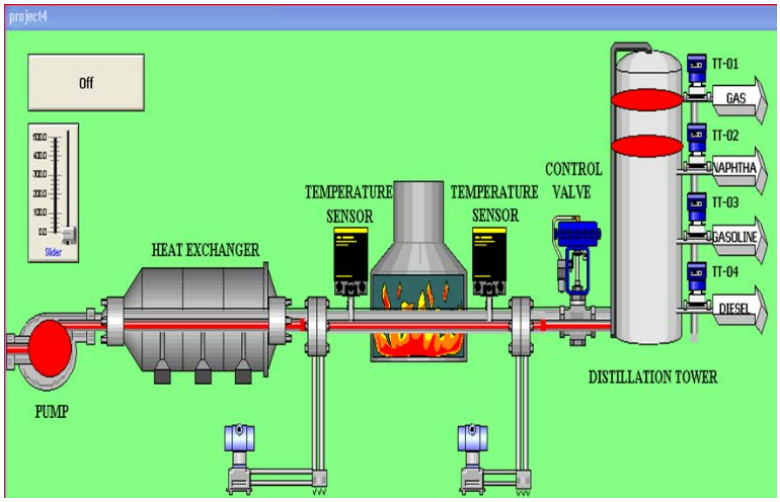


Рисунок 3. Дистилляционный блок [7]

Далее насос выгружает сжиженный газ, нафту, бензин, керосин и дизельное топливо соответственно из дистилляционной колонны и подает их в резервуары для хранения в блоке хранения/отгрузки продукта. Станция учета сжиженного газа используется для измерения объема газа, передаваемого из регионов-производителей в регионы-потребители [8]. SCADA и DCS — это две разные системы автоматизации производства, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки. Однако, в контексте автоматизации процессов переработки нефти и газа, SCADA может быть более предпочтительной системой по следующим причинам:

- Безопасность: SCADA обеспечивает более высокий уровень безопасности, так как она позволяет операторам удаленно контролировать и управлять процессами, не находясь в зоне риска.
- Гибкость: SCADA более гибкая система, которая может быть настроена для управления различными процессами и оборудованием, что позволяет ей лучше адаптироваться к изменяющимся условиям производства.
- Экономическая эффективность: SCADA может быть более экономически эффективной, так как она позволяет сократить затраты на техническое обслуживание и управление персоналом.
- Легкость в использовании: SCADA более простая в использовании, что позволяет операторам быстро освоить систему и начать работу с ней [9].

- Высокая производительность: SCADA обеспечивает более высокую производительность, так как она позволяет операторам быстро реагировать на изменения в процессах и управлять ими более эффективно.

В целом, SCADA может быть более предпочтительной системой автоматизации процессов переработки нефти и газа, так как краны SCADA, подключенные к программируемому логическому контроллеру (PLC) с помощью коммуникационных кабелей, используются для мониторинга таких операций, как мониторинг добычи, первичной очистки, переработки и транспорта, что в свою очередь обеспечивает высокий уровень безопасности и надежности благодаря возможности быстрого обнаружения и предотвращения возможных аварийных ситуаций. Установка состоит из семи основных циклов с большим количеством входных и выходных сигналов, подключенных к контроллеру AB PLC, а также к программной SCADA-системе (WINCC) для мониторинга системы [1].

Это особенно важно в нефтеперерабатывающей промышленности, где любая аварийная ситуация может привести к серьезным последствиям для окружающей среды и здоровья людей.

Список литературы:

1. Автоматизация производства: современные системы // Adeptic [сайт]. – Режим доступа: https://adeptik.com/blog/avtomatizaciya proizvodstva-sovremennye-sistemy / (дата обращения: 26.09.2023).
2. K. Gowri Shankar, Control of boiler operation using PLC–SCADA, in: Proceedings of the International Multi-conference of Engineers and Computer scientists IMECS 2008 Hong Kong 2008, vol II, pp. 19–21, March 2008.
3. Iman Morsi, Mohamed ElDeeb, Amr El Zawawi, SCADA/HMI Development for a Multistage Desalination Plant, Computation World: Future Computing, Athens, 2009. pp. 67–71.
4. Havard Devold, «Oil and gas production handbook an introduction to oil and gas production, transport, refining and petrochemical industry», Edition 3.0 Oslo, August 2013
5. Natural gas is an important fuel and a raw material in manufacturing [сайт]. – Режим доступа: https://geology.com/articles/natural-gas-uses/ (дата обращения: 05.06.2023).
6. Oil and Gas – For Students [сайт]. – Режим доступа: http://www.oilandgas.org.uk/oil-and-gas-education/ (дата обращения: 05.06.2023).
7. Robert F. Mitchell, Petroleum Engineering Handbook, vol. II, Gulf Publishing Company, 2007. ISBN: 978-1-55563-114-7.
8. David Bailey, Edwin wright, Practical SCADA for Industry, IDC Technologies, 2003. ISBN 0750658053
9. Surinder Prakash, Refining Processes Handbook, Elsevier, Berlin, 2003. ISBN 978-0-7506-7721-9.

© Камолиддинова Ф. М., Абдуллаева А. М., 2023

УДК 004.9

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В КОММЕРЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ

магистрант **Гуляченко Илья Владимирович,**
канд. пед. наук, доцент **Климова Дарья Николаевна,**
Донской государственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация. В данной статье рассматривается разработка системы поддержки принятия решений в работе коммерческого предприятия на примере склада. В ее основе лежит база данных, содержащая информацию о складских операциях, а также механизмы обработки и анализа этой информации. Описан функционал работы склада в виде контекстной диаграммы А-0 и ее декомпозиции. Таким образом, разработанная СППР, внедренная в работу склада коммерческого предприятия, привела к ряду преимуществ и увеличила эффективность работы организации.

Ключевые слова: информационные технологии, система поддержки принятия решений, информационная система, процесс принятия решений, контекстная диаграмма, генерация отчетов.

INFORMATION TECHNOLOGIES TO SUPPORT DECISION MAKING IN THE COMMERCIAL ACTIVITIES OF AN ORGANIZATION

Master student **Gulyachenko Ilya Vladimirovich,**
PhD in Philology, Associate Professor **Klimova Daria Nikolaevna,**
Don State Technical University
Rostov-on-Don, Russian Federation

Absract. This article discusses the development of a system to support the concept of decisions in the operation of a commercial enterprise using the example of a warehouse. It is based on a database containing information about warehouse operations, as well as mechanisms for processing and analyzing this information. The functionality of the warehouse is described in the form of a context diagram A-0 and its decomposition. Thus, the developed DSS implemented in the work of a warehouse of a commercial enterprise led to a number of advantages and increased the efficiency of the organization.

Keywords: information technology, decision support system, information system, decision making process, context diagram, report generation.

Современная коммерческая деятельность все больше зависит от информационных технологий, и существует постоянная необходимость в обновлении и совершенствовании существующих систем, а также в создании новых и инновационных решений.

Информационные технологии в коммерции не только упрощают рутинные задачи, но и позволяют более эффективно управлять бизнесом, проводить анализ рынка и конкурентов и управлять рисками. Новые технологии, такие как искусственный интеллект, блокчейн и машинное обучение, меняют существующие бизнес-модели и создают новые возможности для бизнеса.

Несмотря на все преимущества информационных технологий, их использование может также принести новые проблемы и риски, такие как угрозы кибербезопасности и защита данных. Поэтому важно найти баланс между использованием технологий и безопасностью.

Существует несколько подходов к классификации информационных технологий поддержки принятия решений, но одним из наиболее распространенных является следующая классификация: Системы поддержки принятия решений на основе знаний (Expert Systems), Системы поддержки принятия решений на основе данных (Data-driven DSS), Системы поддержки принятия решений на основе алгоритмов (Algorithmic DSS), Гибридные системы поддержки принятия решений (Hybrid DSS). В работе был использован подход на основе алгоритмов оптимизации.

Проблема данной работы заключалась в том, что коммерческое предприятие работает с больших количеством клиентов, и каждый заказ содержит не одну позицию, контроль прихода и расхода комплектующих и принадлежностей занимает большое количество времени. Для реализации работы была выбрана деятельность склада. Использование информационных технологий на складе имеет ряд преимуществ, которые могут значительно улучшить эффективность его работы.

Объектом исследования являлся процесс принятия решений в коммерческой деятельности организации, а предметом исследования - информационные технологии, используемые для поддержки этого процесса.

Целью данной работы являлось исследование возможности использования информационных технологий в коммерческой деятельности организации для поддержки принятия решений и разработка системы поддержки принятия решений на основе информационных технологий

В работе были поставлены и решены следующие задачи: хранение сведений о товарно-материальных ценностях; оформление документов; учет движения материальных ценностей; организация приемки закупаемых комплектующих; рациональное использование складских площадей и трудовых ресурсов; анализ и контроль складских остатков; проведение инвентаризации; разработка и осуществление мероприятий по повышению эффективности работы.

Схема функционирования склада изображена на рис. 1.

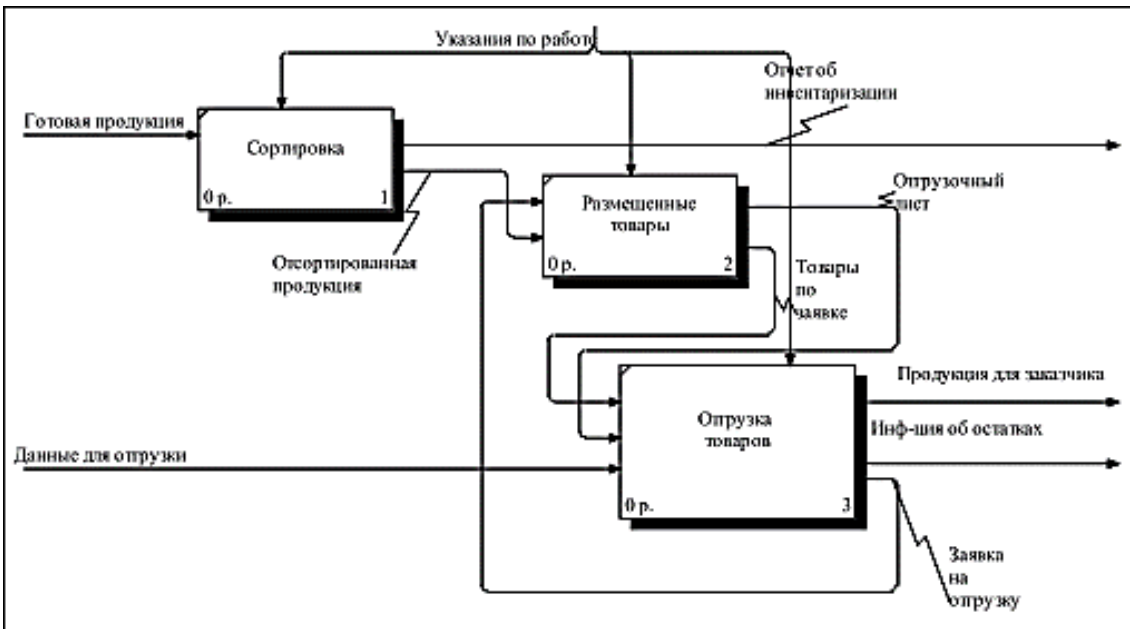


Рисунок 1. Деятельность работы склада

В результате была разработана система поддержки принятия решений на основе информационных технологий. В ее основе лежит база данных, содержащая информацию о складских операциях, а также механизмы обработки и анализа этой информации. Благодаря использованию современных технологий, таких как Oracle, Java Script и JSON, реализован интерфейс для пользователя, а также генерации отчетов, позволяющих быстро и эффективно принимать решения. Работа склада отражена в контекстной диаграмме А-0 на рис. 2.



Рисунок 2. Контекстная диаграмма А-0

Декомпозиция диаграммы А-0 изображена на рис. 3.

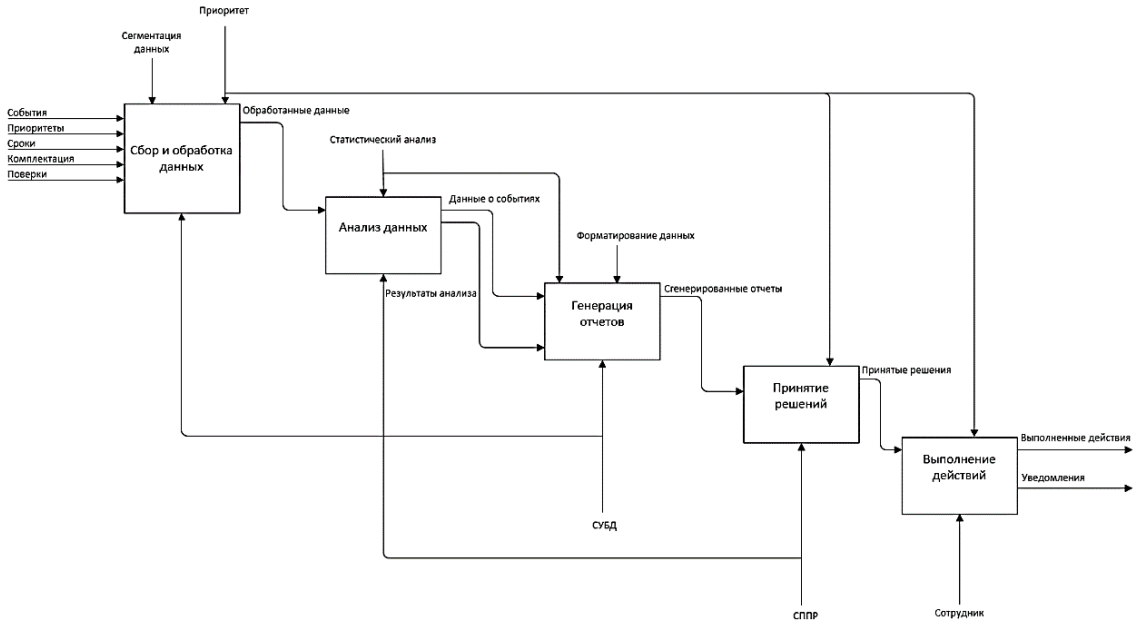


Рисунок 3. Диаграмма А-0

Таким образом, внедрение информационных технологий на склад привело к ряду преимуществ и увеличило эффективность работы организации. Ниже представлены некоторые из возможных преимуществ:

- Улучшение точности и скорости учета товаров. Использование специализированных программ позволяет автоматизировать процесс учета товаров на складе, избежать ошибок при вводе данных и значительно ускорить процесс;
- Оптимизация планирования и управления запасами. Использование информационных технологий позволяет получать актуальную информацию о запасах, анализировать данные и оптимизировать управление запасами. Это может уменьшить издержки на хранение и улучшить управление запасами;
- Улучшение контроля над операциями на складе. Использование информационных технологий позволяет отслеживать перемещения товаров на складе, контролировать сроки хранения и реализации, а также повышать общую безопасность;
- Увеличение эффективности работы сотрудников. Использование информационных технологий позволяет сократить время на рутинные задачи, такие как учет товаров и подготовка отчетности, и перенаправить усилия сотрудников на более важные и сложные задачи;
- Улучшение качества обслуживания клиентов. Использование информационных технологий позволяет получать актуальную информацию о наличии товаров на складе и сроках их поставки, что повышает уровень обслуживания клиентов;
- Уменьшение издержек на управление складом. Использование информационных технологий позволяет сократить издержки на управление

складом, такие как затраты на трудовые ресурсы, бумажную документацию и другие расходы.

Список литературы:

1. ГОСТ 34.320 Информационные технологии. Система стандартов по базам данных. Концепции и терминология для концептуальной схемы и информационной базы от 22 февраля 2001 г. № 34.320-96: дата введения 2001-07-01. – Москва: Стандартинформ, 2001. – 35 с. – Текст: непосредственный.
2. ГОСТ 34.321-96 Информационные технологии (ИТ). Система стандартов по базам данных. Эталонная модель управления данными от 22 февраля 2001 г. № 34.321-96: дата введения 2001-07-01. – Москва: Стандартинформ, 2001. – 28 с. Текст: непосредственный.
3. Проект ГОСТ Р Системы искусственного интеллекта. Когнитивные информационные технологии. Системы поддержки принятия решений. Термины и определения. URL: https://docs.cntd.ru/document/573249765.
4. ГОСТ Р 50922-2006. Защита информации. Основные требования и определения от 27 декабря 2006 г. № 50922-2006: дата введения 2008-02-01. – Москва: Стандартинформ, 2008. – 18 с. – Текст: непосредственный.
5. Федеральный закон «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» от 27.07.2006 № 149-ФЗ.

© Гуляченко И. В., Климова Д. Н., 2023

УДК 338.2

ИЗУЧЕНИЕ ПРАКТИКИ ЭНЕРГОСЕРВИСНЫХ КОНТРАКТОВ НА РЕСУРСОСНАБЖАЮЩЕМ ПРЕДПРИЯТИИ

доктор экон. наук, профессор **Трейман Марина Геннадьевна,**
Санкт-Петербургский государственный
университет промышленных технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В исследовании рассмотрены вопросы заключения и специфики реализации энергосервисных контрактов, приведен российский и зарубежный опыт, раскрыты особенности реализации энергосервисных контрактов в России. Приведен опыт предприятия водопроводно-канализационного хозяйства в части реализации энергосервисных контрактов.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергоресурсы, энергосервисный контракт, предприятие водопроводно-канализационного хозяйства.

STUDY OF THE PRACTICE OF ENERGY SERVICE CONTRACTS AT RESOURCE SUPPLYING COMPANY

Doctor of Economics, Professor **Treyman Marina Gennadyevna,**
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. The study deals with the issues of conclusion and specifics of implementation of energy service contracts, cites Russian and foreign experience, reveals the peculiarities of implementation of energy service contracts in Russia. The experience of the enterprise of water supply and sewerage services in terms of implementation of energy service contracts is given.

Keywords: energy efficiency, energy resources, energy service contract, water supply and sewerage company.

В настоящее время для предприятий и компаний остро встали вопросы о необходимости сокращения затрат на энергоресурсы. Энергосервисный контракт – это разновидность договора о хозяйственной деятельности, согласно которому энергосервисная компания осуществляет мероприятия по достижению экономии энергоресурсов путем проведения специализированных мероприятий.

Специфической особенностью энергосервисного контракта является то, что он должен заключать в себя два обязательных условия: должны быть обозначены сроки действия контракта и обозначены объемы экономии

электроэнергии (планируемые) [1,3]. Регламентация энергосервисного контракта осуществляется по ФЗ №261 – это основной нормативно-правовой акт, определяющий взаимоотношения сторон в сфере энергосбережения и энергетической эффективности [5].

Таким образом, согласно энергосервисному договору, планируется определенный объем экономии электрической энергии, выполнение данного условия является обязательным для действия договора. Инвестирование осуществляется за счет собственных и привлеченных средств. Необходимость внедрения энергосервисного контракта определяется энергетическим аудитом [2].

Оценка эффективности энергосервисного контракта осуществляется двумя способами: экономическим и энергетическим. Экономическая производится из расчета эффективности, а энергетическая оценивает ресурсный потенциал и потенциал экономии и позволяет сравнить их в среднесрочной либо долгосрочной перспективе [4, 5].

Отечественный и зарубежный опыт по энергосервисным договорам представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ энергосервисных показателей России, Европы и Азии

Показатели	Страны Европы и Азии	РФ
Срок окупаемости энергосервисных мероприятий, лет	4	2
Длительность заключенных контрактов, лет	12-15	5
Эффект от энергосбережения	15-23%	20%

Российская Федерация заключает более эффективные и интенсивные энергосервисные контракты.

Оценка ситуации по энергосбережению и энергоэффективности на ресурсоснабжающем предприятии (с учетом использования инструмента энергосервисного контракта)

ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» постоянно модернизирует объекты водоснабжения и водоотведения, и немаловажное значение при этом имеет достижение результатов в области энергосбережения и энергетической эффективности.

Для повышения надежности и бесперебойности водоснабжения, а также развития перспективной застройки территорий Санкт-Петербурга Водоканалом реализуются мероприятия по развитию зон водоснабжения.

Так, внедрение системы управления водоснабжением в Южной зоне Санкт-Петербурга позволило добиться существенных результатов. В 2021 году

по отношению к 2010 году снижение потерь воды на водопроводных сетях Южной зоны водоснабжения составило 57,9 %.

В Центральной зоне водоснабжения на Петроградской повысительной насосной станции Петербургским Водоканалом была выполнена замена насосных агрегатов, силовых трансформаторов и оборудования распределительного устройства. Благодаря поддержанию постоянного давления в водопроводной сети за счёт применения преобразователей частоты электрического тока расход электроэнергии по Петроградской насосной станции снизился на 52 %.

Всего за 2022 год за счет реализации мероприятий Программы энергосбережения и повышения энергетической эффективности достигнуто снижение расхода электроэнергии на 3 257,9 тыс. кВтч (экономический эффект – 17,0 млн руб.) за счет следующих мероприятий:

– завершена реконструкция ПНС Приморская с установкой энергоэффективных насосных агрегатов отечественного производства с частотным регулированием, что позволило снизить расход электроэнергии за 2022 год на 745,8 тыс. кВтч (26,3 %), экономический эффект – 5,11 млн руб.;

– мероприятия по повышению энергетической эффективности на Южной водопроводной станции и Юго-Западных очистных сооружениях в части замены систем наружного и внутреннего освещения на светодиодное (всего 2856 светильников), экономия электроэнергии получена в течение 2022 года суммарно по двум станция – 496,7 тыс. кВтч (2,2 млн руб.);

– замена осветительных устройств на светодиодное на крупных объектах выполняется этапами. В 2022 году продолжены работы по замене внутреннего и наружного освещения на Южной водопроводной станции, в рамках договора в декабре 2022 года завершены работы по замене 810 светильников. Снижение расхода электроэнергии после замены освещения на светодиодное ожидается в течение 2023 года, планируемая экономия – 162,9 тыс.кВтч в год.

Проводится работа по поиску потенциальных инвесторов и заключению энергосервисных контрактов в целях реализации энергосберегающих мероприятий. Затраты инвестора возмещаются за счет достигнутой экономии, получаемой после внедрения энергосберегающих мероприятий.

В рамках энергосервисных договоров реализованы следующие энергосберегающие мероприятия:

– замена наружного и внутреннего освещения на КОС Понтонный, в рамках энергосервисного договора установлено 333 светодиодных светильника, экономия электроэнергии за 2022 год – 36,9 тыс. кВтч (0,44 млн руб.);

– на насосной станции Василеостровская выполнена замена насосного агрегата №3 на низковольтный насосный с преобразователем частоты (энергосервисный договор), снижение расхода электроэнергии за отчетный 2022 год – 607,5 тыс. кВтч, что позволило сэкономить на оплате электроэнергии 3,94 млн руб.;

– мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности Северной станции аэрации (система внутреннего и наружного освещения), в рамках энергосервисного договора в 2022 году установлено 4589

светодиодных светильника, экономия электроэнергии с сентября 2022 года составила 704,8 тыс. кВтч, что позволило сэкономить на оплате электроэнергии 2,21 млн руб.;

– мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности Центральной станции аэрации (система внутреннего и наружного освещения), КОС Пушкин и ПНС 6 шт. (Канонерская, Купчинская, Урицкая, Фрунзенская, Юго-Западная, Василеостровская), в рамках энергосервисного договора в 2022 году установлено всего 7954 светодиодных светильника, в том числе на ЦСА – 6224 светильника, на КОС Колпино – 1209 светильников, ПНС – 521 светильник. Снижение расхода электроэнергии на освещение, начиная с октября 2022 года, составило всего 666,2 тыс. кВтч (ЦСА – 542,9 тыс. кВтч, КОС Колпино – 95,7 тыс. кВтч, ПНС – 27,6 тыс. кВтч), что позволило сэкономить на оплате электроэнергии 3,1 млн руб.

За 2023 год ожидаемая экономия электроэнергии за счет мероприятий Программы энергосбережения – 1 872,6 тыс. кВтч, экономический эффект – 8,8 млн руб.

За период 2018-2022 гг. выполнены следующие мероприятия:

– замена насосных агрегатов на втором подъеме Северной ВС;

– реконструкция ПНС Приморская с замены насосных агрегатов с частотным регулированием;

– замена насосного агрегата №3 на ПНС Василеостровская (энергосервисный договор);

– замена систем освещения на светодиодное в том числе в рамках энергосервисных договоров (СВС, ЮВС, ЮЗОС, ВВС, КОС Понтонный, ССА, ЦСА, КОС Пушкин, ПНС 6 шт.).

Таким образом, предприятия водопроводно-канализационного хозяйства эффективно развивают систему энергосервисных контрактов и повышают энергоэффективность своей деятельности.

Список литературы:

1. Матвеева Е. Ю. Заключение энергосервисных контрактов в сфере закупок для обеспечения государственных и муниципальных нужд: монография / Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации. – Москва: ИНФРА-М, 2019. – 157 с.

2. Магомедов А. К. Постсоветский Каспий: энергоресурсы, трубопроводы и сырьевой базис региональных и национальных политических режимов: [монография] / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный университет». – Ульяновск: УлГУ, 2019. – 274 с.

3. Дзюба А. П. Теория и методология управления спросом на энергоресурсы в промышленности: монография / Южно-Уральский государственный университет, Кафедра финансовых технологий. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2020. – 322 с.

4. Дзюба А. П., Соловьева И. А. Управление спросом на энергоресурсы в глобальном экономическом пространстве: монография / Южно-Уральский государственный университет, Кафедра «Экономика и финансы». – Челябинск: Издательский центр ЮУрГу, 2021. – 259 с.
5. Афанасьев В. Я., Байкова О. В., Вознесенская А. Д. Теория и практика прогнозирования цен на энергоресурсы: монография / Москва: Инфра-М, 2016. – 337 с.

© Трейман М. Г., 2023

УДК 676.164.3.082.3

УСЛОВИЯ ДОКРИЗИСНОГО КИПЕНИЯ СУЛЬФАТНОГО ЩЁЛОКА ПРИ РАВНОМЕРНОМ ОБОГРЕВЕ ТРУБЫ ВЫПАРНОГО АППАРАТА

доктор техн. наук, профессор **Суслов Вячеслав Александрович,**
Санкт-Петербургский государственный
университет промышленных технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Представлены формулы для расчёта тепловой нагрузки, определяющей кризисы кипения при выпаривании чёрного щёлока в выпарных аппаратах целлюлозно-бумажного производства. Кризисы кипения обуславливают интенсивное накипеобразование на поверхности труб выпарных аппаратов, постепенно снижающее эффективность выпарных станций, вследствие чего выпарной аппарат выводится из работы на очистку.

Ключевые слова: выпарные аппараты, теплоотдача, кипение, кризис кипения, паросодержание, скорость раствора.

CONDITIONS OF PRE-CRISIS BOILING SULPHATE LIQUOR WITH UNIFORM HEATING OF THE EVAPORATOR PIPE

Doctor of Technical Sciences, Professor **Suslov Vyacheslav Alexandrovich,**
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. Formulas are presented for calculating the heat load that determines boiling crises during the evaporation of black liquor in evaporators of pulp and paper production. Boiling crises cause intense scale formation on the surface of the pipes of evaporators, which gradually reduces the efficiency of evaporation stations, as a result of which the evaporator is taken out of operation for cleaning.

Keywords: evaporators, heat transfer, boiling, boiling point, vapor content, solution speed.

В настоящее время в практике целлюлозно-бумажного производства (ЦБП) применяются сульфатный и сульфитный способы получения целлюлозы. В основу сульфатного способа положен замкнутый цикл оборота химикатов в производстве, обеспечивающий значительно лучшие экономические и экологические показатели при существенно сниженных требованиях к сырью [1, с. 220]. Соответственно, доля сульфатной целлюлозы от общего объема ее

мирового производства составляет более 85 %. Исходя из этого, в данной работе рассматриваются вопросы, касающиеся сульфатного способа производства целлюлозы.

Отработанные (черные) при сульфатной варке древесины варочные щелока проходят стадии подготовки и регенерации, включая выпаривание, где подвергаются ряду последовательных физических и химических превращений. В конце цикла получают белый щелок – исходный продукт, вновь используемый при варке. При этом выпарные станции (ВС) должны обеспечивать повышение концентрации сухих веществ черных сульфатных щелоков до максимально возможной по условиям циркуляции, так как щелока используются одновременно в виде биологического топлива и регенерируемого вещества в топках содорегенерационных котлоагрегатов (СРК) [2, с. 323]. Максимальное удаление количества воды (повышение концентрации) из щелока ВС значительно улучшает процесс горения его органической части в топках СРК. Этим обеспечивается нормируемая экологическая обстановка в регионе СРК вследствие снижения серосодержащих выбросов с дымовыми газами.

Для увеличения производительности и стабильности работы предприятия ВС комплектуются ВА с большими поверхностями теплообмена, работающими при относительно малых температурных напорах и относительно низких тепловых нагрузках $10 \div 70$ кВт/м^2. Малые температурные напоры Δt и полезные температурные разности $\Sigma\delta T = t_{гр} - \theta_{вт}$ ограничены допустимой по технологическим условиям температурой кипения щёлока. Ее превышение приводит к разложению щелоков с выделением летучих серосодержащих элементов. Поэтому повышение средних и локальных значений температур щёлока, допустимых с точки зрения общей интенсивности теплопередачи, могут оказаться крайне нежелательным.

Черные сульфатные щелока содержат значительное число накипеобразователей, образующих накипь на поверхности теплообмена в процессе выпаривания. Ее термическое сопротивление теплопередаче достигает 50 % и более от общего. Поэтому выпарные аппараты (ВА) периодически выводят из технологического режима для химической очистки поверхности теплообмена от накипи [3, с. 386], что снижает производительность ВС. Из-за сложности исследования вопросов, связанных с изучением механизма теплообмена и гидродинамики при кипении чёрного сульфатного щелока и других отработанных при варке растворов, в ЦБП в настоящее время отсутствуют научно обоснованные методы предотвращения образования накипи, расчеты и планирование периодичности промывки ВА. Практически отсутствуют данные, характеризующие процесс кипения щелочных пенообразующих растворов в теплообменных каналах ВА ЦБП, а имеющиеся отдельные разработки при выпаривании некоторых растворов носят частный характер, отличаются большой противоречивостью, сдерживая процесс проектирования и создания конструкций нового оборудования для выпарки. Для условий оптимального режима при кипении в трубах и каналах рядом

исследователей на основании теории подобия получены критериальные зависимости по теплообмену. Анализ литературных данных [4, с. 101] показал, что большинство работ по исследованию теплообмена при кипении жидкостей выполнено применительно к чистой воде. Незначительная часть работ проведена на растворах, главным образом, сахарных. В нескольких работах по теплообмену при кипении отработанных пенных растворов ЦБП отсутствуют надежные рекомендации для проектирования ВА ЦБП и регулирования режимов их работы.

Производительность ВС по выпаренной влаге определяется уравнением теплового баланса: $W = \frac{F \cdot \Delta t}{r \cdot R}$, где F – поверхность теплообмена; Δt – температурный напор; R – термическое сопротивление теплопередаче; r – теплота парообразования.

Работа поверхности теплообмена ВА с минимальным накипеобразованием возможна при плотности теплового потока на стенке кипятильного канала $q = \frac{W \cdot r}{F}$ (1) ниже критического значения для всех его режимов.

Изменение механизма кризиса кипения при критической плотности теплового потока $q_{кр}$ в зависимости от массового расходного паросодержания x по результатам работы [5, с. 373] представлено в координатах $q_{кр}$—x на рис. 1. В этих координатах охватывается весь интервал существования двухфазного потока $0 < x < 1$, включая кипение недогретой жидкости ($x < 0$).

Как показали исследования [5, с. 373], при малых x жидкая фаза чёрного щёлока занимает значительную часть поперечного сечения канала. В этих условиях кризис теплоотдачи наступает в результате нарушения гидродинамической устойчивости встречных потоков: пузырей пара, движущихся от стенки к центру канала, и потока щёлока, стремящегося от центра к стенке. Ситуация резко ухудшается при поступлении в канал перегретого щёлока в случае применения в схеме ВС прямоточного участка. При этом щёлок, попадая в область пониженного давления, адиабатно вскипает, являясь при этом пенообразующей жидкостью. Стенка канала покрывается устойчивой пленкой пара, отделяющей стенку от потока пены, и наступает режим плёночного кипения. На рис. 1 гидродинамической модели этого кризиса кипения отвечает линия *AB*.

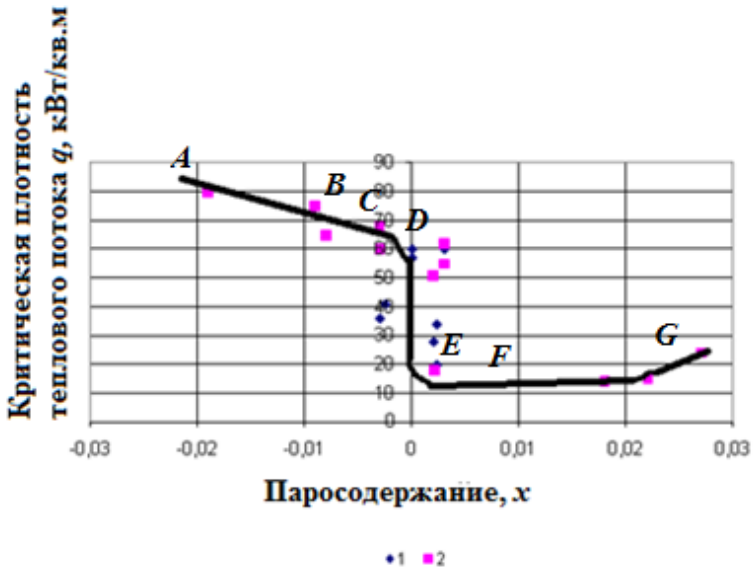


Рисунок 1. Зависимость $q_{кр} = f(x)$ от кризисных условий при кипении черного сульфатного щелока с массовой скоростью ρw = 25 кг/(м^{2}с):
1 – концентрация b < 30 %;
2 – b > 30 % абсолютно сухих веществ (а.с.в.)

На основании данных, приведенных в работе [3, с. 365] на рис. 2 представлена зависимость критической плотности теплового потока от концентрации выпариваемого раствора b, описываемая эмпирическим уравнением для рассмотренной области кризиса теплообмена:

$$q_{кр1} = 0{,}56 \cdot b^{1{,}1} \cdot \delta t_н^{0{,}1}, [кВт/м^2] \quad , \qquad (2)$$

где $b = 20 \div 60$ % абсолютно сухих веществ (а.с.в.) – концентрация раствора; $\delta t_н = 1 \div 30\ ^0C$ – недогрев раствора до температуры кипения; $\rho w = 10 \div 100\ \frac{кг}{м^2 \cdot с}$ – массовая скорость.

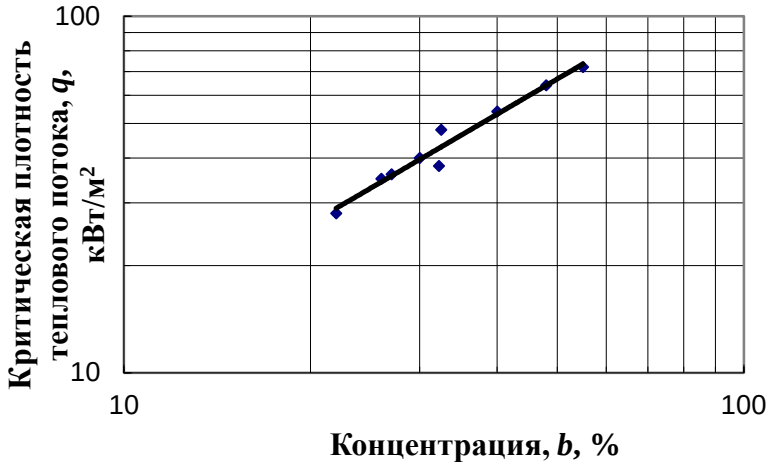


Рисунок 2. Зависимость критической плотности потока от концентрации раствора

Из полученных экспериментальных данных следует, что критическая плотность увеличивается с увеличением концентрации, поскольку увеличиваются силы, повышающие устойчивость пристенной пленки с увеличением недогрева раствора до температуры кипения.

Рассмотренный выше механизм образования кризиса теплообмена при критической плотности теплового потока $q_{кр1}$ образовывался при разрушении пристенной жидкой пленки и появления паровой, отделяющей жидкую фазу от теплопередающей поверхности. Для избежания этого кризиса, связанного с интенсивным накипеобразованием, в рассмотренной области изменения режимных параметров следует поддерживать недогрев раствора в пределах $8 \div 10$ °С и скорость входа раствора в кипятильных каналах в следующем диапазоне: $0{,}07 \div 0{,}09$ м/с.

В дальнейшем при кипении щёлока в канале с ростом его паросодержания x увеличивается масса пара в потоке, уменьшается приток щёлока к стенке, вследствие чего снижается $q_{кр1}$. Поэтому при кипении щёлока с концентрацией более 30 % а.с.в. критические условия достигаются раньше на выходе раствора из трубы, где паросодержание максимально. При этом стенка в зоне пленочного кипения перегревается, покрывается накипью, и граница пленочного кипения перемещается навстречу потоку в область более низких паросодержаний. Этим более низким паросодержаниям соответствуют более высокие значения $q_{кр1}$. Поэтому на некотором расстоянии от выхода парощелоковой смеси из канала распространение пленочного кипения прекращается, и положение границы режимов кипения стабилизируется. Устанавливается стационарный режим, когда пузырьковое кипение в нижней части канала и пленочное кипение на выходе из него устойчиво сосуществуют при интенсивном накипеобразовании. На рис. 1 этому режиму соответствует линия *CB*. Из рис. 1 следует также, что данные для пенных растворов качественно корреспондируются с аналогичными зависимостями для воды. Отличия, в основном, заключаются в изменениях критической плотности теплового потока $q_{кр1}$ находящейся в очень узком диапазоне значений паросодержания x из-за пенообразующих свойств растворов.

Зависимости критической плотности теплового потока от паросодержания для разных концентраций чёрного щёлока по данным работы [3, с. 364] приведены на рис. 3.

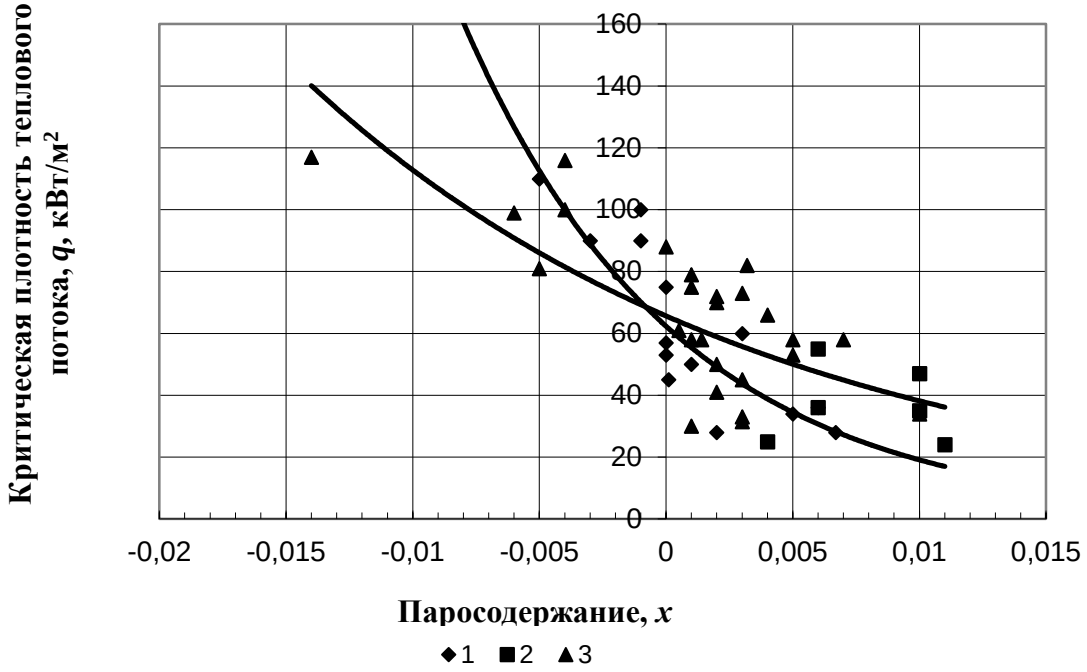


Рисунок 3. Зависимость критической плотности теплового потока от паросодержания: b < 30 % а.с.в;
1 – ρw = 90 кг/(м^{2}с); 2 – ρw = 50; 3 – ρw = 20

Из рис. 3 следует, что с ростом массовой скорости критический тепловой поток возрастает при отрицательных паросодержаниях и уменьшается при положительных.

При движении парощелоковой смеси в кипятильном канале с невысокими положительными значениями паросодержаний наблюдались эмульсионный либо дисперсно-кольцевой режимы течения [5, с. 372]. Кризис теплообмена при этих режимах образовывался в результате высыхания и исчезновения со стенки парогенерирующего канала жидкой микропленки вследствие срыва капель с гребней волн с её поверхности (динамический унос), испарения пленки и уноса капель микроплёнки с пузырьками пара (пузырьковый унос) [6, с. 53].

Из результатов опытов при кипении чёрного сульфатного щёлока [7, 394] следует, что в этих режимах образование кризиса происходит в узком диапазоне паросодержаний в результате высыхания пленки. Её расход определяется при заданном давлении концентрацией, массовой скоростью и расходным массовым паросодержанием. Критическая плотность теплового потока при кипении чёрного щёлока на этом участке описывается уравнением [3, с. 370]:

$$q_{\text{кр.2}} = 525 \cdot 10^{-5} \frac{(\rho w)^{0,31} b^{0,88}}{x^{0,75}}, \qquad (3)$$

где $b = 30 \div 60$ % а.с.в. – концентрация выпариваемого щёлока; $\delta t_н = 1 \div 30$ ^{0}С – недогрев щёлока до температуры кипения; $\rho w = 10 \div 100$ $\frac{кг}{м^2 \cdot с}$ – массовая скорость щёлока,

$x = 0{,}001 \div 0{,}01$ – паросодержание щёлока.

Уравнение иллюстрируется рис. 4. Из приведенной зависимости следует, что критическая плотность теплового потока $q_{кр2}$ при высыхании пристенной плёнки увеличивается с повышением концентрации раствора и при повышении массовой скорости раствора. С увеличением паросодержания критическая плотность $q_{кр2}$ уменьшается.

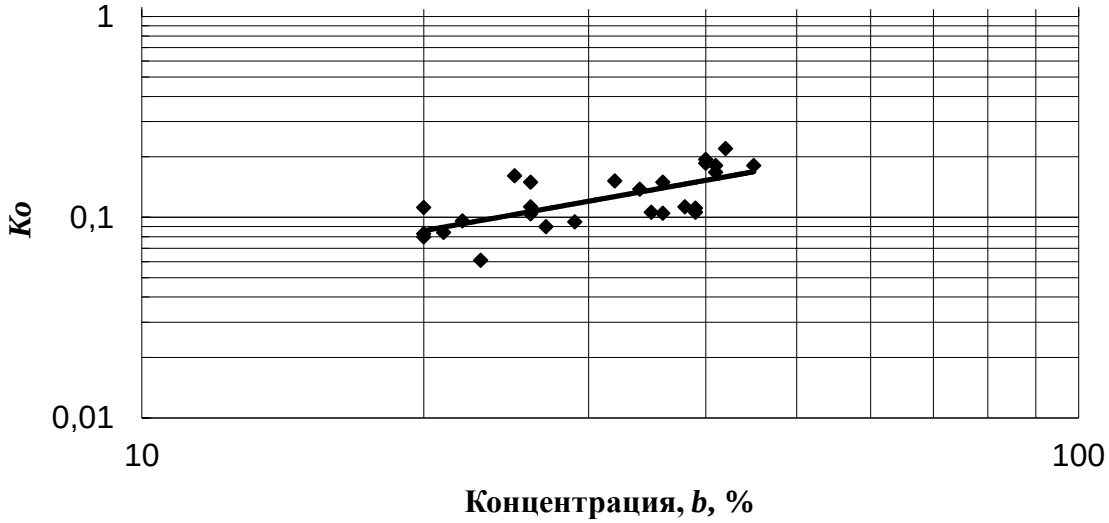


Рисунок 4. Зависимость критической плотности $Ko = \frac{q_{кр2} \cdot x^{0,75}}{(\rho w)^{0,31}}$ от концентрации раствора

Правильно выбранная при проектировании ВА номинальная плотность теплового потока позволит создать надежную и экономичную конструкцию ВА [8, с 5]. При этом для его теплотехнической надежности необходимо использовать следующее неравенство $q_{кр} > q_{расч}$, где $q_{кр}$ *рассчитывается по формулам (2) и (3),* $q_{расч}$ *– по формуле (1).*

Список литературы:

1. Жучков П. А., Гофлин А. П., Саунин В. И. Теплотехника целлюлозно-бумажного производства: учебное пособие для вузов. – М.: Экология, 1991. – 352 с.
2. Непенин Ю. Н. Технология целлюлозы: учебное пособие для вузов. – Т. II. – М.: Лесная промышленность, 1990. – 600 с.
3. Суслов, В. А. Тепловые процессы в выпарных установках ЦБП: монография / В. А. Суслов, А. А. Поздняков. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. – 400 с.
4. Суслов В. А. Результаты сопоставления опытных и расчетных данных по теплообмену при кипении сульфатного щелока // Машины, конструирование, расчеты и оборудование ЦБП: Межвуз.сб. научн. тр. – Вып. 6, ЛТА, 1978. – С. 96-101.
5. Суслов В. А. Кризисы теплообмена при кипении щелочных растворов в трубах выпарных аппаратов ЦБП // Современная наука и образование в решении проблем экономики европейского севера: материалы Международной научно-

техничекой конференции, посвященной 75-летию АЛТИ-АГТУ. – Т. 1. Архангельск, 2004. – С. 371-373.
6. Ягов В. В., Пузин В. А. Кризис кипения в условиях вынужденного движения недогретой жидкости // Теплоэнергетика. – 1985. – № 10. – С. 52-54.
7. Петухов, Б. С. Теплообмен в ядерных энергетических установках: учеб. пособие для вузов / Б. С. Петухов, Л. Г. Генин, С. А. Ковалёв; под ред. Б. С. Петухова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 472 с.
8. Кутепов А. М., Стерман Л. С., Стюшин Н. Г. Гидродинамика и теплообмен при парообразовании: учеб. пособие для втузов. – 3-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 1986. – 448 с.

© Суслов В. А., 2023

УДК 620.92:621.313

ДУГОСТАТОРНЫЙ ИНДУКТОРНЫЙ ГЕНЕРАТОР КАК ОСНОВА БЕСПЛОТИННОЙ МИКРОГЭС ДЛЯ РАВНИННЫХ РЕК

студент **Бутко Владимир Павлович,**
науч. руководитель: канд. техн. наук **Кузьмин Роман Вячеславович,**
Комсомольский-на-Амуре государственный университет,
г. Комсомольск-на-Амуре, Российская Федерация

Аннотация. В данной работе рассматривается возможность использования бесплотинных микроГЭС для равнинных рек в качестве источников электрической энергии. Рассмотрена конструкция микроГЭС на основе индукторного дугостаторного генератора, ротор которого совмещён с пропеллерной гидротурбиной. Описаны результаты некоторых исследований, а также преимущества и недостатки предложенной конструкции.

Ключевые слова: микроГЭС, дуговой статор, гидротурбина, индукторный генератор.

ARC-STATOR INDUCTION GENERATOR AS THE BASIS OF A DAMLESS MICROHPP FOR LOWLAND RIVERS

Student **Butko Vladimir Pavlovich,**
Academic Advisor: PhD in Technology **Kuzmin Roman Vyacheslavovich,**
Komsomolsk-on-Amur State University,
Komsomolsk-on-Amur, Russian Federation

Abstract. This paper examines the possibility of using damless microHPP for lowland rivers as sources of electrical energy. The design of a microHPP based on an induction arc-stator generator, the rotor of which is combined with a propeller hydroturbine. The results of some studies are described, as well as the advantages and disadvantages of the proposed design.

Keywords: microHPP, arc-staror, hydroturbine, inductor generator.

МикроГЭС представляют собой категорию гидроэлектростанций мощностью до 100 кВт. Большинство ГЭС предполагают наличие в своей конструкции напорного сооружения – плотины, которая является их главным недостатком. Бесплотинные же варианты этого недостатка лишены, что в положительную сторону сказывается на их стоимости и экологичности. И поскольку большинство бассейнов рек России являются низкопоточными (равнинными), то целесообразнее рассматривать свободнопоточные конструкции (рис. 1), предполагающие размещение именно в равнинных реках [1].

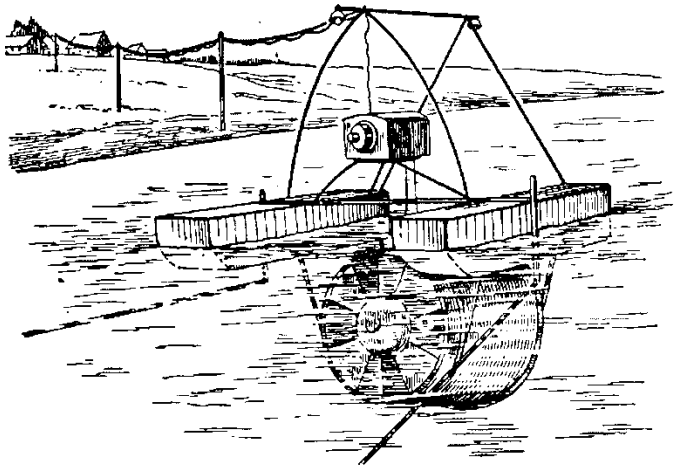


Рисунок 1. Свободнопоточная микроГЭС

Использование установок данного типа при стандартном выходном синусоидальном напряжении также связано с рядом проблем, одна из которых — это низкая скорость вращения колеса гидротурбины, преобразование которой для использования на обычных синхронных генераторах требует установку между гидротурбиной и генератором повышающего устройства – мультипликатора. Однако наличие любых промежуточных механизмов в связке гидротурбина-генератор приводит к снижению КПД всей системы. Отсутствие повышающего преобразователя сильно скажется на качестве электрической энергии [2], в связи с чем необходимой является установка устройств типа выпрямитель-инвертор, что приведет к увеличению стоимости и снижению КПД установки. В связи с чем необходимо использование специальных конструкций микроГЭС, исключающих наличие промежуточных звеньев и дополнительных преобразователей, одной из которых является микроГЭС на базе дугостаторного индукторного генератора (рис. 2) [3, 4].

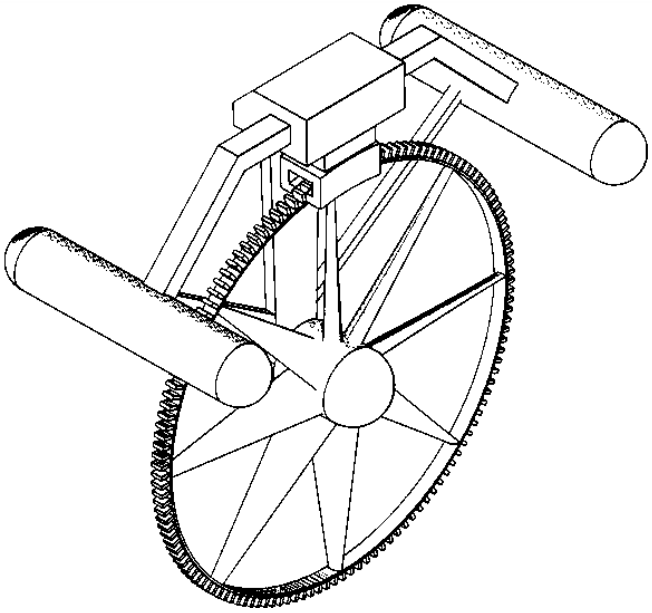


Рисунок 2. МикроГЭС на базе дугостаторного индукторного генератора

Особенность конструкции заключается в следующем: ротор генератора совмещен с пропеллерной гидротурбиной (рис. 3). На ободе колеса гидротурбины размещаются зубцы ротора, набранные из электротехнической стали. Ротор не имеет токопроводящих частей, что положительно сказывается на надежности и эксплуатации генератора [5].

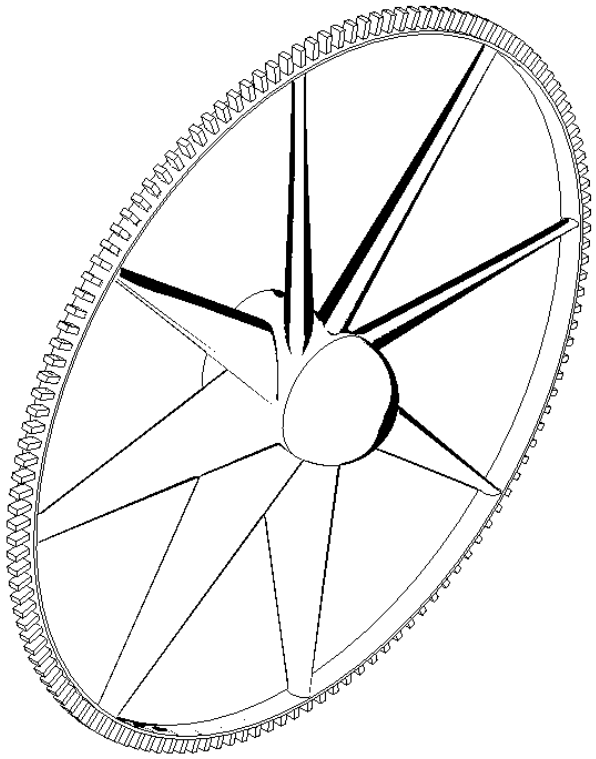


Рисунок 3. Ротор генератора

Еще одной особенностью конструкции является дуговой статор (рис. 4), который шихтуется из листов электротехнической стали специальной формы. На магнитопроводе 1 дугового статора располагаются обмотка возбуждения 2 и обмотка якоря 3.

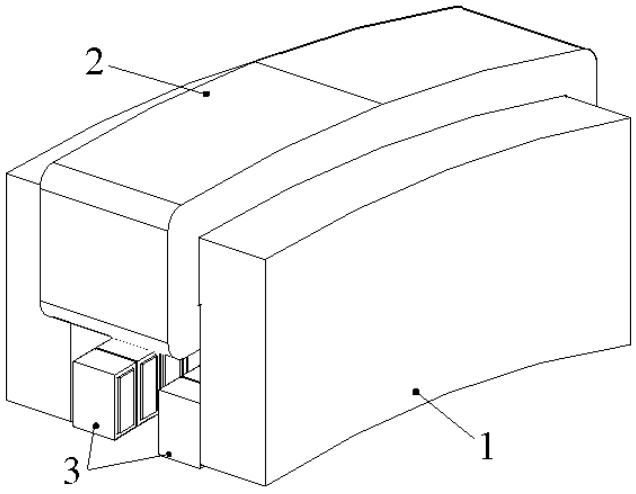


Рисунок 4. Дуговой статор

Генератор описанной конструкции позволит получать электрическую энергию в период весна – осень, без дополнительных затрат на эксплуатацию и обслуживание.

Исходя из семейства характеристик «Скорость–диаметр–мощность» (рис. 5) можно сделать вывод о том, что показатель оптимальной выходной мощности колеблется в пределах от 1 до 10 кВт.

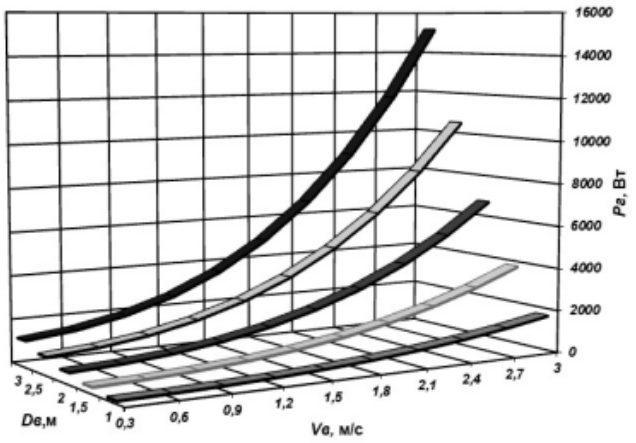


Рисунок 5. Семейство характеристик «Скорость–диаметр–мощность»

Электромагнитные расчеты генератора, как и любой электрической машины, могут быть оптимизированы и стандартизированы [6], что может существенно отразиться как на показателях генератора, так и на его окончательной стоимости. Характеристики микроГЭС для реки Амур представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Пример характеристик генератора

Характеристика	Единицы измерения	Величина
Число фаз	шт.	1
Напряжение	В	220
Диаметр турбины по вершинам лопаток	м	1,7
КПД гидротурбины	о.е.	0,402
Мощность гидротурбины	Вт	1569
Скорость течения реки	м/с	1,389
Число лопаток	шт.	8
Номинальная частота напряжения	Гц	50
Частота вращения ротора	об/мин	21,875
Число полюсов ротора	шт.	137
Воздушный зазор	м	0,002
Число пазов в статоре в активной зоне	шт.	16
Длина активной части статора	м	0,305
Напряжение возбуждения	В	24
Полная масса активной части	кг	74,5
Мощность генератора	Вт	1020
КПД генератора	о.е.	0,54

При расчете характеристик генератора была построена характеристика холостого хода (рис. 6), график которой представляет собой стандартную кривую данного типа, что говорит о нормальной степени насыщения магнитной цепи при номинальной нагрузке и позволяет судить о высоких эксплуатационных свойствах машины.

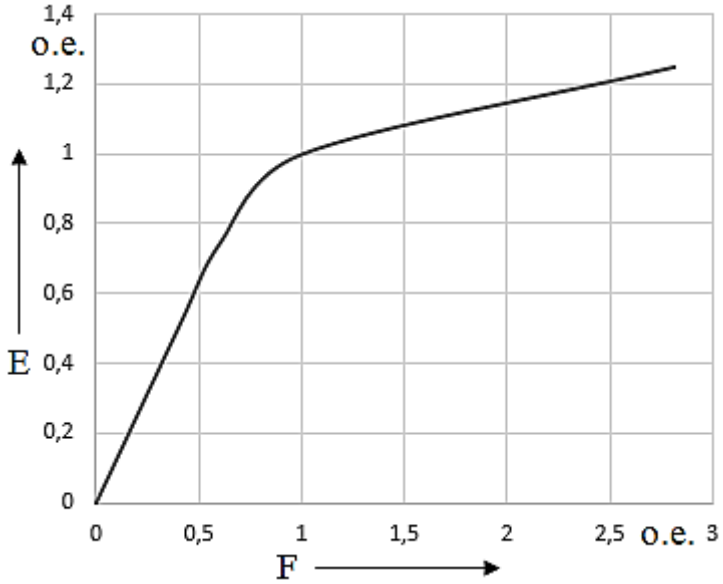


Рисунок 6. Характеристика холостого хода генератора

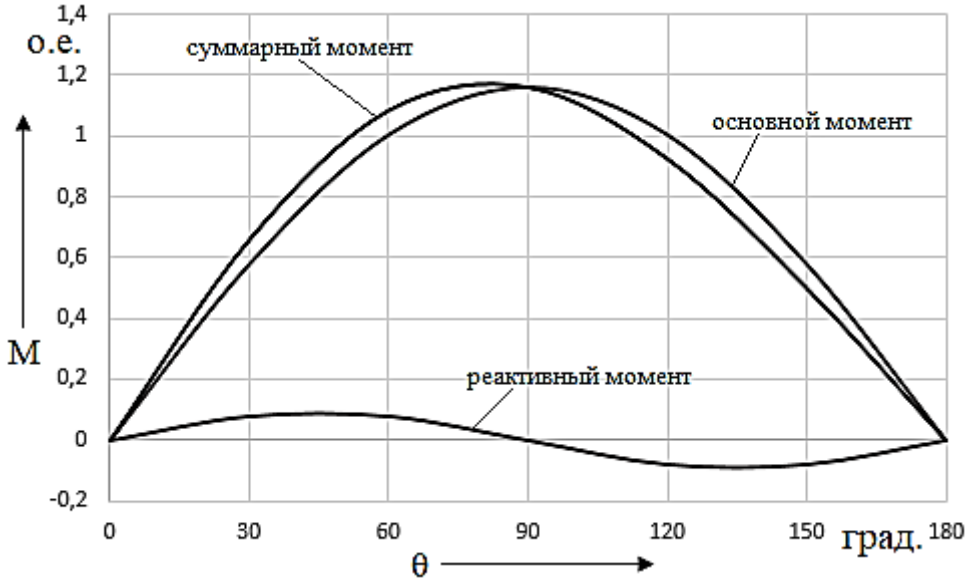


Рисунок 7. Угловые характеристики

Анализ угловых характеристик (рис. 7) показал, что генератор адекватно реагирует на изменение угла нагрузки в пределах от 0^0 до 180^0.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что использование микроГЭС предложенного типа позволит снизить затраты на эксплуатацию и обслуживание, а также позволит свести к минимуму негативное воздействие на природу. Рассмотренная конструкция генератора позволяет избежать использование дополнительных преобразователей электроэнергии, позволяет

полностью отказаться от различных промежуточных звеньев и получить высокие энергетические показатели и высокое качество электрической энергии.

Список литературы:

1. Бутко, В. П. Бесплотинная микроГЭС для равнинных рек / В. П. Бутко, Р. В. Кузьмин. – Текст: электронный // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению: Материалы VI Международной научно-практической конференции молодых ученых. В 2-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 05–11 декабря 2022 года / Редколлегия: С. И. Сухоруков (отв. ред.) [и др.]. Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 167-169. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50492803 (дата обращения: 22.10.2023). – EDN: RHPCBC.

2. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 июля 2013 г. № 400 – ст: дата введения 2014-07-01. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 10 с. – Текст: электронный. – URL: https://electromontaj-proekt.ru/data/documents/gost-32144-2013.pdf (дата обращения: 22.10.2023).

3. Бутко, В. П. Конструкция и особенности проектирования бесплотинной микроГЭС на базе дугостаторного индукторного генератора / В. П. Бутко, Р. В. Кузьмин. – Текст: электронный // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы VI Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. В 3-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 10–14 апреля 2023 года. Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 300-302. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54245797 (дата обращения: 22.10.2023). – EDN TCGPPP.

4. Патент на полезную модель № 10791 U1 Российская Федерация, МПК F03D 1/00. Генератор для микроГЭС: № 98121288/20: заявл. 23.11.1998: опубл. 16.08.1999 / В. М. Кузьмин, Р. В. Кузьмин; заявитель Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет. – 11 с. – Текст: электронный. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38326910 (дата обращения: 22.10.2023). EDN VTRGAA.

5. Агаркова, А. С. Бесконтактный генератор для автономных систем электроснабжения / А. С. Агаркова, А. В. Сериков. – Текст: электронный // Научно-техническое творчество аспирантов и студентов. Материалы Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов. Комсомольск-на-Амуре, 09–20 апреля 2018 года. Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, 2018. – С. 205–207. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35277785 (дата обращения: 22.10.2023). – EDN: UUKCNE.

6. Фискова, Т. К. Повышение энергоэффективности электромеханических преобразователей энергии / Т. К. Фискова, С. Н. Иванов. – Текст: электронный // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований. Материалы IV Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Комсомольск-на-Амуре, 12–16 апреля 2021 года. Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2021. – С. 175-178. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46449633 (дата обращения: 22.10.2023). – EDN: NZQXSC.

© Бутко В. П., 2023

УДК 004.4'22

ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЕЛОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ

студент **Иванов Виталий Алексеевич,**
науч. руководитель: начальник отдела развития профессиональных компетенций **Кривоносова Наталья Викторовна,**
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Статья рассматривает роль технологий Docker, docker-compose, Kubernetes и Gulp в автоматизации деловых коммуникаций. Эти инструменты революционизировали процессы разработки, развертывания и масштабирования приложений, улучшая эффективность и адаптивность бизнеса в динамичной среде. Освещены преимущества их использования, а также вклад в современные бизнес-процессы.

Ключевые слова: технологии автоматизации, деловые коммуникации, контейнеризация, развертывание, автоматизация задач, бизнес-процессы.

BUSINESS COMMUNICATIONS AUTOMATION TECHNOLOGIES

Student **Ivanov Vitaliy Alekseevich,**
Academic Advisor: Head of the Professional Competence Development Department **Krivonosova Natalya Viktorovna,**
Saint Petersburg State University of Telecommunications named after prof. M. A. Bonch-Bruevich,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. The article delves into the significance of Docker, docker-compose, Kubernetes, and Gulp in business communication automation. These tools have revolutionized development, deployment, and scaling processes, enhancing business efficiency and adaptability in a dynamic setting. The benefits of their application and their contribution to modern business processes are highlighted.

Keywords: automation technologies, business communications, containerization, deployment, task automation, business processes.

В современном бизнес-мире обмен информацией и оперативное взаимодействие стали ключевыми факторами успеха. Каждый день компании сталкиваются с необходимостью обработки огромных объемов данных, коммуникации с партнерами и клиентами, а также внутреннего взаимодействия между отделами. Оптимизация и автоматизация бизнес-процессов в этих областях могут существенно улучшить эффективность работы компаний и сделать ее более гибкой и адаптивной к изменениям.

С развитием технологий стали доступны инструменты, которые могут автоматизировать многие аспекты деловых коммуникаций, обеспечивая быстрое внедрение новых решений и масштабирование существующих. Такие инструменты, как Docker, Gulp, Kubernetes (далее k8s) и docker-compose, открывают перед предприятиями новые возможности в области автоматизации инфраструктур, разработки и поддержки программных продуктов.

Таким образом, целью данной статьи является выяснить принцип работы технологий автоматизации деловых коммуникаций и понять, как современные инструменты для автоматизации деловых коммуникаций могут упростить и оптимизировать рабочие процессы, а также определить преимущества их использования для бизнеса.

В современной динамичной бизнес-среде автоматизация деловых коммуникаций является не просто удобным инструментом, но и настоящей необходимостью. Она позволяет компаниям быстро адаптироваться к изменяющимся условиям рынка, уверенно реагировать на вызовы и обеспечивать стабильное и качественное взаимодействие как внутри компании, так и с внешним миром [1].

Среди многих технологий, предназначенных для автоматизации различных аспектов IT-инфраструктуры, Docker занимает особое место [2]. Этот инструмент революционизировал подход к разработке, развертыванию и масштабированию приложений, устраняя многие проблемы, которые ранее стояли перед IT-специалистами, которые заключались в следующем. Для примера возьмем разработчика, который пишет программный код и ведет документацию по нему, в которой описаны все зависимости и пакеты необходимые для корректной работы приложения. После того как приложение готово к использованию и протестировано исходный код приложения, и документация к нему передается системному администратору, такая передача в наши дни может осуществляться через систему контроля версий Git. После того как системный администратор получил все необходимые ресурсы он приступает к развертыванию приложения на сервере и при развертывании приложения зачастую возникают ошибки, которых у разработчика при локальной разработке не возникало. К данной ошибке могло привести множество факторов, например, невнимательность разработчика приложения, который забыл указать зависимость или пакет в документации и передал ее системному администратору, или же сам системный администратор не выполнил какое-либо действие, описанное в документации к разработанному приложению. Такой цикл может повторяться большое количество раз, что плохо сказывается на эффективности компании, выпускающей данное приложение (рис. 1)

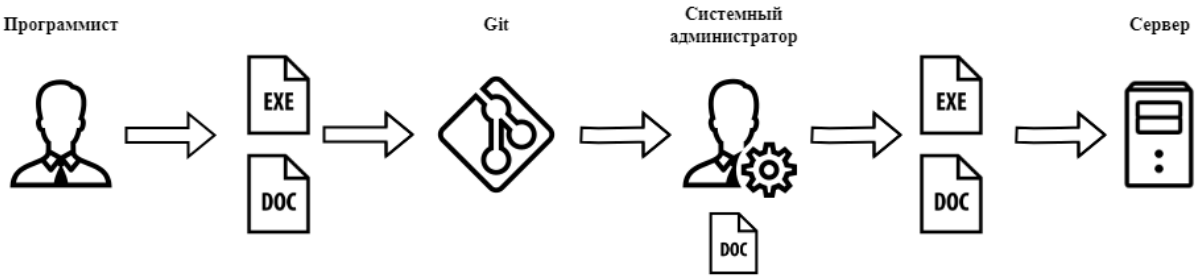


Рисунок 1. Схема разработки приложений с документацией для системного администратора

Docker представляет собой мощный инструмент контейнеризации, который реализует идею «писать один раз, запускать везде». Основная идея заключается в том, чтобы предоставить разработчикам инструментарий для создания стандартизированной среды, гарантируя, что приложение будет работать одинаково в различных условиях и на различных платформах. Для реализации подобного функционала используется файл, который называется Dockerfile. Данный файл содержит в себе базовый образ операционной системы или приложения, на основе которого можно сделать свой собственный образ, который будет содержать конкретные настройки, необходимые для вашего приложения. Благодаря Dockerfile, Docker позволяет программисту собрать свое приложение в образ, который является снимком среды, в которой находится приложение. Затем этот образ может быть загружен на Docker Hub. Docker Hub представляет из себя централизованный репозиторий, где хранятся и находятся в постоянном доступе образы приложений, которые могут быть представлены как базами данных, так и различными приложениям которые представляют из себя веб-серверы. Такой подход упрощает процесс обмена и распространения образов приложений между участниками экосистемы Docker. Так в нашем примере системный администратор может без какого-либо труда взять необходимый образ из Docker Hub и запустить его в виде контейнера на любом сервере. Благодаря этому контейнеру, приложение будет работать точно так же, как если бы оно было запущено на машине программиста, исключая традиционные проблемы, связанные с несовместимостью или различиями в окружении (рис. 2).

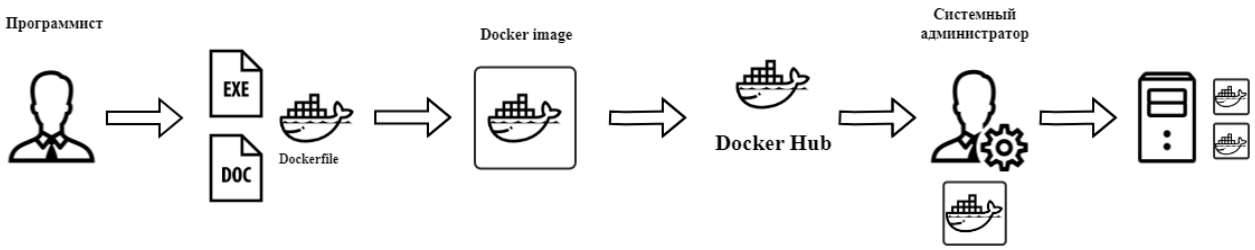


Рисунок 2. Схема разработки приложений с Docker

Таким образом, Docker не только устраняет потенциальные препятствия в процессе от разработки до развертывания, но и способствует автоматизации

деловых коммуникаций, обеспечивая при этом высокую степень надежности и предсказуемости при развертывании приложений.

Рассматривая другие технологии автоматизации деловых коммуникаций, необходимо затронуть такой инструмент, как docker-compose. Docker-compose – это инструмент для определения и запуска много контейнерных приложений Docker. С его помощью разработчики могут определить всю инфраструктуру приложения в одном файле с расширением yml (yaml), а затем запустить все сервисы одной командой. Это особенно полезно для сложных приложений, которые состоят из множества связанных между собой контейнеров. Данный файл пишется, используя формат YAML (Yet Another Markup Language), который представляет из себя человеко-читаемый формат данных, который часто используется для конфигурационных файлов и передачи данных между языками с различными структурами данных. В контексте автоматизации деловых коммуникаций и оптимизации рабочих процессов docker-compose выступает в качестве неоценимого инструмента.

В мире, где сложные приложения часто состоят из множества взаимосвязанных компонентов, docker-compose предлагает уникальное решение, позволяющее упростить и стандартизировать процесс развертывания и управления этими компонентами. Во-первых, благодаря docker-compose, разработчики и системные администраторы имеют возможность работать с одним и тем же файлом конфигурации. Это исключает необходимость в постоянном обмене информацией и уточнении деталей развертывания, что сокращает время на внедрение и уменьшает риск ошибок. Все параметры и зависимости приложения четко и ясно описаны в одном файле, что делает процесс развертывания предсказуемым и воспроизводимым. Во-вторых, docker-compose способствует ускорению процессов внедрения и обновления приложений. Вместо того чтобы вручную настраивать каждый контейнер, команда может просто обновить файл docker-compose и запустить все необходимые сервисы одной командой. Это особенно полезно для компаний, которые стремятся к быстрой итерации и непрерывной интеграции своих продуктов. В-третьих, docker-compose обеспечивает высокую степень изоляции между различными частями приложения. Это гарантирует, что изменения, внесенные в один сервис, не повлияют на работу других, что снижает риски сбоев и обеспечивает стабильность работы всего приложения. В заключение, docker-compose является мощным инструментом для автоматизации деловых коммуникаций, так как он предоставляет простой и эффективный способ управления сложными много контейнерными приложениями. В условиях постоянно меняющегося и динамичного бизнес-мира, где оперативное взаимодействие и быстрое реагирование на изменения становятся ключевыми, docker-compose предлагает решение, которое может существенно улучшить эффективность и адаптивность IT-инфраструктуры компании.

После рассмотрения Docker и docker-compose важно уделить внимание еще одной ключевой технологии в мире автоматизации деловых коммуникаций — K8s. Этот инструмент стал стандартом для оркестрации контейнеров и управления ими на больших масштабах. K8s — это система открытого кода,

созданная для автоматизации развертывания, масштабирования и управления контейнеризированными приложениями. В то время как Docker предоставляет средства для создания и запуска контейнеров, K8s действует на более высоком уровне, предоставляя инфраструктуру для управления кластерами этих контейнеров. Он группирует контейнеры, которые составляют приложение, в логические единицы, что позволяет автоматически балансировать нагрузку, распределять трафик и восстанавливать работу приложений в случае сбоев. В современном бизнесе, где оперативное взаимодействие и обмен информацией играют ключевую роль, k8s предоставляет ряд преимуществ. Он позволяет компаниям быстро адаптироваться к изменяющимся условиям рынка, обеспечивая масштабируемость и высокую доступность приложений. Кроме того, с помощью k8s можно внедрять обновления и изменения без остановки приложения, что очень важно для бизнес-коммуникаций, требующих постоянной доступности.

Однако стоит отметить и различия между k8s и docker-compose. В то время как docker-compose идеально подходит для локальной разработки и небольших проектов, k8s был создан для управления контейнерами на больших масштабах в продакшн-средах. Он предоставляет более сложные и гибкие инструменты для оркестрации контейнеров, такие как автоматическое масштабирование и самоисцеление [3]. К тому же, в отличие от docker-compose, который является инструментом Docker, k8s может работать с различными платформами контейнеров. Таким образом, k8s представляет собой мощный инструмент для автоматизации и оптимизации деловых коммуникаций, обеспечивая быстроту, масштабируемость и надежность в современном динамичном бизнес-мире.

Последней технологией автоматизации деловых коммуникаций является Gulp. Gulp – это инструмент автоматизации задач, который значительно упрощает и ускоряет процесс разработки веб-приложений. В контексте автоматизации деловых коммуникаций Gulp может играть ключевую роль, особенно когда речь идет о разработке и поддержке веб-платформ. Одной из основных особенностей Gulp является возможность создания задач, которые автоматизируют рутинные процессы разработки. Эти задачи могут включать в себя компиляцию кода, минификацию, транспиляцию, объединение файлов и многие другие операции, как перенос файлов в другие папки проекта. Таким образом, разработчики могут сосредоточиться на написании программного кода, а не на выполнении рутинных операций, что позволяет автоматизировать процессы разработки и повышает эффективность бизнес-процессов компании, которая разрабатывает продукт с данной технологией.

Также стоит упомянуть интеграцию Gulp с инструментом, таким как Browsersync. Browsersync — это мощный инструмент, который автоматически обновляет веб-страницы в браузере при изменении исходных файлов. Это означает, что разработчики могут видеть результаты своей работы в реальном времени, без необходимости вручную обновлять страницу. В контексте деловых коммуникаций это может быть особенно полезно при тестировании новых функций или изменений на сайте, так как позволяет быстро получать обратную связь и корректировать ошибки [4].

В развивающемся бизнес-мире требуется быстрый обмен информацией и эффективное взаимодействие. Поскольку компании сталкиваются с огромными объемами данных и необходимостью бесперебойной коммуникации как внутри, так и снаружи, важность автоматизации бизнес-процессов невозможно переоценить. Технологии, такие как Docker, docker-compose, Kubernetes (K8s) и Gulp, выделились как настоящие новаторы в этой области. Docker и docker-compose революционизировали стандартизацию процессов разработки и развертывания, устраняя традиционные преграды и обеспечивая стабильную работу приложений в различных средах. С другой стороны, K8s выделяется своими возможностями оркестровки контейнеров в больших масштабах, предлагая компаниям гибкость в адаптации к колебаниям рынка, обеспечивая при этом масштабируемость и доступность приложений. Gulp дополняет эту экосистему, упрощая разработку веб-приложений, автоматизируя рутинные задачи и повышая общую эффективность. В сущности, все эти инструменты в совокупности предлагают надежную основу для автоматизации деловых коммуникаций, позволяя компаниям процветать в современных динамичных бизнес-условиях [5].

Список литературы:

1. Безпятый М. В. Автоматизация и оптимизация процессов разработки и развертывания в DevOps: применение современных методов и инструментов // Инновации и инвестиции. – 2023. – № 7. – С. 458-464.
2. Docker Docs // Docker. – URL: https://docs.docker.com/ (дата обращения: 25.10.2023).
3. Kubernetes Documentation // Kubernetes. – URL: https://kubernetes.io/docs/concepts/overview/ (дата обращения: 25.10.2023).
4. Figueroa, C., Knowles, T., Kukreja, V., & Lung, C.-H. (2023) IoT Management with Container Orchestration, URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/10170261 (date accessed: 25.10.2023).
5. Yujing W., Darrel M. Developing a Process in Architecting Microservice Infrastructure with Docker, Kubernetes, and Istio, Canada, URL: https://arxiv.org/pdf/1911.02275.pdf (date accessed: 25.10.2023)

© Иванов В. А., 2023

УДК 621.314

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИЛОВЫХ МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

студент **Цыкунова Анна Андреевна,**
науч. руководитель: доктор техн. наук, доцент
Сериков Александр Владимирович,
Комсомольский-на-Амуре государственный университет,
г. Комсомольск-на-Амуре, Российская Федерация

Аннотация. В работе производится оценка возможности внедрения и использования систем утилизации тепла в силовых масляных трансформаторах для собственных нужд трансформаторных подстанций. Проводится анализ известных систем охлаждения трансформаторов, соответственно, определяются наиболее эффективные и перспективные из них. В ходе изучения существующих способов утилизации тепла предлагается схема утилизации тепла со встроенным нагревательным модулем.

Ключевые слова: силовой трансформатор, энергоэффективность, тепловые потери, нагревательный контур.

IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF POWER OIL TRANSFORMERS

Student **Tsykunova Anna Andreevna,**
Academic Advisor: Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
Serikov Alexander Vladimirovich,
Komsomolsk-on-Amur State University,
Komsomolsk-on-Amur, Russian Federation

Abstract. The paper evaluates the possibility of introducing and using heat recovery systems in power oil transformers for the own needs of transformer substations. The analysis of known transformer cooling systems is carried out, respectively, the most effective and promising of them are determined. In the course of studying the existing methods of heat recovery, a heat recovery scheme with a built-in heating module is proposed.

Keywords: power transformer, energy efficiency, heat losses, heating circuit.

В настоящее время проблема энергосбережения является одной из самых актуальных, и с каждым годом этой теме уделяют все большее внимание. Рассматриваются различные способы снижения энергозатрат, которые реализуются разнообразными схемами, позволяющими сократить потребление энергии [1].

Современные силовые трансформаторы отличаются высоким КПД, который достигает 99 %, но в то же время абсолютное большинство потерь,

выделяющихся трансформаторами – тепловые, и они, соответственно, впустую рассеиваются в окружающую среду. Но эти потери можно направить непосредственно на собственные нужды самой трансформаторной подстанции [2; 3].

Целью данной работы является оценка возможности использования тепловых потерь силовых масляных трансформаторов, а также проведение грамотного аналитического исследования, в котором необходимо отразить основные способы и методы использования тепла силовых трансформаторов для теплоснабжения подстанций.

Задачи исследования:

- определение технологических потерь силовых трансформаторов;
- анализ систем охлаждения трансформаторов;
-исследование существующих установок утилизации тепла трансформатора;
- рассмотреть и предоставить систему утилизации тепла трансформатора на основе нагревательного модуля, встроенного в рабочий объем масляного трансформатора.

Для собственных нужд трансформаторных подстанций в среднем выделяют около 5 % от суммарных технологических потерь электрической энергии (рис. 1), но при анализе экономической составляющей выясняется, что в денежном выражении эти потери эквивалентны миллиардам рублей в год [4]. Структура собственных нужд подстанций показана на рис. 1.



Рисунок 1. Распределение технологических потерь

Для достижения наилучшего эффекта от снижения расхода электроэнергии необходимо рассматривать следующие структуры собственных нужд: потребление электроэнергии установками охлаждения трансформаторов и реакторов, использование электронагревательных устройств для обогрева оборудования и помещений (рис. 2).

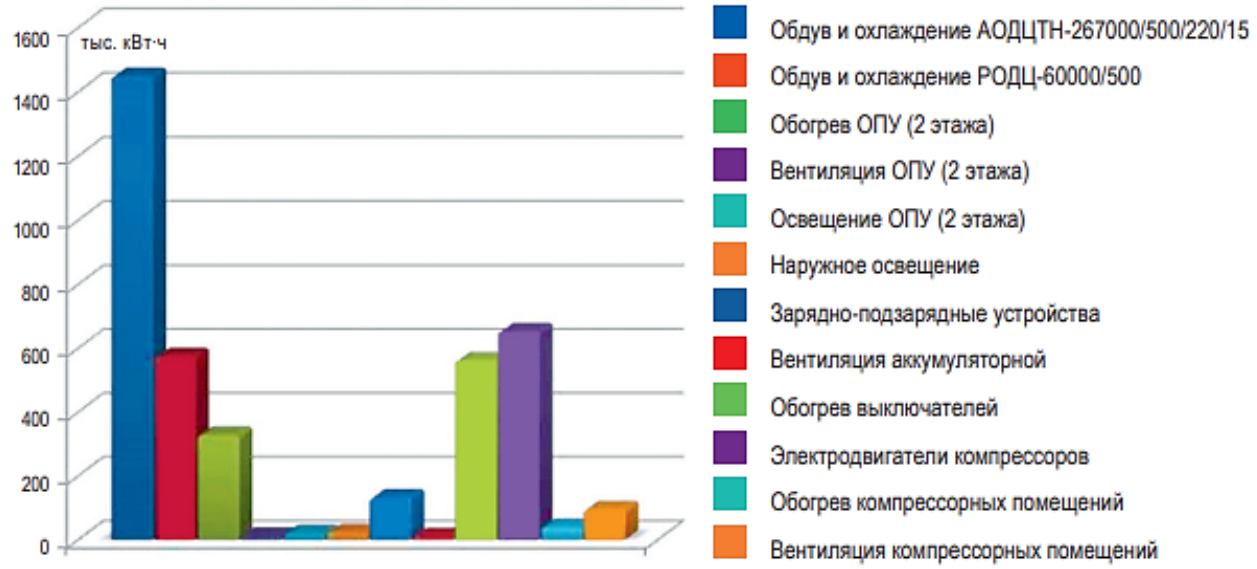


Рисунок 2. Нормы расхода электроэнергии

Полученные при эксплуатации затраты электроэнергии превышают допустимые значения, в соответствии с нормативными документами, именно поэтому необходимо проводить ряд мероприятий, позволяющие снизить потери электроэнергии на собственные нужды. Одним из таких мероприятий является внедрение установки утилизации тепла трансформатора для обогрева зданий [5].

Для того, чтобы внедрить установку утилизации тепла трансформатора, необходимо провести детальный разбор систем их охлаждения и оценить возможность полезного использования потерь трансформаторного оборудования.

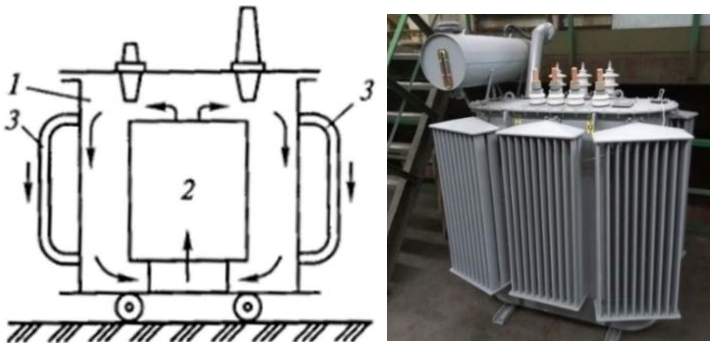
На данный момент известны несколько систем охлаждения трансформаторов, если в качестве второй буквы в аббревиатуре мы наблюдаем (С), то понимаем следующую характеристику: представленный трансформатор сухой, с естественным воздушным охлаждением, иначе говоря, при его работе не используется трансформаторное масло. Если же трансформатор с мощностью более 16 МВА, то применяют масляную систему охлаждения, которая, так же как и сухая система, обладает своей классификацией. Выделяют следующие марки масляных систем охлаждения трансформаторов: М, Д, ДЦ, НДЦ, Ц, НЦ [6].

Согласно ГОСТ 52719-2007, в таблице 1 приведены следующие виды охлаждения трансформаторов и их условные обозначения.

Таблица 1 – Системы охлаждения трансформаторов

Тип трансформатора	Вид системы охлаждения	Мощность трансформатора, МВА	Оценка возможности регулирования
Сухие	Естественное воздушное при открытом исполнении (С)	До 1,6	низкая
	Воздушное с дутьем (СД)	До 1,6	средняя
Масляные	Естественное (М)	До 16	низкая
	С дутьем и естественной циркуляцией масла (Д)	До 80	средняя
	С дутьем и принудительной циркуляцией масла (ДЦ)	От 63 и более	высокая
	Масляно-водяное с естественной циркуляцией масла (МВ)	До 160	средняя
	Масляно-водяное с принудительной циркуляцией масла (Ц)	От 160 и более	высокая
С негорючим жидким диэлектриком	Естественное охлаждение (Н)	До 630	низкая
	Охлаждение с дутьем (НД)	От 630 и более	низкая

Система марки М (рис. 3) является более производительной, чем СД, обеспечивая отток теплого потока от обмоток трансформатора при помощи естественной циркуляции масла в баке, охлаждение подогретого масла осуществляется при помощи стенок бака или внешних радиаторов. В отличие от других систем охлаждения, не требуется дополнительных устройств, что упрощает эксплуатацию.



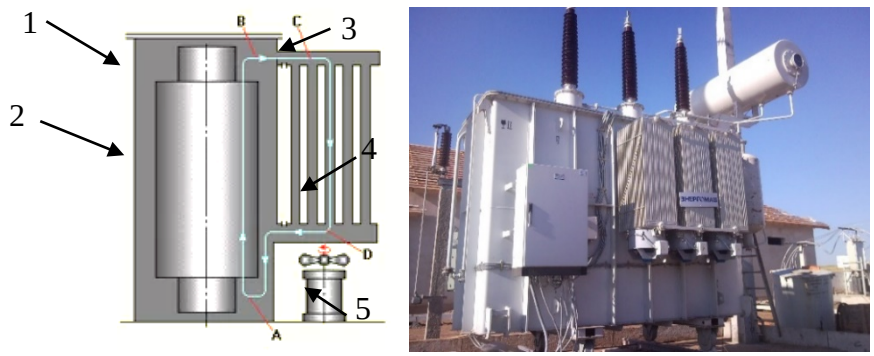
1 – бак, 2 – активная часть, 3 –радиатор

Рисунок 3. Система М

Система марки МЦ подразумевает принудительную циркуляцию масла, которую обеспечивает внешнее устройство – циркуляционный насос. При использовании этой системы устанавливается равномерное распределение температурного режима масла, достигается понижение значения температуры в верхних слоях трансформаторного масла.

Система охлаждения марки МВ не отличается высоким спросом у производителей, так как в трубах используется вода для снижения температуры масла, эти трубы, в свою очередь размещены в верхней части бака, что сильно усложняет конструкцию и увеличивается стоимость устройства. Такая система считается эффективной, только если применять на мощных трансформаторах (160 МВА и более).

Система марки Д (рис. 4) предусматривает естественную циркуляцию масла и дополнительное направленное охлаждение воздухом навесных радиаторов – дутьё. Для её работы требуются дополнительные устройства: вентиляторы внешнего обдува и навесные радиаторы. Включение дутья в этой системе предполагается при температуре трансформаторного масла выше 55 С°.

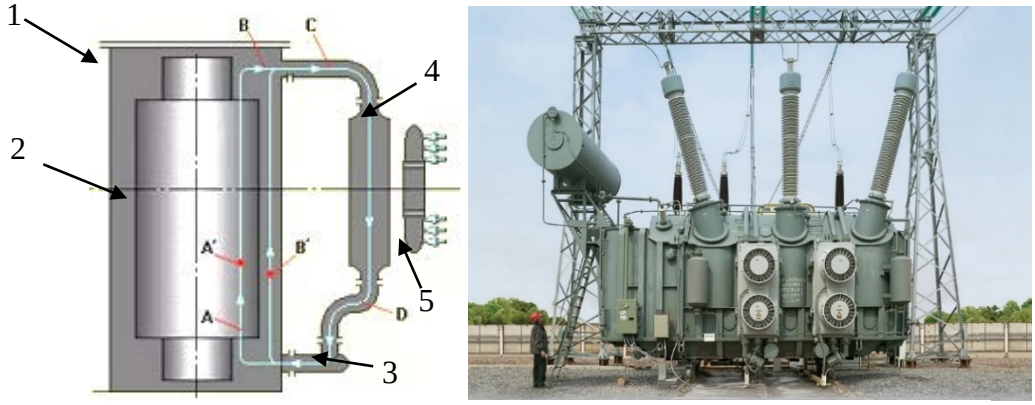


1 – бак, 2 – активная часть, 3 – коллектор, 4 – трубчатый радиатор; 5 – вентилятор

Рисунок 4. Система Д

Систему охлаждения Ц считают достаточно эффективной в вопросе эксплуатации мощных трансформаторов, эта система заменяет менее компактную систему ДЦ. Работа системы предполагает применение специальных масляно-водных охладителей, в которых вода циркулирует по трубам, а масло, в свою очередь, передвигается в пространстве между трубами, что позволяет избежать смешивания двух сред. Система Ц отличается высоким коэффициентом теплоотдачи, непосредственно, от стенок труб. Основным недостатком считают теплоотдачу от самих обмоток трансформатора, которая примерно одинакова [7].

В системе ДЦ (рис. 5) циркуляционные насосы и вентиляторы внешнего обдува всегда включены в работу.



1 – бак, 2 –активная часть, 3 – насос, 4 – радиатор, 5 – вентилятор

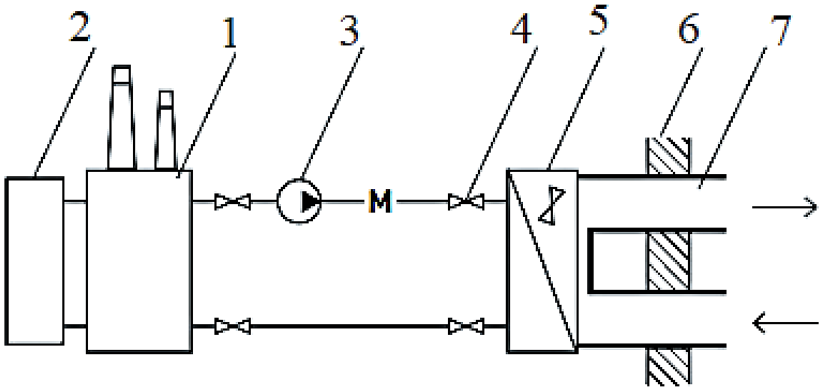
Рисунок 5. Система ДЦ

Система типа НДЦ основывается на ДЦ и имеет несколько значительных преимуществ [8]. Система базируется на наличии сформированного направленного потока, что многократно повышает эффективность охлаждения и увеличивает мощность, не внося существенных изменений в габариты устройства.

На данный момент отмечается существенная модернизация энергетической системы, но самой востребованной и распространенной все еще остается масляная система (ее виды), которая за достаточно большой срок эксплуатации доказала свою эффективность и целесообразность.

Рассмотрим схемы установок утилизации тепла трансформаторов для обогрева помещений.

1) Схема на рис. 6 предполагает непосредственное использование трансформаторного масла в качестве основного теплоносителя в системе отопления. Горячее масло из верхнего слоя (части) бака перекачивается насосом в масляные радиаторы, отдает тепло воздуху в помещении и поступает обратно в бак. Система максимально проста и достаточно энергоэффективна, поскольку в ней отсутствуют промежуточные звенья.

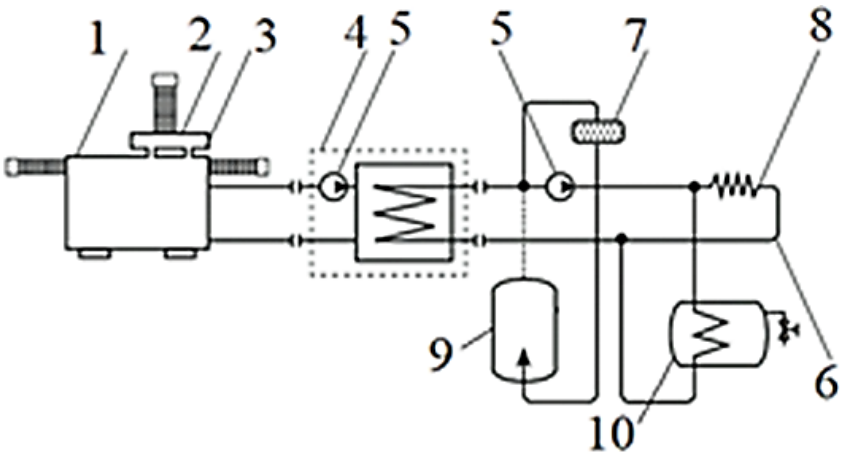


1 – трансформатор, 2 – радиатор, 3 – масляный насос, 4 – задвижка, 5 – теплообменник «масло-воздух», 6 – стена помещения, 7 – воздуховод, 8 – масло

Рисунок 6. Схема с использованием теплообменника «масло-воздух»

Главный недостаток системы – возможность утечки масла из контура отопления, что является недопустимым как с точки зрения надежности, так и пожаробезопасности, и санитарно-гигиенических норм. Поэтому из-за низкой надежности широкого распространения данная схема отбора не получила.

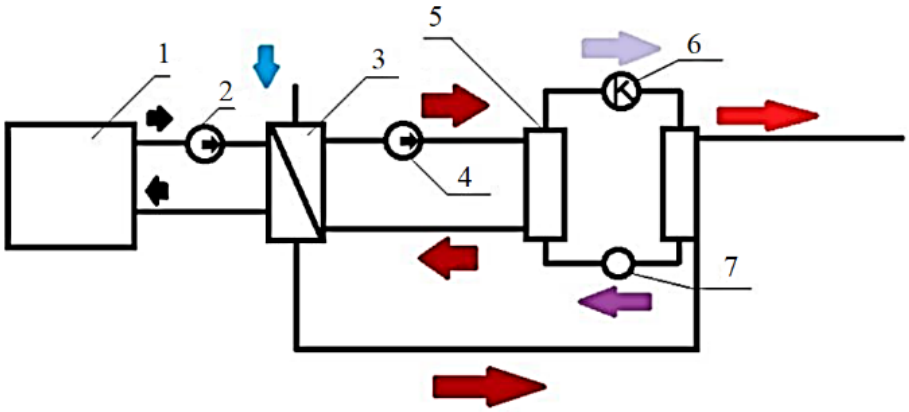
2) Схема утилизации (рис. 7) включает в себя водомасляный теплообменник. Нагретая в теплообменнике вода подается потребителю по специальным теплоизолированным трубопроводам. При любых внештатных ситуациях (авариях) в системе теплообменника срабатывает автоматическая защита трансформатора [9, 10]. Для обеспечения заданной температуры нагреваемой воды системы теплоснабжения в схеме предусмотрено дополнительное устройство: электрокотел, в котором размещается нагревательный элемент. В описанной схеме используется отдельный (вынесенный) теплообменник, по которому циркулирует трансформаторное масло.



1 – силовой трансформатор, 2 – расширитель трансформатора, 3 – трансформаторное масло, 4 – теплообменный модуль, 5 – циркуляционный насос для масла, 6 – нагреваемая вода, 7 – расширитель, 8 – тепловая сеть (потребитель теплоты), 9 – нагревательный бак (электрокотел), 10 – аккумулятор горячей воды

Рисунок 7. Схема утилизации теплоты трансформатора с помощью водомаслянного теплообменника

3) В период поздняя осень–зима–ранняя весна использование дополнительного устройства – теплового насоса (ТН) – обуславливается невозможностью теплообменника обеспечить нормативную температуры горячей воды для ЖКХ. Для подключения ТН используется дополнительный третий контур. Данный способ представлен на рис. 8 [11].



1 – трансформатор, 2 – масляный насос, 3 – теплообменник масло-вода, 4 – водяной насос, 5 – испаритель, 6 – компрессор, 7 – дроссельный вентиль

Рисунок 8. Схема теплового насоса (третий контур)

Схема работает со следующей системе: теплообменник 3, отбор тепла трансформатора 1, водяной насос 4, испаритель 5, промежуточный теплоноситель (фреон), контакт теплоносителя с водой и его кипение, перекачка фреона в компрессор 6. Затем промежуточный теплоноситель сжимается компрессором, его температура возрастает и тепло передается воде, подаваемой в систему потребителей. Последующее охлаждение фреона осуществляется посредством работы дроссельного вентиля 7. При средней температуре масла в теплообменнике в 25 °С, температура воды у потребителей достигает, в среднем, значения в 65°С. Данная схема позволяет регулировать температуру в широких диапазонах и дает возможность подключения (отключения) без долгосрочных промежутков [12].

В качестве еще одного способа утилизации тепла в данной работе предлагается нагревательный элемент и теплообменник объединить в один узел – нагревательный модуль НМ (рис. 9), в состав которого входит: тиристорный коммутатор (ТК), который состоит из встречно-параллельно включенных тиристоров; и нагревательного контура (НК). НК – это замкнутый с помощью ТК полый виток из немагнитного материала, внутри которого расположен нагреваемый теплоноситель. Теплообменник необходимо устанавливать внутри бака, возможно расположение как на активной части трансформатора, так и вне ее. При помощи НМ можно более эффективно использовать часть потерь силового трансформатора и с помощью него подогревать теплоноситель до необходимых температур.

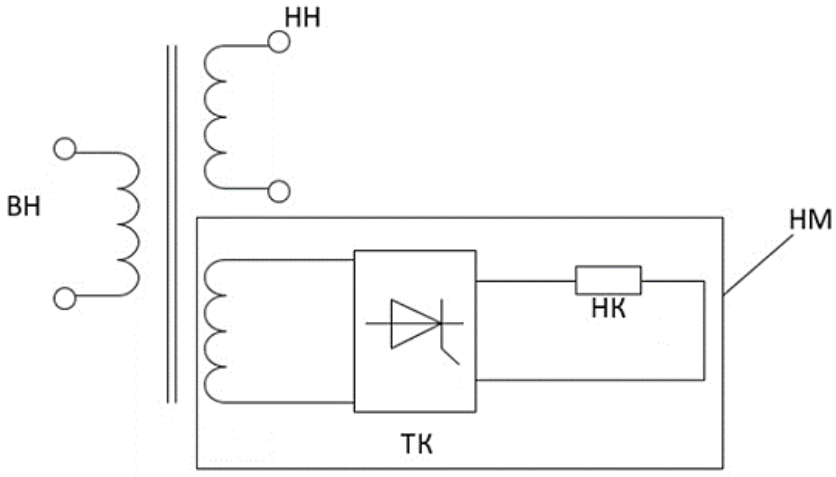


Рисунок 9. Схема трансформатора с нагревательным модулем

Для повышения энергоэффективность НК необходимо изготавливать его с повышенной поверхностью охлаждения, путем усложнения конструкции и изгиба теплообменника, также целесообразно его размещать в верхней части бака, где масло нагревается до более высоких температур. Работа НМ регулируется ТК.

Предложенная схема позволяет значительно удешевить и упростить систему, поскольку НМ не требует дополнительно вынесенного теплообменника и нет необходимости в дополнительном оборудовании, которое осуществляет циркуляцию трансформаторного масла.

Таким образом, в ходе выполнения работы было выявлено:

1) Часть электроэнергии, которая теряется на трансформаторной подстанции, может быть использована для собственных нужд подстанции при внедрении дополнительной системы утилизации тепла.

2) Для использования потерь трансформаторной подстанции в собственных нуждах наиболее предпочтительными являются системы охлаждения марки М и МВ ввиду их распространенности, простоты и эффективности.

3) Предложена система утилизации тепла трансформаторов, со встроенным нагревательным модулем. Данная система не требует значительных затрат на модернизацию существующего оборудования, является перспективной, и требует дальнейших исследований.

Список литературы:

1. Воротницкий, В. Э. Снижение потерь электроэнергии – важнейший путь энергосбережения в электрических сетях / В. Э. Воротницкий. – Текст: электронный // Энергосбережение. – 2014. – № 3. – С. 61-64. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21450705 (дата обращения: 22.10.2023). – EDN: SBKODD.

2. Иванов, С. Н. Повышение энергоэффективности и надежности силовых трансформаторов / С. Н. Иванов, Д. К. Шестопалько. – Текст: электронный // Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи: Материалы IV Российской молодежной научной школы-

конференции. Томск, 01–03 ноября 2016 года. – Томск: Томский политехнический университет, 2016. – С. 153-157. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27619646 (дата обращения: 22.10.2023). – EDN: UXYZER.
3. Биленко, И. И. Совершенствование конструкции и повышение энергосберегающих свойств силового масляного трансформатора / И. И. Биленко, Н. А. Карпов, В. В. Иванов, А. В. Сериков. – Текст: электронный // Электроэнергетические комплексы и системы: история, опыт, перспектива: Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 60-летию кафедры «Системы электроснабжения» и 100-летию плана ГОЭЛРО. Хабаровск, 19–20 ноября 2020 года. – Хабаровск: Дальневосточный государственный университет путей сообщения, 2020. – С. 53-56. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44477492 (дата обращения: 22.10.2023). – EDN: WFULLF.
4. Цепелев, И. А. Системы охлаждения трансформаторов / И. А. Цепелев, Н. С. Причислов, В. З. Ковалёв. – Текст: электронный // Проблемы рационального природопользования и история геологического поиска в Западной Сибири: Материалы VIII региональной молодёжной конференции имени В. И. Шпильмана, посвященной 90-летию со дня образования Ханты-Мансийского автономного округа – Югры и 60-летию открытия Шаимского нефтяного месторождения. Ханты-Мансийск, 02–03 апреля 2020 года. – Ханты-Мансийск: Югорский государственный университет, 2020. – С. 246-248. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44411149 (дата обращения: 22.10.2023). – EDN: YDCRPH.
5. Воротницкий, В. Э. Системы утилизации тепла трансформаторов и автотрансформаторов 220-750 кВ / В. Э. Воротницкий. – Текст: электронный // Энергия единой сети. – 2014. – № 6 (17). – С. 32-42. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25821573 (дата обращения: 22.10.2023). – EDN: VTBJYF.
6. Сипайлов Г. А., Санников Д. И., Жадан В. А. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах // М.: Высш. шк. – 1989. – 240 с. – Текст: непосредственный.
7. Литовец, А. В. Анализ потенциала использования тепловых потерь силового масляного трансформатора / А. В. Литовец, А. В. Сериков. – Текст: электронный // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2021. – Т. 21, № 1. – С. 48-54. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44930183 (дата обращения: 22.10.2023). – EDN TLKDEF.
8. Сериков А. В., Кузьмин В. М. Электронагревательные элементы и устройства трансформаторного типа для систем теплоснабжения: моногр. // Владивосток: Дальнаука. 2012. 247 с. – Текст: непосредственный.
9. Литовец, А. В. Проблемы управления трансформаторными нагревателями жидких сред / А. В. Литовец, А. В. Сериков, В. И. Суздорф. – Текст: электронный // Электротехника: сетевой электронный научный журнал. – 2015. – Т. 2. –№ 2. –

С. 56-58. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23618357 (дата обращения: 22.10.2023). – EDN: TWVVZL.
10. Притуло, И. А. Оценка возможности использования потерь силового масляного трансформатора / И. А. Притуло, А. В. Сериков. – Текст: электронный // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы V Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. – В 4-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 11–15 апреля 2022 года / Редколлегия: А. В. Космынин (отв. ред.) [и др.]. Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 154-156. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49314092 (дата обращения: 22.10.2023). – EDN QKBFZX.
11. Сергиенко, И. С. Моделирование электронагревателей трансформаторного типа / И. С. Сергиенко, А. В. Янченко. – Текст: электронный // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – Т. 3, № 7-2(18-2). – С. 441-444. – DOI 10.12737/15077. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25613754 (дата обращения: 22.10.2023). – EDN VONDRV.
12. Костюченко, В. И. Перспективы применения трансформаторов для электроводонагрева / В. И. Костюченко. – Текст: электронный // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению: Материалы международной научно-практической конференции, Комсомольск-на-Амуре, 05–06 сентября 2018 года / Ответственный редактор С.И. Сухоруков. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, 2018. – С. 115-119. – URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36886079 (дата обращения: 22.10.2023). – EDN YVTHQT.

© Цыкунова А. А., 2023

УДК 53.06

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ЭЛЕМЕНТА ПЕЛЬТЬЕ

методист **Самусева Наталья Владимировна**,
Гомельский государственный химико-технологический колледж,
г. Гомель, Республика Беларусь

Аннотация. Ускорение научно-технического прогресса во всех странах мира требует постоянного и возрастающего с каждым годом увеличения выработки и потребления энергетических ресурсов и энергии. Это, в свою очередь, вызывает увеличение потребления углеводородного сырья, запасы которого не безграничны. Постоянно растущие цены на природные ресурсы и проблемы их получения заставляют страны принимать меры к снижению потребления углеводородного сырья, энергосбережению и повсеместному использованию нетрадиционных возобновляемых источников энергии.

Ключевые слова: энергосбережение, экономика, альтернативные источники энергии.

ALTERNATIVE ENERGY SOURCE BASED ON PELTIER ELEMENT

methodologist **Samuseva Natalya Vladimirovna,**
Educational institution Gomel State College of Chemical Technology,
Gomel, Republic of Belarus

Abstract. Acceleration of scientific and technological progress in all countries of the world requires a constant and increasing every year to increase the production and consumption of energy resources and energy. This, in turn, causes an increase in the consumption of hydrocarbon raw materials, the reserves of which are not unlimited. The constantly growing prices for natural resources and the problems of obtaining them are forcing countries to take measures to reduce the consumption of hydrocarbons, energy conservation and widespread use of non-traditional renewable energy sources.

Keywords: energy saving, economy, alternative energy sources.

Проблема энергосбережения в последние годы приобрела особую актуальность. В мире предпринимаются огромные усилия по внедрению инновационных решений и технологий, позволяющих сократить потребление электроэнергии [1].

Сегодня весь мир ищет новые пути решения энергетических проблем. Для решения этой проблемы надо искать другие источники энергии – альтернативные. Альтернативные источники энергии — это устройства, позволяющие получать электрическую энергию (или другой вид энергии) и заменяющий собой традиционные источники энергии, работающие на нефти, природном газе и угле.

В экономике Беларуси энергосбережение и энергосберегающие технологии являются приоритетными и внедряются в производство.

Экономия энергетических ресурсов должна стать элементом нашего менталитета, производственной и бытовой культуры, долгом каждого гражданина. Экономия энергии в учебном заведении, важная с экологической точки зрения, может оказаться выгодной экономически [2, с. 3].

Предметом исследования является создание и использование устройства для получения электрической энергии на основе элемента Пельтье в энергосбережении учреждения образования «Гомельский государственный профессиональный технологический лицей».

Проект «Изготовление устройства на основе элемента Пельтье для получения электрической энергии» направлен на разработку и внедрение системы генерации электрической энергии из теплового источника.

Цель: разработка устройства, позволяющего конвертировать тепло в электрическую энергию.

Задачи: сократить потребление электроэнергии в аудитории учебного заведения; вовлечение участников образовательного процесса в энергосбережение в учебном заведении.

Предполагаемый результат: снижение затрат на электроэнергию в аудитории путем подключения устройства к системе отопления; преобразование и использование вторичной тепловой энергии для генерации электрической энергии.

Устройство на основе элемента Пельтье для генерации электрической энергии от тепла подключено к трубе горячего водоснабжения (также можно подключать непосредственно как к радиатору отопления) (рис. 1).

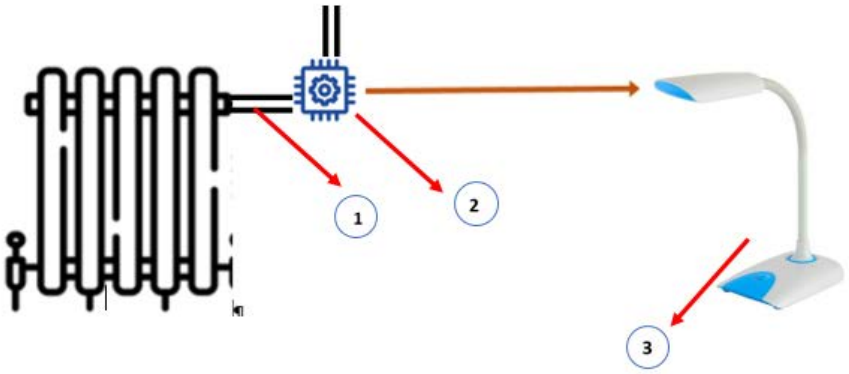


Рисунок 1. Схема подключения устройства:
1 – труба горячего водоснабжения; *2* – устройство для преобразования тепловой энергии в электрическую; *3* – LED – светильник

Устройство для преобразования тепловой энергии в электрическую состоит из следующих комплектующих (рисунок 2): 1 – термоэлектрический модуль TEC1-12706; 2 – радиатор пассивного охлаждения ПК; 3 – повышающий DC-DC преобразователь TB376 USB DC 5B.

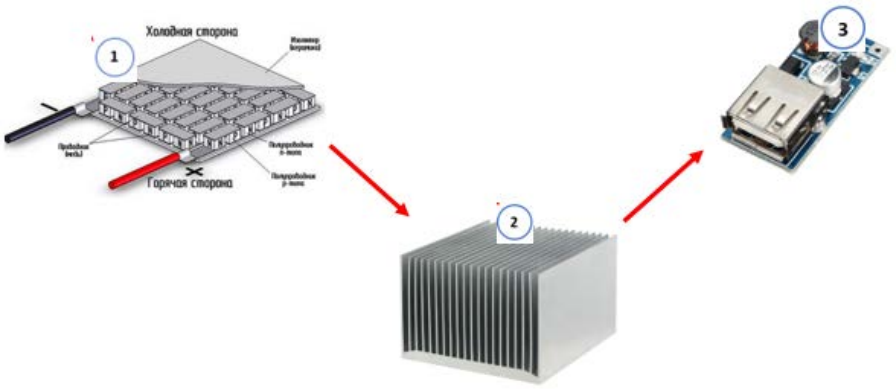


Рисунок 2. Комплектующие устройства

В основе принципа работы термоэлектрического модуля Пельтье TEC1-12706 лежит контакт двух полупроводниковых материалов с разными уровнями энергии электронов в зоне проводимости. При возникновении разности температур на обоих контактных сторонах электрон должен приобрести энергию, чтобы перейти в более высокоэнергетическую зону проводимости другого полупроводника.

Элемент Пельтье состоит из одной или более пар небольших полупроводниковых параллелепипедов: одного n-типа и одного p-типа в паре, которые попарно соединены при помощи металлических перемычек. Металлические перемычки одновременно служат термическими контактами и изолированы непроводящей плёнкой или керамической пластинкой.

Минимальная единица модуля – термопара, представляющая из себя два соединенных проводника p и n типа.

Пары параллелепипедов соединяются таким образом, что образуется последовательное соединение многих пар полупроводников с разным типом проводимости, так чтобы вверху были одни последовательности соединений (n->p), а снизу – противоположные (p->n). При создании разности температур, если охлаждать одну сторону элемента, например, радиатором, а вторую нагревать теплом отопительной трубы, то при такой разности возникает электрический ток [3].

Таблица 1 – Технические параметры TEC1-12706

Обозначение	Параметр	Значение при температуре горячей стороны	
		25 °C	50 °C
Q_{max}	Холодопроизводительность	50 Вт	57 Вт
Delta T_{max}	Разность температур	66 °C	75 °C
I_{max}	Максимальный ток	6.4 A	6.4 A
U_{max}	Максимальное напряжение	14.4 В	16.4 В
Resistance	Сопротивление	1.98 Ом	2.3 Ом

В комплекте устройства для преобразования тепловой энергию в электрическую мы также использовали радиатор пассивного охлаждения для ПК, для выравнивания напряжения и повышения мощности, использовался повышающий DC-DC преобразователь TB376 USB DC 5B.



Рисунок 3. Внешний вид устройства для преобразования тепловой энергии в электрическую



Рисунок 4. Подключение устройства к трубе горячего водоснабжения



Рисунок 5. Подключение к устройству LED- светильника 10 Вт

Рисунок 6. QR-ссылка на видео-демонстрацию работы устройства на основе элемента Пельтье

В отопительный сезон в каждом учреждении, предприятии, офисе, кабинете начинают работать отопительные батареи, отдавая своё тепло на обогрев помещения. В связи с этим есть возможность рационально использовать энергию тепла, вторично преобразовав её в электрическую энергию и использовать её для подключения малых электрических приборов [4, с. 7].

Список литературы:

1. Петелин, А. Л. Нелинейная термодинамика неравновесных систем: учебное пособие / А. Л. Петелин. – Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – Текст: непосредственный.
2. Закон Республики Беларусь «Об энергосбережении» от 08.01.2015 №239-З.
3. Элемент Пельтье стабилизация температуры [сайт]. – Режим доступа: http://kazus.ru (дата обращения: 14.08.2023).
4. Эксперимент по постройке термоэлектрического генератора на основе элементов Пельтье [сайт]. – Режим доступа: https://habr.com (дата обращения: 14.08.2023).

© Самусева Н. В., 2023

УДК 621.311.001.57

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ОТКЛЮЧЕНИЯ АВАРИЙНОГО РЕЖИМА РЕШЕНИЕМ УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ РОТОРА СИНХРОННОЙ МАШИНЫ

канд. техн. наук, доцент **Исаев Андрей Станиславович,**
студент **Суханов Василий Александрович,**
Российский химико-технологический университет
им. Д. И. Менделеева,
г. Новомосковск, Российская Федерация

Аннотация. Статья посвящена расчету динамической устойчивости энергосистемы. Объект исследования – простейшая энергосистема, для которой определено критическое время отключения аварийного режима. Особенностью работы является использование прямых математических методов расчета с применением аппарата дифференциального исчисления при отказе от известных инженерных методик.

Ключевые слова: динамическая устойчивость, дифференциальное уравнение, метод площадей, параметры режима, переходный процесс, синхронный генератор, уравнение движения ротора, Matlab Simulink.

DETERMINING THE LIMIT TIME OF EMERGENCY MODE SHUT-OFF BY SOLVING THE ROTOR MOTION EQUATION SYNCHRONOUS MACHINE

PhD in Technology, Associate Professor **Isaev Andrey Stanislavovich,**
Student **Sukhanov Vasily Alexandrovich,**
Novomoskovsk Institute (branch) Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia,
Novomoskovsk, Russian Federation

Abstract. The article is devoted to the calculation of the dynamic stability of the power system. The object of study is the simplest power system, for which the critical time for switching off the emergency mode is determined. A peculiarity of the work is the use of direct mathematical methods of calculation using the apparatus of differential calculus while abandoning known engineering techniques.

Keywords: area method, dynamic stability, differential equation, mode parameters, rotor motion equation, synchronous generator, transient process, Matlab Simulink.

Введение. Динамическая устойчивость объекта – способность сохранять исходный режим (или близкий к нему) при значительных внешних возмущающих факторах. Для энергетической системы (ЭС) к подобным воздействиям относят, прежде всего, аварии и коммутационные переключения,

приводящие к кардинальному изменению параметров системы. Теория электромеханических процессов проработана в необходимом объеме и достаточно полно изложена в фундаментальных монографиях [1, 2].

Математически переходный процесс описывается основным уравнением движения ротора синхронной машины – частный случай ДУ (дифференциального уравнения) для вращательного движения твердого тела:

$$T_j \frac{d^2\delta}{dt^2} = T_j \cdot \alpha = \Delta M \ , \qquad (1)$$

где T_j – постоянная инерции генератора; α – угловое ускорение; δ – угол между векторами напряжения U и ЭДС генератора E; M – электромагнитный момент.

Форма записи (1) приведена для всех величин в относительных единицах и носит упрощенный характер, т. к. не учитывает контуры возбуждения и демпфирования. Она принята для численного решения ДУ методом последовательных интервалов (метод Эйлера первого порядка) – в виде разделяющихся переменных оно решения не имеет. Развитие информационных технологий с появлением пакетов прикладной математики (Matlab, MathCAD, Mathematica) позволяет не только уменьшить трудоемкость вычислительных процессов, но и строить более строгие и точные математические модели ЭС. В [3] приведена модификация ДУ, позволяющая учесть контур демпфирования. При получении времени в привычных единицах измерения (t, c) (1) преобразуется к виду:

$$\frac{T_j}{\omega_0}\frac{d^2\delta}{dt^2} + P_d \frac{d\delta}{dt} = P_0 - P_m \sin\delta \, , \qquad (2)$$

где ω_0 – синхронная скорость магнитного поля, определяемая частотой питающей сети f_0; P_d – мощность демпфирования; P_0 – мощность турбины; P, P_m – электромагнитная мощность, соответственно мгновенное и амплитудное значение.

Методы. Рассмотрим определение критического времени существования аварийного режима на примере простейшей системы (генератор, работающий на шины неизменного напряжения, при отказе от учета активных сопротивлений). Конкретный пример принят из методического пособия [4, с. 77] – переходный процесс вызван двухфазным коротким замыканием в начале двухцепной линии с последующим отключением одной из цепей (рис. 1-б).

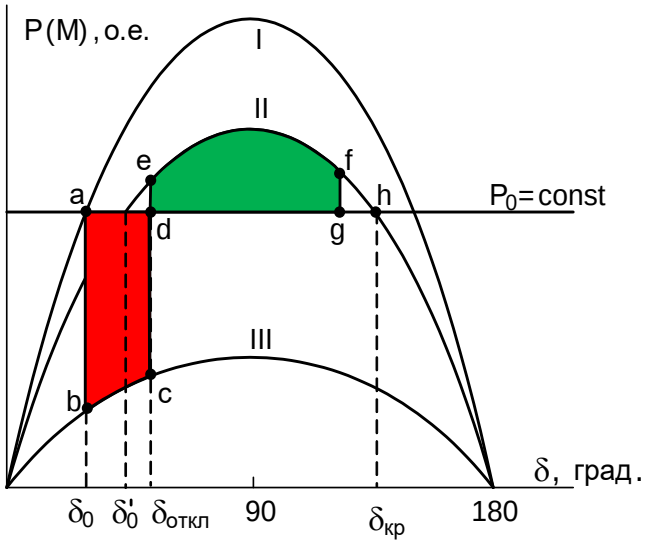
Традиционно для оценки устойчивости используется метод площадей (рис. 1-а), основанный на представлении динамического процесса, состоящего из трех – исходный (I), коммутационный (III) и послекоммутационный (II). Переход от одной характеристики к другой происходит мгновенно (при неизменном угле δ). При этом качественная оценка устойчивости выполняется визуально по соотношению площадей ускорения S_{abcd} и возможного торможения S_{deh} (условие сохранения устойчивости – $S_{abcd} \leq S_{deh}$).

Расчет критического времени отключения коммутационного режима при этом выполняется в два этапа: аналитическое определение предельного угла отключения $\delta_{откл.пр.}$ в соответствии с (3); численное решение ДУ в виде (1) с

последующим графическим определением $t_{отк.пр}$. Результаты решения представлены на рис.1-б.

$$\cos\delta_{отк.пр.} = \frac{P_0(\delta_{кр} - \delta_0) + P_m^{\ II}\cos\delta_{кр} - P_m^{\ III}\cos\delta_0}{P_m^{\ II} - P_m^{\ III}}, \qquad (3)$$

где P, δ – параметры режима в соответствии с рис.1-а (численные значения приняты согласно [4], значения мощности – в относительных единицах).

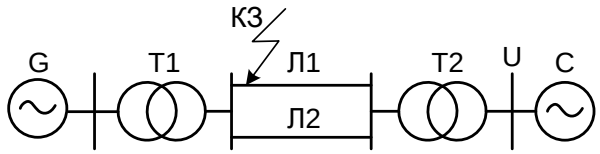


а)

P_m^{I}=3,35, P_m^{II}=2,81, P_m^{III}=1,05, P_0=1

T_j = 10,08 с, $\delta_0 = 17{,}3^0$, $\delta_{КР} = 159{,}2^0$

$\delta_{отк.пр.} = 131^0$, $t_{отк.пр.}$ = 0,61 с



б)

Рисунок 1. Оценка динамической устойчивости:
а) иллюстрация метода площадей; б) исходные данные для расчета

При построении модели использован обзор [5] программной реализации методов дифференциального исчисления. Но при этом ориентируемся не на составление программного кода (скрипт Matlab), а используем библиотеку Matlab Simulink, реализующую математические функции – это обеспечивает лучшую визуализацию результатов и гибкость проведения экспериментов как при изменении параметров отдельных элементов, так и при модернизации структурной схемы (в частности, нет необходимости удалять элементы, можно использовать функцию комментирования «*Comment out*»). Ранее подобный подход реализован для анализа RLC-цепей и типичных объектов силовой электроэнергетики [6].

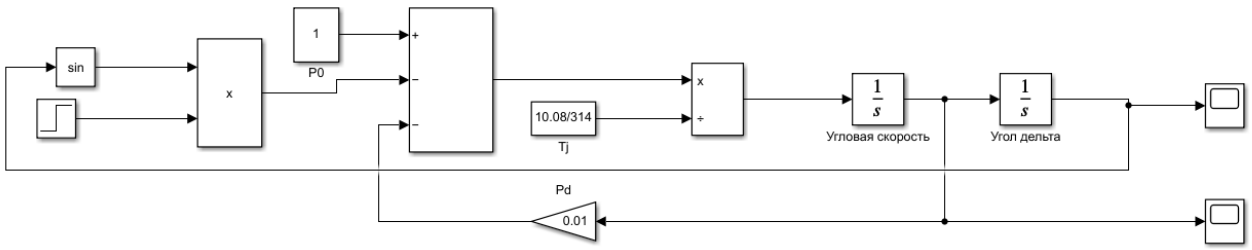
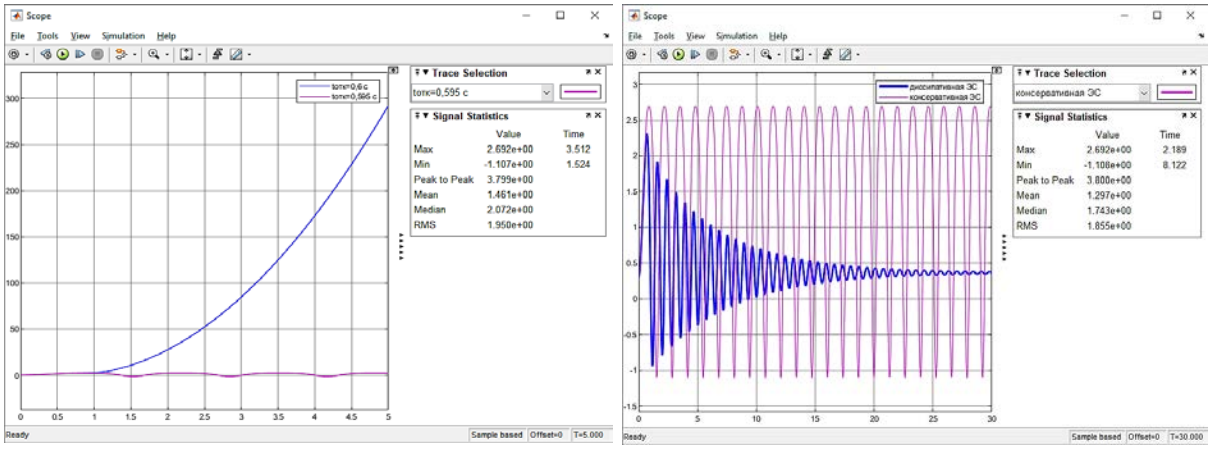


Рисунок 2. Математическая модель для решения ДУ (Matlab Simulink)

Модель (рис. 2) использует два блока интегрирования *Integrator* (в их контекстных меню вводятся начальные условия ДУ), усилитель *Gain*, блоки арифметических операций *Sum* и *Product*. Константы задаются блоками *Const*, электромагнитная мощность формируется с использованием блока тригонометрических функций, переход от одной характеристики режима к другой формирует блок *Step* (в его меню задается время перехода с одной характеристики на другую и амплитудные значения электромагнитной мощности). Результаты (угол δ и относительная угловая скорость ω) моделирования выводятся на электронные осциллографы *Scope*. Возможно инвариантное построение модели (в частности, формирование электромагнитной мощности как подсистемы) – в данном случае в качестве критерия принята простота построения и наглядность отображения результатов.

Результаты моделирования представлены на рис. 3. Установлено: критическое время существования аварийного режима равно $t_{отк.пр.} \approx 0{,}60$ с, при большем времени режим неустойчив (угол δ апериодически возрастает, при превышении значения 180^0 синхронная машина переходит в двигательный режим) – рис. 3-а. Получены характеристики для консервативной (без учета демпфирования – параметры режима представляют собой незатухающие колебания) и диссипативной (учитываются потери разного рода, значение угла δ_0' в новом установившемся режиме) – рис. 3-б. Результаты моделирования адекватны ранее проведенному расчету (рис. 1-б) в пределах общеинженерной погрешности (табл. 1).



а) б)

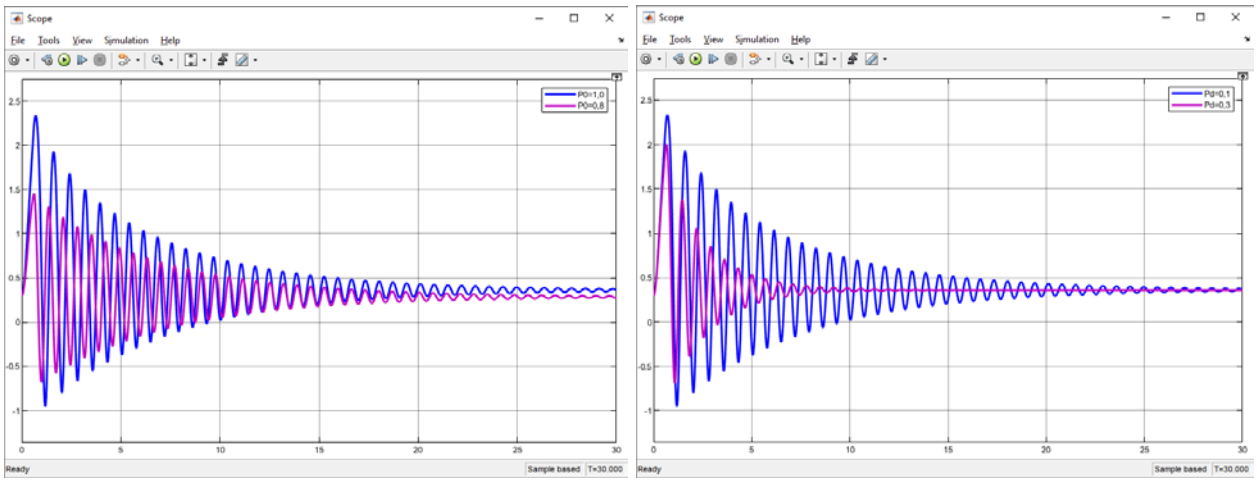
Рисунок 3. Результаты решения ДУ при вариации расчетных условий:
а) изменение времени отключения аварийного режима; б) учет демпфирования

Таблица 1 – Сравнение результатов расчета параметров переходного процесса

Параметр режима	Инструмент	
	Метод площадей	Matlab Simulink
Предельное время отключения $t_{отк.пр.}$, с	0,61	0,60
Предельный угол отключения $\delta_{отк.пр.}$, ^{0}	131,0	130,8
Критический угол $\delta_{отк.пр.}$, ^{0}	159,2	154,2
Угол нового стационарного режима δ_0', ^{0}	–	22,9

Моделирование Matlab Simulink, наряду с получением качественной зависимости, формирует и блок количественной обработки результатов («Signal Statistic» – рис. 3). Это позволяет, в частности, по максимальному значению угла («Max Value» – рис. 3) получить его критическое значение (2,692 рад. соответствует $154{,}2^0$).

На рис. 4 показана динамика переходного режима при уменьшении мощности турбины в аварийном режиме и увеличении мощности демпфирования. Подтверждено: 1) улучшение качества рассматриваемого процесса (меньше амплитуда колебаний δ) при уменьшении нагрузки; 2) уменьшение длительности переходного режима при возрастании демпфирования; можно утверждать, что при мощности P_d в 1% и более от P_0 переходный режим будет продолжаться не более 30 с.



а) б)

Рисунок 4. Динамика угла δ при вариации характеристик мощности:
а) изменение мощности турбины; б) изменение мощности демпфирования

Обсуждение. Решение ДУ является частным случаем использования возможностей Matlab. Аналогично можно использовать функции программы для интегрального расчета энергий ускорения и торможения вместо визуальных оценок в методе площадей, алгебраических критериев устойчивости (непосредственный расчет корней характеристического уравнения вместо критерия Рауса-Гурвица).

В работе [7, с. 261] показана зависимость расчета переходного процесса (электромеханические переходные процессы при управлении асинхронным двигателем) от метода решения ДУ: сделан вывод об оптимальности использования метода Рунге-Кутты 4-5 порядка (функция *ode45* Matlab). Для рассмотренной нами простейшей ЭС подобное не прослеживается – к схожим результатам приводят различные методы решения неоднородного ДУ.

В построенной модели не учтено действие регуляторов АРВ (автоматическое регулирование возбуждения). Их учет подробно изложен [2, с. 187] с выводом, что при этом усложняется расчет (из-за невозможности аналитического определения амплитуд P_m) – но предельное время отключения КЗ при этом получается больше (расчетные условия более благоприятные).

Заключение. Показана возможность расчета предельного времени аварийного режима прямыми методами расчета с отказом от использующих линеаризацию традиционных инженерных методик. В результате построена более точная и строгая модель переходного процесса с учетом демпфирования (метод последовательных интервалов этого не позволяет), приводящая к получению параметров нового установившегося режима. Адекватность модели объекту исследования подтверждается соответствием результатам проведенных ранее расчетов по стандартным методикам.

Подтверждено, что расчет без учета демпфирования и действия регуляторов АРВ приводит к более тяжелым расчетным условиям переходного процесса (учет мощности демпфирования приводит к увеличению критического времени отключения КЗ с 0,595 с до 0,602 с), поэтому использование упрощенных моделей в практических расчетах легитимно – рассматривается критический режим.

Продолжение работы представляется в усложнении модели (учет контура возбуждения, действие автоматических регуляторов) и использовании библиотеки построения мехатронных систем Matlab SimPowerSystems.

Список литературы:

1. Веников, В. А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. – Изд. 3-е, доп. и перераб. – М.: Высшая школа, 1978. – 415 с.
2. Жданов, П. С. Устойчивость электрических систем. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1948. – 399 с.
3. Исаев, А. С., Хуррамов Х. А. Учет демпфирования при моделировании электромеханических переходных процессов // Современные стратегии и цифровые трансформации устойчивого развития общества, образования и науки: Сб. мат. II межд. научн.-практ. конф. – Изд. «Алеф», 2022. – С. 151-158.
4. Калентионок В. В. Устойчивость электроэнергетических систем. Сборник задач и примеры их решения: методическое пособие к практическим занятиям. –Минск: БНТУ, 2007. – 131 с.
5. Доля, П. Г. Использование MATLAB. Решение дифференциальных уравнений [сайт]. – Режим доступа: http://docplayer.ru/34139081-Ispolzovaniematlab-reshenie-differencialnyh-uravneniy.html#show_full_text (дата обращения: 01.10.2023).
6. Исаев, А. С. Приложение дифференциальных уравнений к расчету переходных процессов в электроэнергетике // Дифференциальные уравнения, математическое моделирование и вычислительные алгоритмы: Сб. мат. межд. конф. – Белгород: Изд.: БГНИУ, 2021. – С. 124-126.
7. Mathematical models and specifics of numerical calculations of dynamic characteristics of electric drives with induction motors: monograph / O. Chornyi, O. Tolochko, V. Tytyuk. D. Rodkin, G. Chekavskiy – Kremenchuk: PE Shcherbatykh O.V., 2016. – 302 p.

© Исаев А. С., Суханов В. А., 2023

УДК 691.3 + 537.8

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ БЕТОННОЙ СМЕСИ СПОСОБОМ ЭЛЕКТРООБРАБОТКИ

аспирант **Момот Светлана Анатольевна,**
науч. руководитель: канд. тех. наук, доцент **Губарь Виктор Николаевич,**
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
г. Макеевка, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассмотрены способы воздействия электрообработки на бетонную смесь. В результате анализа определены методы решения технологии эффективного воздействия на бетонную смесь с получением прочностных характеристик бетона, изучение влияния электрического поля на состав бетонных смесей, а также экономические затраты в реализации проектов.

Ключевые слова: бетонная смесь, электроактивация, электрическая мощность, омагниченная вода, электропрогрев, активные центры.

METHODS OF PROCESSING CONCRETE MIX BY ELECTRIC TREATMENT

Postgraduate Student **Momot Svetlana Anatolyevna,**
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor
Gubar Viktor Nikolaevich,
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
Makeyevka, Russian Federation

Abstract. The paper considers the methods of the impact of electrical treatment on the concrete mixture. As a result of the analysis, the methods of solving the technology of effective impact on the concrete mixture with obtaining the strength characteristics of concrete, the study of the influence of the electric field on the composition of concrete mixtures, as well as economic costs in the implementation of projects are determined.

Keywords: concrete mix, electroactivation, electric power, magnetized water, electric heating, active centers.

Бетон остается приоритетным материалом для возведения разных уровней сложности инженерных сооружений и конструкций. Но, как известно, сроки набора прочности бетонов имеют длительный период, что влияет на скорость самой стройки. Влияние на бетонные смеси, их характеристики, сроки твердения могут произвести не только водоцементное соотношение, химические добавки, но и обработка бетонных смесей. Перспективным направлением в данном случае считается использование метода электрического воздействия на бетонную смесь. В современном строительстве тепловлажностная обработка бетонных смесей применима разве что на стационарных (заводских) технологических линиях в

условиях режима изготовления больших объемов однотипных железобетонных изделий. Это производство ограничивает современное строительство нестандартных, индивидуальных построек. В связи с новыми требованиями возрастает спрос новых решений для технологии ускоренного набора прочности бетонных смесей монолитного строительства, а также воплощения новых архитектурных решений. В научных трудах современных ученых разрабатывались способы воздействия на бетонную смесь, такими как: методом электропрогрева бетонной смеси, электрообработки, электрофизический способ активации компонентов бетонных смесей при введении в них химических добавок, способ предварительного электроразогрева бетонной смеси, электромагнитной обработки, применения СВЧ и др. Литературный обзор подтверждает активный научный интерес в направлении работы с бетонной смесью электрическим полем.

В бетонной смеси вода, как компонент, является хорошим проводником электрических волн. При воздействии магнитного поля изменяется распределение плотности электронных облаков, молекулы воды поляризуются, изменяя энергию. Возникают активные центры, взаимодействуя ионы с молекулами, составляющими непосредственное окружение, ускоряя процессы гидратации, вспучивает близлежащие объемы воды, создавая им подвижность [1, с. 19]. Таким образом, меняется структура в растворах бетонной смеси, ускоряются процессы гидратации цемента. Широко известно использование электромагнитного воздействия индукционным нагревом и использование омагниченой воды затворения. Непостоянство химического состава омагниченной воды приводит к большой нестабильности получаемых результатов, что в свою очередь усложняет контроль над взаимосвязью электронов воды с другими активными центрами состава бетонной смеси. На основе этого выдвинута гипотеза о положительном влиянии магнитной составляющей электромагнитного поля при непосредственном воздействии на бетонную смесь до начала схватывания при наличии направленного движения частиц смеси [2, с. 68].

В работе Шведова А. П. и Парфенова Л. М. «Методы электроактивации бетонных смесей и их эффективность» доказано, что в бетонной смеси, находящейся между электродами, к которым приложено электрическое поле, ионы образуются в результате реакций цемента с водой и в момент подачи поля получат ускорение. Создается электрическое поле, при этом возникает периодическое механическое воздействие [3, с. 70]. В установившемся режиме электрического поля ионы и заряженные зерна заполнителя будут совершать вынужденные гармоничные колебания с определенной амплитудой, которую можно выразить формулой:

$\omega_0^2 - \omega^2$

$$A(\omega) = \frac{q_0 E_0}{m\sqrt{(\omega 0^2 - \omega^2) + \frac{\eta^2 \omega^2}{m^2}}},$$

где ω – круговая частота; Ƞ – коэффициент сопротивления среды (в данном случае вязкость растворителя); m – масса иона, (кг); q – заряд иона. Имеются наблюдения, что при температуре бетонной смеси + 20°С переход через

потенциальный барьер составляет D = 0,4•10 -5, который определяет диффузию ионов и обуславливает решающее влияние на величину электропроводности, а также – скорость кристаллизации цемента.

Ученым рассмотрены методы повышения активности воды как основного компонента бетонной смеси и выявлена нестабильность получаемых результатов. Для повышения активности воды используют воздействие электрического тока с разными характеристиками. В заключении имеются наблюдения с применением однородно-континуальной модели, обнаружено увеличение подвижности прочности отводом отдельных молекул воды с трехмерной пространственной сеткой, содержащих искривленные и разорванные водородные связи. Этот процесс характеризует увеличение подвижности бетонной смеси. Стимулируя цементные суспензии электроактивацией, заряд цементной частицы формирует упорядоченное расположение водных кластеров. Толщина же сольватных оболочек уменьшается за счет уменьшения размеров кластеров, что в свою очередь говорит об увеличении роста прочности бетона.

В 1987 году используется опалубка, как электроды, применяется активность воды затворения как проводник, и в практических экспериментах отмечается, что в его опытных образцах происходит направленное передвижение частиц вяжущего из свежеуложенного слоя бетона в ранее уложенный слой, данный способ был излишне не экономичен. Подавалось большое напряжение, к опалубке были повышенные требования. Но такой метод был родоначальником последующих более современных разработок [2, с. 69].

Тема электродного прогрева бетона с применением токопроводящего минерала ставит задачу технологии зимнего прогрева бетонных смесей с применением шунгита, чем сохраняется активность строительных материалов, способствует набор прочности бетона при отрицательных температурах. При этом есть доказательство, что при полученных результатах для строительной отрасли усиливается повышение эффективности электродного прогрева бетона с применением токопроводящего минерала шунгита и возможности снижения материальных затрат на его осуществление в технологии зимнего бетонирования. Но при этом барьер применения высокого напряжения непреодолим.

В регионах России остро стоит вопрос экономии ресурсов энергопотребления на строительных площадках. Известно, что на потребление на 1-1,5 $м^3$ бетонной смеси до 70°С за 10 минут необходимо затратить электрической мощности от 300 до 900 кВт. Большинство строительных объектов (помимо крупных промышленных строек) такими электрическими мощностями не располагают.

Разработки с изменением мощности электроэнергии в цепи переменного тока в процессе электрофизической ионизации в 2017 г. предлагают предварительный разогрев бетонной смеси, метода раздельной технологии приготовления и разогрева бетонной смеси без значительного увеличения электрической мощности на строительном объекте. Доказано, что малое увеличение силы тока приведет к большому увеличению напряжений.

В данном случае применяется хорошо известный электродный прогрев, а также термоактивная опалубка, создавая в предварительном разогреве метод термоса [4, с. 420].

Материалы предварительно прогреваются, после чего перемешиваются. Фактические исследования показали, что потери тепла неизбежны, чтобы поддерживать одну температуру, необходимы дополнительные затраты электроэнергии, не считая потерь при транспортировке. Несмотря на недостатки, метод был рассмотрен и изучен (табл. 1).

Таблица 1 – Удельный расход электроэнергии при различных методах зимнего бетонирования, кВт-ч/м^3

№ п\п	Температура, °С	Потребление, кВт-ч/м3
1	80	120
2	90	100
3	45	50
4	30	35

Автор аргументирует, что метод предварительного разогрева позволяет ускорить набор прочности бетона (50 % через 8 часов); снизить энергозатраты (50 кВт-ч/м^3), повысить прочность бетона, сцепление с арматурой, морозостойкость. Однако указанный метод предполагает другие затраты и неудобства, такие как термосное использование при транспортировке, или же термоактивная опалубка, которая требует затраты на материал, и необходимые требования к нему.

Изучение воздействий электрического поля на воду затворения с последующим использованием ее для приготовления вяжущей системы показало процесс ускорения и сроки схватывания, увеличивает прочность цементного камня. Регулирование таких параметров схватывания бетонных смесей при применении таких способов электрообработки, как напряженность поля, плотность тока, дает возможность управлять набором прочности и укреплением физико-механических свойств вяжущих материалов [5, с. 72]. Основные процессы твердения вяжущего, приготовленного на предварительно подготовленной электрообработанной воде, связаны с электродными (во время обработки воды) и электрокинетическими (во время твердения смеси) процессами. Сама вяжущая система рассматривается как дисперсная, характер которой меняется во времени. Структурообразование системы, связанное с коагуляцией дисперсной фазы, приводит к потере агрегативной устойчивости системы. Свободнодисперсная система переходит в связнодисперсную с конденсационно-кристаллизационной структурой, которая образуется за счет коагуляции частиц и непосредственного химического взаимодействия между ними с образованием жесткой объемной структуры. Что характерно, структуры, подвергавшиеся электрообработке, придают телу прочность и не восстанавливаются после разрушения.

Вопросы электрического воздействия на бетонную смесь не ограничены только процессами ее прогрева. В монографии Матвиенко В. А. «Электрические

явления и активационные воздействия в технологии бетона» приведен анализ электрических явлений, сопровождающих процесс твердения цементных бетонов. Выявлены концепции активных центров, а также рассмотрены межфазные и межчастичные взаимодействия активных центров в дисперсных системах. Активные центры – в объеме твердого тела и на его поверхности – отождествляют с дефектами структуры. В зависимости от размеров можно разделить на микроскопические и макроскопические. Микроскопические дефекты особенно активны. Имеются наблюдения, что активация цемента электрическими воздействиями в переменном электрическом поле с напряжением 10 кВ и током коронного разряда 70 mA происходит обеднение поверхностных слоев цементных частиц положительно заряженными центрами и обогащение ионами кислорода, что в конечном результате дает прирост прочности бетона до 30 %. В исследованиях выявлено повышение гидравлической активности и содержание в продуктах твердения гидросиликатов кальция. Для достижения электрической поляризационной активации цемента необходимо применять напряжение 10 – 20 кВ, что в конечном результате существенно негативно отражается на экономических показателях [6, с. 94].

Акматов Б. Ж. в работе «Изменение мощности электроэнергии в цепи переменного тока при процессе электрофизической ионизации» исследовал производство дополнительной электрической энергии на основе электрофизической ионизации (далее – ЭФИ) атомов химических элементов из соответствующих молекул в составе жидкости в цепи постоянного тока. В теоретической части закономерность этого процесса была рассмотрена с применением переменного электрического тока для эффективного производства дополнительной тепловой энергии. При проведении эксперимента установлена закономерность, что в процессе ЭФИ при переменном электрическом токе с течением времени возрастают напряжение и сила тока, и в то же время вырабатывается тепловая энергия, как продукт гидролиза. Кроме этого, когда напряжение на экспериментальном устройстве достигло 241 В, в процессе электрофизической ионизации мощность возросла лишь на 5х4 Вт. В то же время эксперимент показал возрастание температуры нагреваемой воды с 180˚С до 580˚С за секунду [7, с. 30].

Большинство использованных методов не нашли широкого применения в современном строительстве, технико-экономический барьер не преодолён, мобильность применения данного направления не нашла технических решений. Вопрос остается актуальным.

Основываясь на изучении литературы и результатов научных работ исследователей в данном направлении, принимая во внимание опыт их результатов, можно сделать вывод о том, что имеется тенденция на усовершенствование, а в некоторых направлениях и введение новых решений в качестве технологического вопроса усовершенствования производственного цикла изготовления цементных бетонов, методика основывается в прохождении постоянного тока по бетонной смеси, благодаря чему получается направленное движение ионов (упорядочивание), в свою очередь будет вибрировать в переменном электрическом поле, наведенным СВЧ – индуктором самой

бетонной смеси. Источник постоянного тока будет незначителен, влияние его на человека не имеет воздействия. Соответственно, в работе будут указаны величины. А также суггестивность в магнитных потоках СВЧ на бетонную смесь, в которой имеются магнитосодержащие компоненты (за счет золы – уноса) возникают токи идентичной частоты, взаимодействующие с постоянным током, и приводят бетонную смесь в вибрационное состояние. В опытном приборе предусмотрено и повышение температурного режима до + 80 ˚С (при этих условиях в бетонной смеси взаимодействие компонентов улучшаются). Во время прохождения постоянного тока через бетонную смесь сопротивления, возникающие в веществе, рассчитывается по Закону Ома (см. рис).

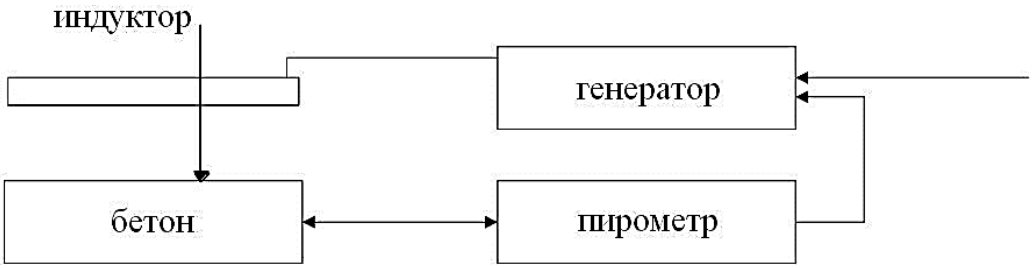


Рисунок. Блок-схема системы индукционного разогрева бетонной смеси

Изменение величин:

– во время увеличения объема бетонной смеси увеличивается мощность индукционного нагревателя;

– изменяются электрические параметры вследствие изменения частоты излучения;

– если увеличивается время разогрева – уменьшается мощность индукционного нагревателя, и наоборот.

При подборе параметров можно найти оптимальное время разогрева и мощности для данного объема бетонной смеси, согласно соответствующим температурам окружающего воздуха и заданной частоте генератора индуктора.

Электромагнитное воздействие является одним из четырех фундаментальных воздействий в природе, которое влияет в том числе и на бетон.

Данное направление является актуальным в части совершенствования технологии электроактивации бетонной смеси, контроля физико-химических процессов твердения цементных бетонов, что ставит приоритет дальнейшего более глубокого изучения влияния электрических параметров на бетонную смесь. При этом имеется необходимость максимального обеспечения электробезопасности на специализированных постах.

Подводя итог, можно сказать, что широта возможностей процессов применения электрического переменного или постоянного тока, воздействие магнитных потоков на бетонную смесь, взаимосвязь электрофизической ионизации с величиной силы тока в соотношении с напряжением далеко не до конца изученная констелляция.

Методы эффективного воздействия на бетонную смесь электрическим полем и способы применения слаботочных воздействий на строительных объектах без потери качества бетонируемых конструкций является актуальной задачей.

Список литературы:

1. Капранов, В. В. Влияние ионизации воды затворения на гидратацию вяжущих веществ / В. В. Капранов, Н. И. Горбунов // Исследование процессов образования дисперсных структур. – Минск, 1971. – 97 с. – Текст: непосредственный.
2. Юдина, А. Ф. Электрообработка воды затворения для приготовления бетонной смеси / А. Ф. Юдина, А. И. Борец // Современная технология производства бетонных работ в строительстве: материалы семинара. – Л., 1983. – С. 67–71. – Текст: непосредственный.
3. Шведов, А. П. Методы электроактивации бетонных смесей и их эффективность / А. П. Шведов, Л. М. Парфёнова. – Текст: электронный // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2016. – № 16. – С. 68-72. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_29001428_75585305.pdf (дата обращения: 27.10.2023).
4. Мухамертахимов, Р. Х. Электродный прогрев бетона с применением токопроводящего минерала / Р. Х. Мухамертахимов, А. Р. Галаутдинов, А. М. Гарафиев. – Текст: электронный // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2019. – № 4. – С. 418-426. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/elektrodnyy-progrev-betona-s-primeneniem-tokoprovodyaschego-minerala/viewer (дата обращения: 30.10.2023).
5. Степаненко, М. Г. Формирование цементного камня при электрохимической активации / М. Г. Степаненко // Тр. ХИИТА. – 1966. – № 2. – С. 72–74.
6. Матвиенко, В. А., Толчин, С. М. Электрические явления и активационные воздействия в технологии бетона / В.А. Матвиенко, С.М. Толчин. – Макеевка: РИС, 1998. – 154 с. – Текст: непосредственный.
7. Акматов, Б. Ж. Изменение мощности электроэнергии в цепи переменного тока при процессе электрофизической ионизации (ЭФИ) / Б. Ж. Акматов, А.С. Жунусалиев. – Текст: электронный // Проблемы современной науки и образования. – 2017. – № 4 (86). – С. 29-32. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/izmenenie-moschnosti-elektroenergii-v-tsepi-peremennogo-toka-pri-protsesse-elektrofizicheskoy-ionizatsii (дата обращения: 27.10.2023).

© Момот С. А., 2023

УДК 621.316.1

ОДНОФАЗНАЯ FLISR: ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К АВТОМАТИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

студент **Москаленко Павел Анатольевич,**
науч. руководитель: доцент **Горобченко Станислав Львович,**
Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В данной статье рассматриваются принципы работы однофазной FLISR, ее преимущества и особенности, а также возможности применения данного подхода в современной энергетической отрасли. Особое внимание уделено вопросам надежности и эффективности распределительных сетей, а также роли автоматизации в достижении этих целей.

Ключевые слова: когнитивные технологии, перспективы развития, качество, эффективность, производственные процессы.

SINGLE-PHASE FLISR: AN INNOVATIVE APPROACH TO DISTRIBUTION NETWORK AUTOMATION

Student **Moskalenko Pavel Anatolievich,**
Academic Advisor: Associate Professor **Gorobchenko Stanislav Lvovych,**
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. This article discusses the operating principles of single-phase FLISR, its advantages and features, as well as the possibilities of applying this approach in the modern energy industry. Particular attention will be paid to the reliability and efficiency of distribution networks, as well as the role of automation in achieving these goals.

Keywords: cognitive technologies, development prospects, quality, efficiency, production processes.

Необходимость рассмотрения и возможного внедрения такой технологии как однофазная FLISR обусловлена растущей потребностью в эффективной и надежной автоматизации распределительных сетей электроэнергии. С учетом увеличения потребления электроэнергии и интеграции возобновляемых источников энергии, стандартные методы управления и обслуживания сетей становятся все менее эффективными и непригодными для современных вызовов. Однофазная FLISR предлагает инновационный подход, который позволяет повысить надежность, эффективность и устойчивость распределительных сетей,

а также снизить затраты на их обслуживание и модернизацию. Эта проблема актуальна в связи с постоянным развитием технологий и изменением требований к энергетическим системам.

Однофазная FLISR (Fault Location, Isolation, and Service Restoration) представляет собой инновационный подход к автоматизации распределительных сетей, который способствует повышению их надежности и эффективности. Этот подход заключается в быстром определении места возникновения неисправностей, их изоляции и восстановлении электроснабжения в затронутых участках сети. Внедрение однофазной FLISR в энергетические системы позволяет сократить время реагирования на аварии, уменьшить экономические потери и улучшить качество обслуживания потребителей.

FLISR (Fault Location, Isolation, and Service Restoration) – автоматизированная система, используемая для быстрого определения местоположения повреждений, изоляции и восстановления работы распределительных сетей. Система FLISR предназначена для сокращения времени реагирования на аварии и улучшения качества обслуживания потребителей. Однофазная FLISR – разновидность системы FLISR, которая фокусируется на однофазных распределительных сетях. Этот подход обеспечивает более быстрое и точное определение местоположения повреждений, а также более эффективное восстановление работы сети после аварий [1].

Однофазная FLISR работает на основе трех основных этапов (рис. 1):

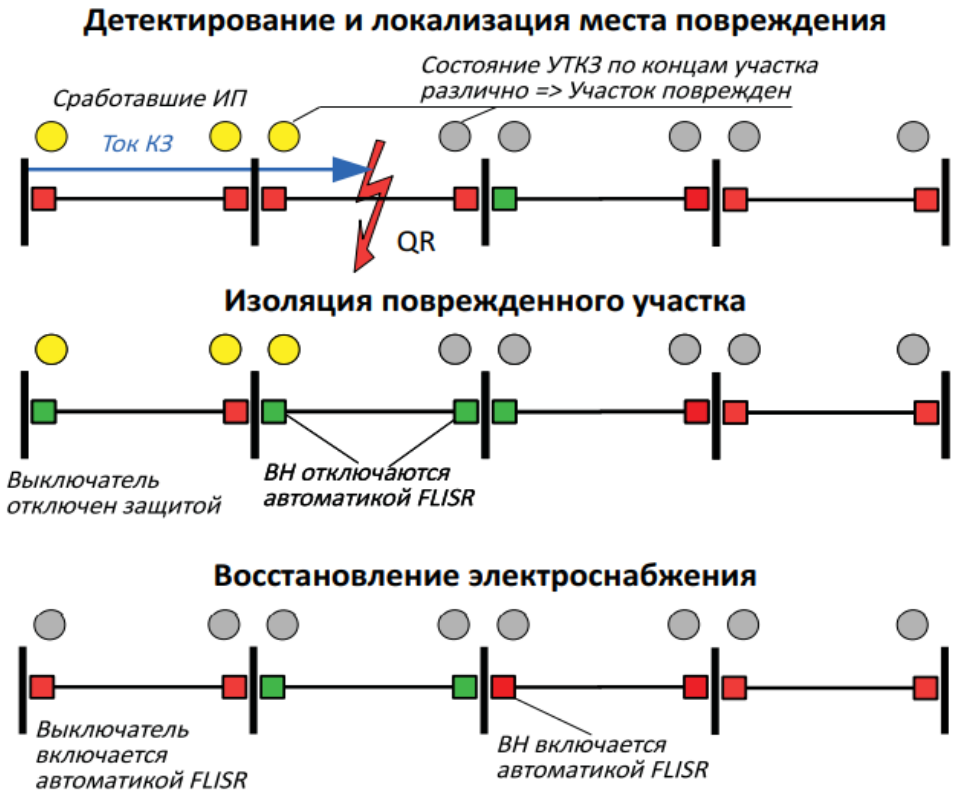


Рисунок 1. Основные этапы работы FLISR

1. Определение местоположения повреждений. Однофазная FLISR использует специальные алгоритмы и датчики, размещенные на ключевых точках распределительной сети, для определения точного местоположения повреждений. Эти алгоритмы анализируют данные с датчиков, такие как ток, напряжение и частота, чтобы выявить аномалии, указывающие на наличие повреждения в сети.

2. Изоляция поврежденного участка. После определения местоположения повреждения система автоматически активирует соответствующие разъединители или выключатели, чтобы изолировать поврежденный участок сети. Это позволяет предотвратить дальнейшее распространение повреждений и снизить риск возникновения дополнительных аварий.

3. Восстановление работы сети. На этом этапе однофазная FLISR автоматически определяет оптимальный путь для перераспределения электрической энергии, минуя поврежденный участок. Система активирует необходимые выключатели и разъединители для восстановления работы сети, минимизируя время простоя и влияние на потребителей. Восстановление может происходить путем переключения на резервные источники питания или перераспределения нагрузки между соседними участками [2].

Однофазная FLISR состоит из нескольких ключевых компонентов, которые взаимодействуют друг с другом для обеспечения эффективного управления и автоматизации распределительных сетей. Вот основные компоненты:

Датчики. Эти устройства используются для сбора данных о состоянии распределительной сети, таких как напряжение, ток, температура и частота. Датчики устанавливаются на ключевых точках сети, таких как трансформаторы, выключатели и разъединители, для непрерывного мониторинга параметров сети.

Коммуникационные устройства. Эти компоненты обеспечивают передачу данных между датчиками, аналитическими системами и устройствами управления. Коммуникационные устройства могут использовать проводные или беспроводные технологии для обмена информацией в реальном времени, обеспечивая быстрое и надежное взаимодействие между различными элементами системы.

Аналитические системы. Эти системы обрабатывают данные, полученные от датчиков, и применяют специализированные алгоритмы для определения местоположения повреждений, изоляции и восстановления работы сети. Аналитические системы также могут использовать исторические данные и машинное обучение для определения типичных шаблонов поведения сети и прогнозирования потенциальных проблем.

Устройства управления. Эти компоненты выполняют команды, полученные от аналитических систем, для управления элементами распределительной сети, такими как выключатели, разъединители и регуляторы напряжения. Устройства управления могут быть интегрированы непосредственно в оборудование сети или устанавливаться отдельно, в зависимости от конкретных требований системы [3].

В целом, ключевые компоненты однофазной FLISR взаимодействуют друг с другом для обеспечения надежного и эффективного управления распределительными сетями, повышая их устойчивость и снижая влияние аварий на потребителей.

Однофазная FLISR представляет собой инновационный подход к автоматизации распределительных сетей, который может быть использован в различных областях энергетической отрасли. Вот некоторые примеры применения однофазной FLISR:

Улучшение надежности электроснабжения в городских и промышленных районах. Однофазная FLISR обеспечивает быстрое обнаружение, изоляцию и восстановление работы сети в случае возникновения повреждений, что позволяет снизить время простоя и сократить затраты на ремонт. Это особенно актуально для городских и промышленных районов, где надежность электроснабжения является критически важным фактором для экономического развития и обеспечения комфортных условий жизни.

Обеспечение стабильного электроснабжения в удаленных и труднодоступных регионах. В отдаленных и труднодоступных регионах, где традиционные методы обслуживания и управления распределительными сетями могут быть затруднены из-за ограниченной инфраструктуры и ресурсов, однофазная FLISR может существенно упростить процесс обнаружения и устранения повреждений, обеспечивая стабильное электроснабжение для местных жителей и предприятий.

Развитие интеллектуальных сетей и интеграция возобновляемых источников энергии. Однофазная FLISR способствует развитию интеллектуальных сетей путем автоматизации процессов управления и обслуживания, что позволяет легче интегрировать возобновляемые источники энергии, такие как солнечные панели и ветряные турбины, и сбалансировать потребление и производство электроэнергии в реальном времени.

Оптимизация эксплуатации и управления распределительными сетями. Применение однофазной FLISR позволяет операторам сетей оптимизировать процессы эксплуатации и управления, снижая затраты на техническое обслуживание, увеличивая эффективность использования оборудования и сокращая потери электроэнергии в результате аварий и сбоев [4].

В последние годы однофазная FLISR успешно реализована в ряде стран и компаний, что позволило доказать эффективность и практическую ценность этого инновационного подхода. В качестве примера рассмотрим проект немецкой энергетической компании E.ON. В 2018 она успешно реализовала однофазную FLISR на своей распределительной сети в городе Мюнхен. В рамках проекта были установлены дополнительные датчики и системы автоматического управления, что позволило сократить время восстановления сети после возникновения повреждений с нескольких часов до нескольких минут. В результате удалось значительно улучшить надежность электроснабжения и снизить затраты на техническое обслуживание.

В перспективе развития однофазной FLISR необходимо провести дополнительные исследования, направленные на улучшение алгоритмов работы,

адаптацию системы к различным условиям и специфике энергосистем, а также на разработку новых технологий и методов взаимодействия с другими автоматизированными системами [5].

Таким образом, однофазная FLISR представляет собой инновационный и перспективный подход к автоматизации распределительных сетей, который способен существенно повысить надежность и эффективность электроснабжения, а также способствовать устойчивому развитию и экологической безопасности энергетической отрасли.

Список литературы:

1. Гартнер, Р. Улучшение надежности распределительных систем с помощью FLISR: [сайт]. – 2017. – URL: https://www.energycentral.com/c/iu/improving-distribution-system-reliability-flisr (дата обращения 29.10.2023). – Текст: электронный.
2. Автоматизация распределения: FLISR – Определение места неисправности, изоляция и восстановление услуг: [сайт]. – 2021. – URL: https://new.abb.com/networkmanagement/distributionautomation/daapplications/flisr (дата обращения 29.10.2023). – Текст: электронный.
3. Руководство по применению систем определения места неисправности, изоляции и восстановления услуг (FLISR) в распределительных сетях: [сайт]. – 2018. – URL: https://standards.ieee.org/standard/1809-2018.html (дата обращения 22.04.2023). – Текст: электронный.
4. Эффективный подход к автоматизации распределительных систем с использованием FLISR. International Journal of Scientific & Engineering Research: [сайт]. – 2016. – URL: https://www.ijser.org/researchpaper/An-Efficient-Approach-for-Distribution-System-Automation-Using-FLISR.pdf (дата обращения 29.10.2023). – Текст: электронный.
5. Ковалев, Д. А. Моделирование системы автоматического управления мощностью энергоблока при изменении общей нагрузки энергосистемы / Д. А. Ковалев, В. А. Шаряков, О. Л. Шарякова. // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. – 2022. – № 1. – С. 122– 129. – DOI 10.46418/2079-8199_2022_1_19. – EDN RGFHOC. – Текст: непосредственный.

© Москаленко П. А., 2023

УДК 676.164.3.082.3

ТЕПЛОВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫПАРНЫХ СТАНЦИЙ В ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

студент **Левашева Полина Дмитриевна,**
науч. руководитель: доктор техн. наук, профессор
Суслов Вячеслав Александрович,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассматривается тепловая эффективность различных видов выпарных станций по относительному движению теплоносителя и выпариваемого раствора. Представлен теплотехнический анализ типовых схем выпарных станций. Рассмотрены основные факторы, определяющие их тепловую эффективность. На основании рассмотренных вопросов теплообмена и гидродинамики при кипении восходящей парорастворной смеси в выпарных аппаратах целлюлозно-бумажного производства предложена схема наиболее теплоэффективной станции.

Ключевые слова: выпарная станция, прямоточная схема, противоточная схема, смешанная схема, выпарные аппараты, тепловая эффективность, режимы течения парорастворной смеси, кризисы кипения.

THERMAL EFFICIENCY OF EVAPORATOR PLANTS IN PULP AND PAPER INDUSTRY

Student **Levasheva Polina Dmitrievna,**
Academic Advisor: Doctor of Technical Sciences, Professor
Suslov Vyacheslav Alexandrovich,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. The paper considers the thermal efficiency of different types of evaporator plants in terms of relative motion of coolant and evaporated solution. Thermal analysis of typical schemes of evaporator plants is presented. The main factors determining their thermal efficiency are considered. On the based on the considered questions of heat transfer and hydrodynamics at boiling of rising vapor-solution mixture in evaporators of pulp and paper industry the scheme of the most thermally efficient station is supposed.

Keywords: evaporator plant, direct flow scheme, countercurrent scheme, mixed scheme, evaporators, thermal efficiency, flow regimes of vapor-solution mixture, boiling crises.

Выпаривание – сложный теплотехнический, физико-химический и технологический процесс концентрирования растворов твердого и нелетучего (или малолетучего) вещества при обязательном условии их кипения, чтобы частично или полностью удалить жидкий растворитель в виде пара. Процессы выпаривания широко применяются в различных отраслях промышленности России. Выпарные установки (ВУ) на хлорных, сахарных, крахмалопаточных заводах, заводах анилинокрасочной промышленности, батареи по упариванию алюминатных растворов, щелоков целлюлозно-бумажного производства в настоящее время представляют собой крупные и неотъемлемые звенья производственных процессов, оснащенные средствами автоматизации со сложной схемой регулирования параметров и режимов их работы [1]. Например, в пищевой промышленности выпарные станции используются при производстве джемов, мармелада, при загустении фруктовых пюре, в производстве сиропов, повидла и т. д. [2]. В цветной металлургии проводят гидрометаллургические процессы, связанные с извлечением соединений металлов из полиметаллического сырья и последующим выделением их из растворов [3].

Для концентрирования растворов могут быть применены периодический метод выпаривания (подробнее в [1]) и непрерывный. Непрерывный метод выпаривания осуществляется в многоступенчатых выпарных установках (МВУ), укомплектованных аппаратами поверхностного типа с использованием образующегося над раствором вторичного пара данной ступени в последующих ступенях с более низким давлением. При этом температуру греющего теплоносителя и кипящего раствора в каждом отдельном случае выбирают с учетом свойств выпариваемого раствора, минимальной стоимости выпарной установки и наименьших эксплуатационных затрат.

По теплотехническим признакам выпарные установки непрерывного действия разделяют на несколько групп.

1. По принципу действия:
   1.1. рекуперативные
   1.2. контактные
   1.3. адиабатные
2. По числу ступеней выпаривания:
   2.1. одноступенчатые
   2.2. многоступенчатые
3. По давлению вторичного пара в следующей ступени:
   3.1. противодавленческие
   3.2. вакуум-выпарные установки
4. По подводу первичной теплоты:
   4.1. с одним источником первичной теплоты
   4.2. с несколькими источниками теплоты
   4.3. с тепловыми насосами
5. По технологии обработки раствора:
   5.1. одностадийные
   5.2. многостадийные
6. По относительному движению теплоносителя и выпариваемого раствора:

6.1. прямоточные
6.2. противоточные
6.3. со смешанным питанием
6.4. с параллельным питанием

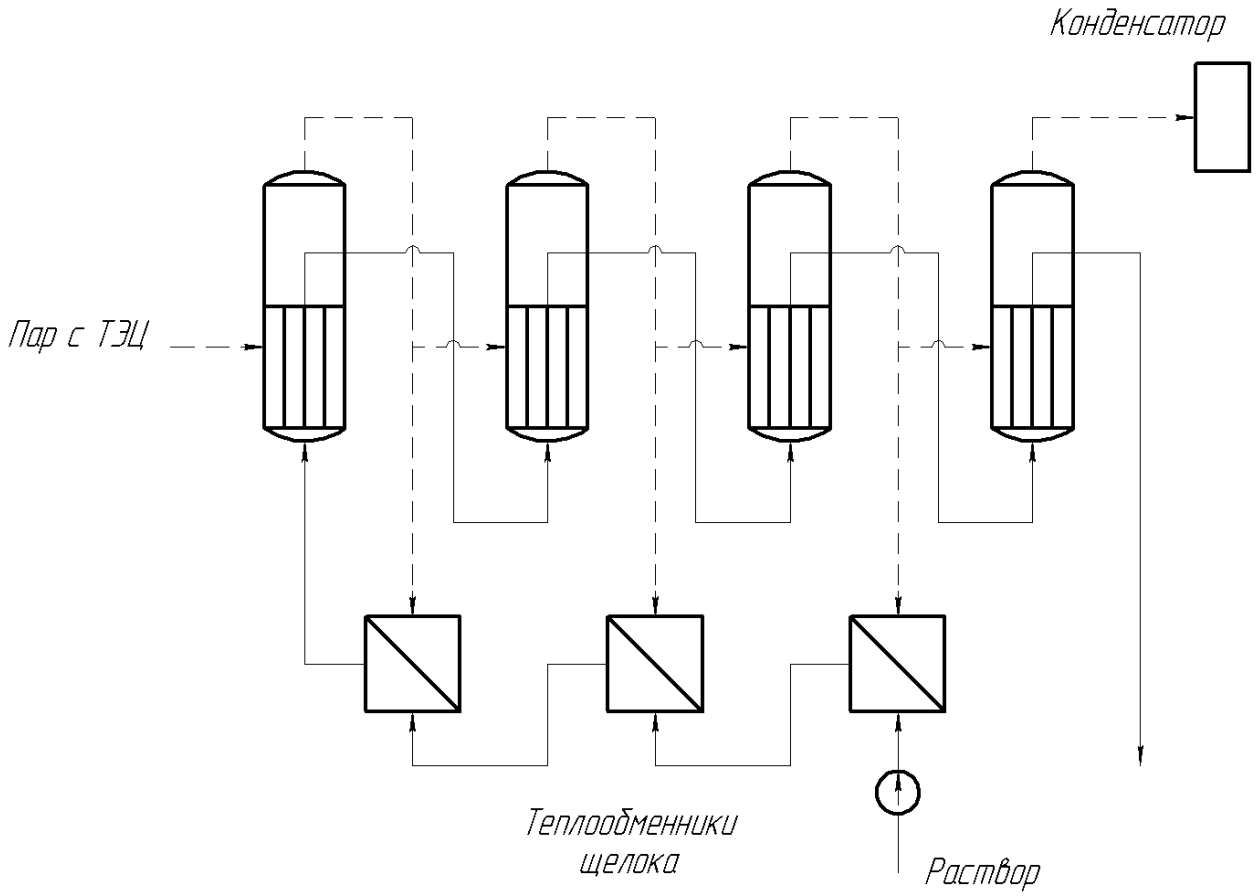


Рисунок 1. Прямоточная схема выпарной станции

Прямоточная схема выпарной станции (рис. 1) предполагает последовательное движение теплоносителя и выпариваемого раствора от одного выпарного аппарата к другому. Из первого корпуса раствор самотеком последовательно проходит все корпуса батареи, причем концентрация его повышается от первого к последнему корпусу.

Исходный раствор поступает в первый корпус и обогревается первичным паром. Вторичный пар из этого корпуса направляется в качестве греющего во второй корпус, где вследствие пониженного давления раствор вскипает при более низкой температуре, чем в первом. За счет выделяющегося при этом тепла образуется дополнительно некоторое количество вторичного пара. Такое явление, происходящее во всех корпусах установки, кроме первого, носит название самоиспарения раствора [4]. Самоиспарение приводит к интенсификации теплообмена при кипении, потому что затрачивается на 5–10 % меньше греющего пара, так как возникает дополнительный пар. Но, несмотря на высокую тепловую эффективность, данная схема не является лучшей для ЦБП, потому что раствор при входе в трубу перегрет относительно температуры кипения. Перегретый раствор при входе в кипятильную трубу вскипает, и

образующаяся при кипении пена способствует разрушению пленки жидкости в пристенной области. Кроме того, наличие пены и понижение давления затрудняют обмен жидкостью между пристенной областью и ядром потока. Поэтому в аппаратах, работающих под вакуумом, где щелока имеют наименьшую концентрацию, кризис кипения проходит более резко [5]. Вторым и самым главным недостатком прямоточной схемы в условиях работы ЦБП является повышение вязкости раствора при повышении концентрации и понижении температуры. В этих условиях сульфатный щёлок при концентрации более 40 % а.с.в. теряет текучесть.

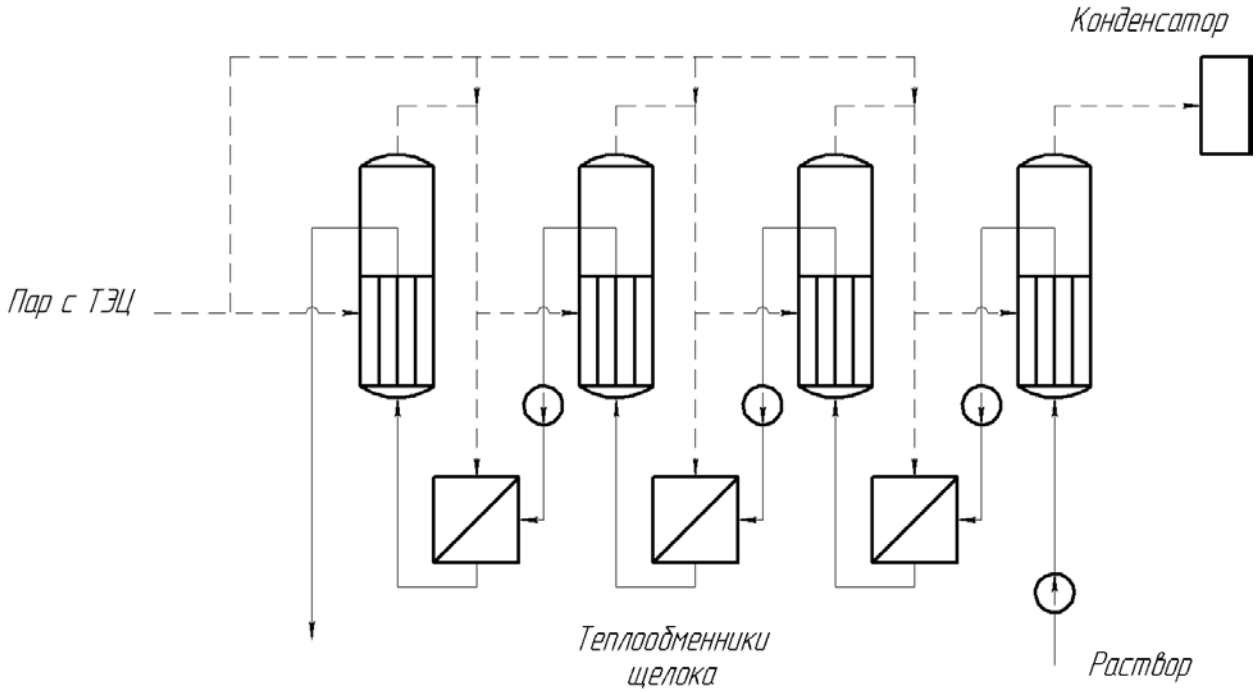


Рисунок 2. Противоточная схема выпарной станции

В выпарных станциях противоточной схемы (рис. 2) теплоноситель движется в противоположном направлении по отношению к раствору, при этом исходный раствор подается в последний вакуумный корпус батареи, а из него насосами последовательно перекачивается через все корпуса в первый, куда поступает греющий пар с ТЭЦ. Раствор первого корпуса поступает в один или несколько самоиспарителей. Полученный от самоиспарения пар отводится в соответствующий по давлению корпус МВУ, а раствор направляется по назначению.

В корпуса раствор поступает недогретым, поэтому кризис теплообмена первого рода, который связан с интенсивным накипеобразованием, не возникает [1]. Для этого требуется повышенный расход пара или сниженная производительность установки. С увеличением концентрации уменьшается способность раствора к вспениванию, которое является одной из важных причин при образовании кризиса в пенных растворах [1]. Кроме того, раствор не будет очень вязким ни в одном из корпусов, так как по мере повышения концентрации возрастает и температура раствора. Но возникают дополнительные эксплуатационные сложности с необходимостью установки большого

количества насосов и теплообменников для повышения температуры. В корпусе, где раствор с максимальной концентрацией и самой высокой температурой, необходимо следить за расходом раствора, так как его уменьшение ниже определенного предела может быть одной из причин возникновения кризиса теплообмена, сопровождающегося усиленным накипеобразованием, что особенно резко проявляется в области высоких концентраций [1].

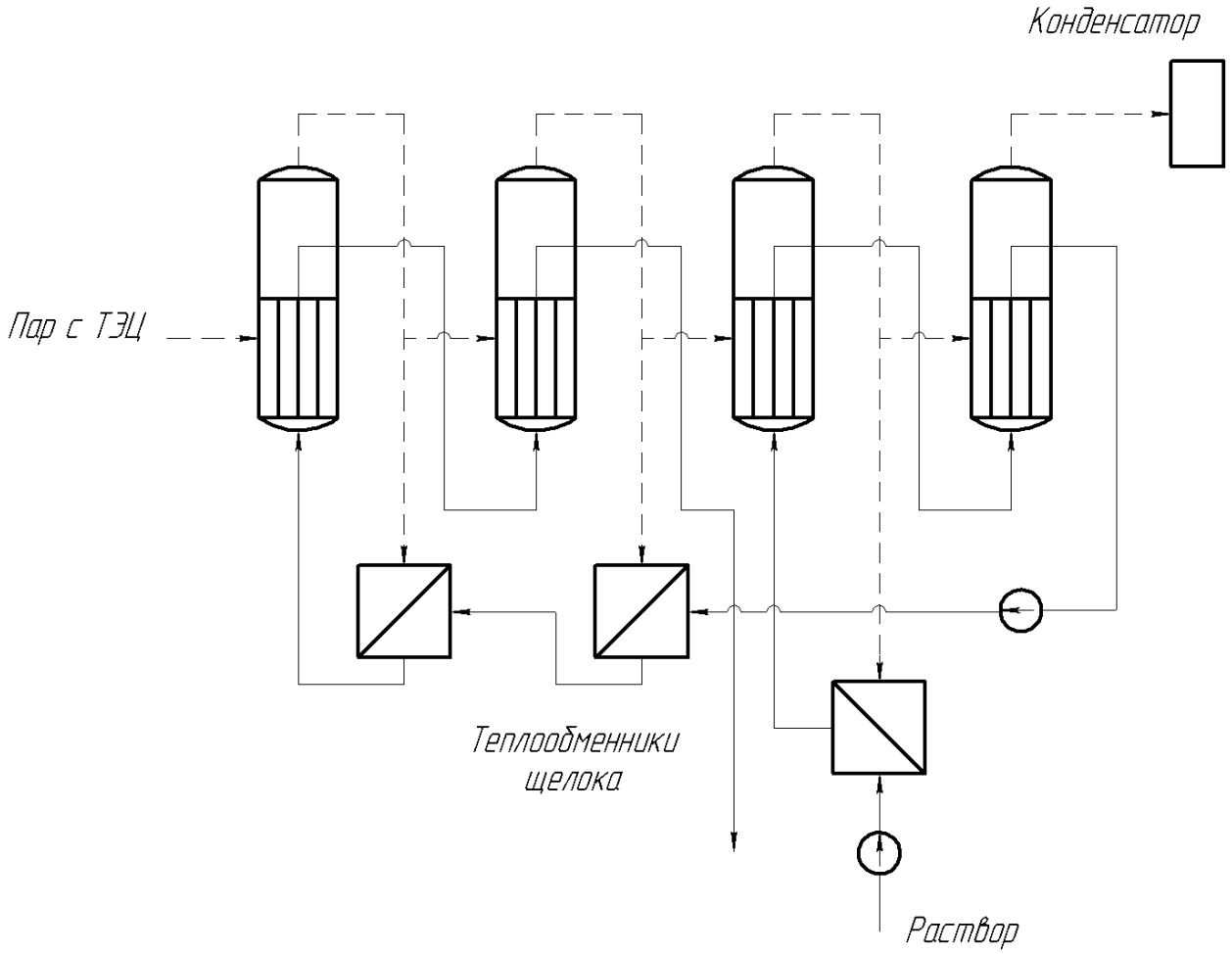


Рисунок 3. Выпарная станция со смешанным питанием

Выпарные установки со смешанным питанием корпусов (рис. 3) используют сочетание прямоточного и противоточного движения. Согласно этой схеме, раствор поступает в корпус, где в качестве теплоносителя используется вторичный пар предыдущего корпуса. Далее раствор движется параллельно движению пара. Из последующего корпуса он принудительно перекачивается в корпус, стоящий перед тем, куда поступает свежий раствор. Оттуда частично сконцентрированный раствор перекачивается последовательно через ряд выпарных аппаратов в первый корпус в противоположном обратно движению пара направлении [6].

Схема со смешанным питанием сочетает в себе элементы предыдущих схем для уменьшения их недостатков. Сохраняются преимущества противоточной схемы, и при этом уменьшается количество необходимых насосов, что способствует уменьшению расхода электроэнергии, так как часть

раствора переносится самотеком. Но такая схема требует более тщательного проектирования, а также возникают сложности при эксплуатации, относящиеся к соответствующим схемам питания корпусов раствором.

Интенсивность теплообмена работающей выпарной установки определяется значениями основных его режимных параметров: тепловой нагрузки, скорости циркуляции, концентрации раствора и его недогрева до состояния режима кипения. Кроме того, на интенсивность теплообмена при кипении влияют такие режимные параметры и факторы, как расход теплоносителя, давление [1, 7].

Изучив достоинства и недостатки выпарных станций, различающихся по относительному движению теплоносителя и выпариваемого раствора, предлагается выбрать противоточную схему ВУ как наиболее теплоэффективную для целлюлозно-бумажной промышленности [8, 9]. Прямоточная схема, несмотря на свои достоинства, такие как интенсификация теплообмена при кипении, и простую, по сравнению с противотоком, конструкцию, сопровождается интенсивным накипеобразованием. В корпусе вскипает раствор и вспенивается, а пена, в свою очередь, способствует возникновению кризиса кипения первого рода. Кроме того, это явление возникает резко из-за температуры раствора выше его температуры кипения. В противоточной схеме ВУ кризис кипения может возникнуть в случае корпуса с максимальными температурой и концентрацией раствора, но данное явление можно избежать при повышении расхода раствора. В других случаях, противоток предотвращает кризис кипения увеличением концентрации раствора и температурой раствора ниже его температуры кипения. У противотока также есть преимущество перед прямотоком, которое заключается в значении вязкости, так как в противоточной схеме ВУ повышение вязкости компенсируется повышением температуры раствора.

Список литературы:

1. Суслов, В. А. Тепловые процессы в выпарных установках ЦБП: монография / В. А. Суслов, А. А. Поздняков. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. – 400 с. – Текст: непосредственный.

2. Выпарная станция для пищевой промышленности PR 214АУ1 – 2009-2023 – URL: https://ru.sellbuy.zone/physical_product/599924-vyparnaya-stanciya-dlya-pischevoy-promyshlennosti-pr-214au1.html/ (дата обращения: 22.10.2023). – Текст: электронный.

3. Применение выпарных аппаратов с принудительной циркуляцией в гидрометаллургических производствах – 1996-2023 ЗАО «НПП «Машпром» – URL: https://www.mashprom.ru/press/publication/_aview_b16/ (дата обращения: 22.10.2023). – Текст: электронный.

4. Расчет трехкорпусной выпарной установки: методические указания к курсовой работе / Башмаков Д. А. – Набережные Челны: НЧИ КФУ, 2018. – 58 с. – URL: https://kpfu.ru/chelny/sveden/files/002909.pdf (дата обращения: 08.11.2023). – Текст: электронный.

5. Суслов В. А. Повышение эффективности выпаривания отработанных варочных растворов целлюлозного производства: Автореф. дис. докт. техн. наук. – СПб., 2006. – URL: https://elib.spbstu.ru/dl/1035.pdf/download/1035.pdf (дата обращения: 11.11.2023). – Текст: электронный.
6. Казаков, В. Г. Выпаривание растворов целлюлозного производства / В. Г. Казаков, П. В. Луканин, Е. Н. Громова. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2022. – 191 с. – Текст: непосредственный.
7. Рекомендации по применению выпарных установок – Российское общество гальванотехников – www.galvanicrus.ru, 2007-2023. – URL: http://www.galvanicrus.ru/for_engineers/evaporate_4.php/ (дата обращения: 22.10.2023). – Текст: электронный.
8. Ковалев, Д. А. К вопросу применения диагностических моделей для систем автоматического управления объектами целлюлозно-бумажной промышленности / Д. А. Ковалев, Г. А. Кондрашкова, Л. А. Русинов. // Энергетика, экология и бизнес: материалы ежегодной III Международной научно-практической конференции обучающихся и преподавателей. В 3-х частях, Санкт-Петербург, 31 мая 2019 года / под общ. ред. Т. Ю. Коротковой. – Часть 1. – Санкт-Петербург: ВШТЭ СПбГУПТД, 2019. – С. 86–89. – EDN WODVNM. – Текст: непосредственный
9. Процесс выпаривания. Типы выпарных аппаратов – 2023 ИНТЕХ ГмбХ – URL: https://intech-gmbh.ru/tech_evaporation/#evaporators_application / (дата обращения: 22.10.2023). – Текст: электронный.

© Левашева П. Д., 2023

УДК 004.418

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНТРОЛЛЕРОВ «SIEMENSLOGO!» И «ОВЕН ПР205» С ЦЕЛЬЮ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

студент **Касаткин Алексей Николаевич,**
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент **Борисова Ольга Владимировна,**
Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматривается проблема импортозамещения контроллеров, используемых в малых технологических процессах, на продукцию отечественного производителя. Ввиду ухода ведущих импортных производителей с российского рынка кажется разумным исключить их оборудование из автоматизации технологических процессов. Ведущий производитель промышленных логических контроллеров – компания Siemens, официально покинувшая российский рынок. Встал вопрос поиска аналогичных контроллеров отечественного производства, при этом производитель не должен зависеть от поставок импортных компонентов. В качестве такого производителя был выбран ОВЕН с контроллером ПР205. В статье проводится сравнение ПР205 с Siemens LOGO!, показывающее взаимозаменяемость этих контроллеров. Рассматриваются достоинства и недостатки информативности дисплеев контроллеров.

Ключевые слова: программируемый логический контроллер, программируемое реле, импортозамещение продукции.

COMPARATIVE ANALYSIS OF «SIEMENS LOGO!» AND «OWEN PR205» CONTROLLERS FOR IMPORT SUBSTITUTION

Student **Kasatkin Aleksey Nikolayevich,**
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor
Borisova Olga Vladimirovna,
Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russian Federation

Abstract. This article addresses the issue of import substitution of controllers used in small-scale technological processes with products from domestic manufacturers. Due to the departure of leading international manufacturers from the Russian market, it seems reasonable to exclude their equipment from the automation of technological processes. Siemens, the leading manufacturer of industrial logic controllers, officially withdrew from the Russian market. The question arose of finding equivalent controllers of domestic production that would not depend on the supply of imported components. OVEN with their PR205 controller was chosen as such a manufacturer. The article provides a comparison between PR205 and Siemens LOGO!

demonstrating the interchangeability of these controllers. The advantages and disadvantages of the display informativeness of the controllers are considered.

Keywords: programmable logic controller, programmable relay, import substitution of products.

Многие зарубежные производители закрыли свой бизнес в России по политическим причинам, это же решение приняла компания Siemens [1], являющаяся лидером [2] отрасли производства программируемых логических контроллеров (ПЛК). В связи с уходом этого крупного производителя многим приходится искать альтернативные решения. Преобладающая часть автоматизированных технологических процессов на производствах оборудована ПЛК, выпущенных данной компанией. Встает вполне корректный вопрос: чем же заменить ПЛК зарубежного производства? Таким образом, было принято решение провести сравнительный анализ контроллеров SiemensLOGO! и ОВЕН ПР205.

Самым конструктивно близким к контроллерам LOGO! [3] была выбрана линейка программируемых реле ПР205продукции ОВЕН [4].

Таблица 1 – Сравнение программируемых реле Siemens LOGO! 8 и ОВЕН ПР205

Характеристика	ОВЕН ПР205	Siemens LOGO! 8
Питание	= 20…36 В	= 20,4…28,8 В
Быстрые дискретные входы	2 (могут использоваться, как обычные дискретные входы)	0
Дискретные входы	6	8
Дискретные выходы	8	4
Аналоговые входы	4 (Pt1000, NTC, PTC, 4…20 мА, 0…10 В, 0…300 кОм и др.)	4 (заменяют дискретные дискретные входы) (только 0…10 В)
Аналоговые выходы	3 (Универсальные: 4...20 мА или 0...10 В)	0
Дисплей	Есть (Графический (IPS LCD), 320 × 240 пикселей)	Есть (опционально) (текстовый(FSTN), 4 строки по 12 символов)
Клавиши управления	Навигационные клавиши, можно использовать для управления программой	Навигационные клавиши, можно использовать для управления программой
Интерфейсы	Ethernet, RS-485 0-2, USB	Ethernet
Максимальный объём программы	320 кбайт (многократно превышает 400 блоков LOGO! 8)	400 блоков, вне зависимости от функции
Монтаж	На DIN-рейку	На DIN-рейку

В таблице 1 проводится сравнение основных характеристик обоих программируемых реле, из которого видно, что отечественный контроллер ПР205 даже превосходит LOGO! 8 по ряду параметров. Как видно из таблицы 1, с технической точки зрения ПР205 способен не только заменить LOGO!, но и делает это с огромным преимуществом.

Важно учесть фактор восприятия предоставляемой информации оператору при работе с данными контроллерами. Для наглядности сравним возможности дисплеев.



Рисунок 1. Дисплей контроллера ОВЕН ПР205

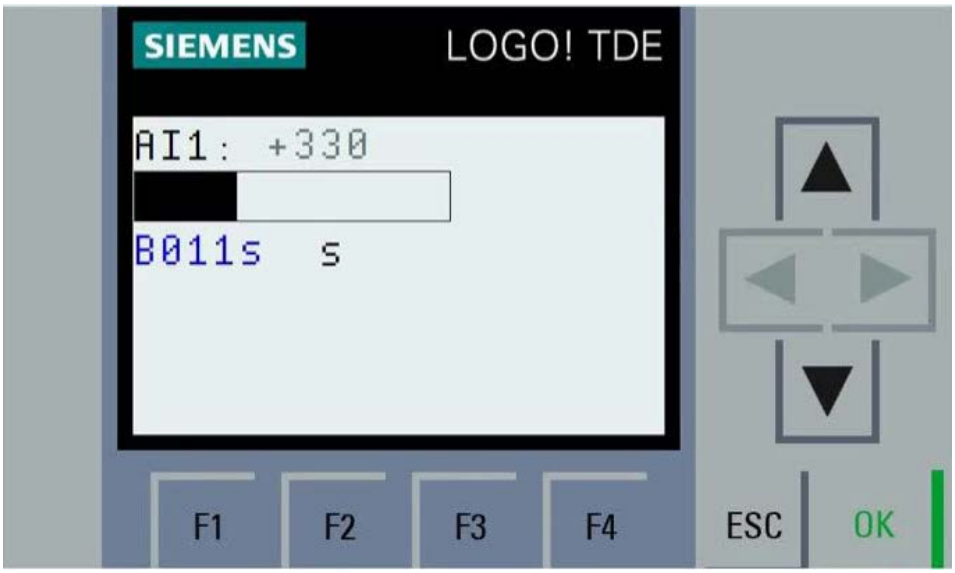


Рисунок 2. Дисплей контроллера SiemensLOGO! 8

Выше представлен пример проекта на контроллере ОВЕН ПР205 (рисунок 1), а также представлен пример проекта на контроллере SiemensLOGO! 8 (рисунок 2). Сравнив возможности дисплеев, можно уверенно утверждать о наглядном преимуществе контроллера ПР205 перед LOGO! 8.

Контроллер ПР205 имеет графический цветной экран, что позволяет создавать удобные и наглядные интерфейсы пользователей, это значительно упрощает настройку и восприятие информации. В свою очередь, контроллер LOGO! 8 имеет текстовый экран, позволяющий выводить лишь текст и диаграммы на довольно малом поле в 4 строки и 12 символов.

Можно сделать вывод, что оба контроллера обладают широкими сетевыми возможностями, включающими в себя как обмен информацией с другими

контроллерами или модулями, так и управление через облачные технологии. Для процесса проектирования не менее важно, что обе среды разработки оснащены симуляторами, позволяющими отлаживать программу, не имея под рукой реального оборудования.

Например, такие контроллеры могут использоваться в небольших установках, таких как котельные [5], что позволяет сэкономить на более дорогих полноценных ПЛК.

В целом, ПР205 идеально подходит для замены Logo! 8, он превосходит его по количеству входных/выходных сигналов, вычислительным и сетевым возможностям, а также по максимальному объёму программы и не уступает ни в каких ключевых характеристиках.

Список литературы:

1. Siemens to wind down Russian business // Press.Siemens.Com. 2023. URL: press.siemens.com/global/en/pressrelease/siemens-wind-down-russian-business (датаобращения: 12.11.2023).
2. The Global Business CunsultingFirm // Programmable Logic Controller Market: Global Industry Analysis and Forecast (2023-2029). URL: www.maximizemarketresearch.com/market-report/programmable-logic-controller-market/188518 (датаобращения: 12.11.2023).
3. Siemens LOGO! – System Manual. URL: support.industry.siemens.com/cs/attachments/109741041/logo_system_manual_ru-RU_ru-RU.pdf (датаобращения: 12.11.2023).
4. ПР205 Устройство управляющие многофункциональное: Руководствопо эксплуатации. URL: https://owen.ru/downloads/re_pr205.pdf (дата обращения: 12.11.2023).
5. Липатов, М. С. Внедрение робототехнического контроля на котельных с целью их более эффективного функционирования / М. С. Липатов, Т. А. Ильяхунов // Дневник науки. – 2022 – № 3 (63). – EDN VOSIYS. – 22 с. – Текст: непосредственный.

© Касаткин А. Н., 2023

УДК 681.5

БУДУЩЕЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ: ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

студент **Халилов Фанил Марсович,**
канд. техн. наук, доцент **Борисова Ольга Владимировна,**
Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. Статья представляет собой обзор и анализ последних исследований и разработок в области автоматизации технологических процессов. Авторы статьи исследуют текущее состояние автоматизации и предлагают прогнозы относительно ее будущего развития. Автоматизация технологических процессов играет ключевую роль в современной промышленности, позволяя компаниям повышать эффективность, снижать издержки и улучшать качество производства. Статья выделяет несколько основных тенденций в развитии автоматизации, включая внедрение роботизированных систем, использование искусственного интеллекта и развитие интернета вещей.

Ключевые слова: автоматизация, тенденции в развитии автоматизации, развитие, автоматизированные системы.

FUTURE OF PROCESS AUTOMATION: TRENDS AND PROSPECTS

Student **Khalilov Fanil Marsovich,**
PhD in Technology, Associate Professor **Borisova Olga Vladimirovna,**
Kazan State Energy University,
Kazan, Russian Federation

Abstract. The article is a review and analysis of the latest research and developments in the field of process automation. The authors of the article examine the current state of automation and offer predictions regarding its future development. Process automation plays a key role in modern industry, allowing companies to increase efficiency, reduce costs and improve production quality. The article highlights several main trends in the development of automation, including the introduction of robotic systems, the use of artificial intelligence and the development of the Internet of things.

Keywords: automation, trends in automation development, development, automated systems

Автоматизация технологических процессов играет все более важную роль в современном мире. Развитие технологий и постоянное стремление к

улучшению эффективности и производительности приводят к появлению новых тенденций и перспектив в области автоматизации. В данной статье мы рассмотрим несколько ключевых тенденций и перспектив, которые определяют будущее автоматизации технологических процессов.

1. Рост использования искусственного интеллекта (ИИ)

Искусственный интеллект играет все более важную роль в автоматизации технологических процессов. С помощью ИИ можно разрабатывать и применять алгоритмы, которые позволяют системам автоматически обучаться, анализировать данные и принимать решения на основе больших объемов информации. Это позволяет улучшить точность и эффективность автоматизированных систем, а также расширить их возможности.

2. Интеграция интернета вещей (IoT):

Интернет вещей представляет собой сеть физических устройств, которые могут взаимодействовать и обмениваться данными между собой. В автоматизации технологических процессов IoT позволяет связывать различные компоненты системы и собирать информацию в режиме реального времени. Это обеспечивает более точный мониторинг и управление процессами, а также позволяет операторам получать данные и контролировать системы удаленно [1].

3. Развитие робототехники

Робототехника играет все более важную роль в автоматизации технологических процессов. Роботы могут выполнять сложные и рутинные задачи, освобождая операторов от монотонной работы и повышая эффективность производства. Развитие робототехники приводит к созданию более гибких, интеллектуальных и сотрудничающих роботов, которые могут работать рядом с людьми и выполнять сложные операции [2].

4. Улучшение безопасности и надежности

Одним из ключевых аспектов автоматизации технологических процессов является обеспечение безопасности и надежности систем. Развитие новых технологий и алгоритмов позволяет создавать системы с повышенной безопасностью, способные обнаруживать и предотвращать возможные аварийные ситуации. Также внедрение автоматизированных систем позволяет уменьшить риск ошибок, связанных с человеческим фактором.

5. Переход к гибкому производству

Гибкое производство становится все более актуальным требованием в современной промышленности. Автоматизация технологических процессов позволяет предприятиям перейти к гибкому производству. Гибкое производство основано на возможности быстро адаптироваться к изменениям в требованиях рынка и производить различные продукты с минимальными затратами. Автоматизация позволяет легко перенастраивать оборудование и программное обеспечение для выпуска новых продуктов или изменения параметров производства. Это способствует сокращению времени настройки, увеличению гибкости и повышению конкурентоспособности предприятий.

6. Развитие облачных технологий

Облачные технологии становятся все более распространенными в автоматизации технологических процессов. Они позволяют предприятиям хранить и обрабатывать большие объемы данных, а также предоставлять доступ к ним удаленным пользователям. Облачные технологии упрощают интеграцию систем, обеспечивают более гибкую масштабируемость и повышают доступность данных и функциональности системы [3].

Будущее автоматизации технологических процессов обещает быть захватывающим и инновационным. Рост использования искусственного интеллекта, интеграция интернета вещей, развитие робототехники, улучшение безопасности и надежности, переход к гибкому производству и развитие облачных технологий – все эти тенденции и перспективы направлены на повышение эффективности, гибкости и конкурентоспособности предприятий. Автоматизация технологических процессов совершенствуется с каждым годом, открывая новые возможности для промышленности, производства и других отраслей. Ожидается, что автоматизация будет продолжать проникать во все большеее число сфер деятельности, улучшая качество и надежность процессов, повышая производительность и сокращая издержки.

Одним из ключевых аспектов будущего автоматизации технологических процессов является взаимодействие между человеком и машиной. Развитие коллаборативных роботов и технологий, позволяющих людям и роботам работать бок о бок, открывает новые перспективы для повышения эффективности и гибкости производства. Человек становится не только оператором, но и менеджером процессов, контролирующим и управляющим работой автоматизированных систем.

Еще одной перспективой будущего автоматизации является использование аналитики данных для принятия более точных решений и оптимизации процессов. Сбор и анализ больших объемов данных позволяет выявлять тенденции, определять причины возникновения проблем и предсказывать возможные сбои. Это помогает предотвращать аварии, улучшать качество продукции и повышать эффективность производства [4].

Безопасность и защита данных также будут играть важную роль в будущем автоматизации технологических процессов. С ростом количества подключенных устройств и обмена информацией, защита от кибератак и утечек данных становится все более актуальной задачей. Разработка надежных систем защиты и протоколов безопасности будет иметь приоритетное значение для успешной реализации автоматизации [5].

В целом, будущее автоматизации технологических процессов обещает быть захватывающим и инновационным. Продолжительный рост использования искусственного интеллекта, развитие интернета вещей, робототехники, гибкого производства и облачных технологий создают новые возможности для повышения эффективности, гибкости и надежности процессов. Автоматизация

будет продолжать преобразовывать промышленность и другие отрасли, улучшая нашу жизнь и делая нашу работу более продуктивной и безопасной.

Список литературы:

1. Ким Е. О., Шин А. А. Интернет вещей: перспективы применения // Вестник Челябинского государственного университета. – 2019. – №3. – С. 230-234.
2. Сырецкий Г. А. Робототехника и автоматизация производства: современное состояние // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2017
3. Смирнов Н. А. Облачные технологии в автоматизации деятельности организации // Евразийский Союз Ученых. – 2016. – №4. – С. 116.
4. Паскова А. А. Технологии BIG DATA в автоматизации технологических и бизнес-процессов // Научное обозрение. Технические науки. – 2018. – №4. – С. 23-27.
5. Шевцова Г. А. Развитие системы автоматизации производства и информационная защита с точки зрения технологии обработки информации // История и архивы. – 2012

© Халилов Ф. М., Борисова О. В., 2023

УДК 625.1

К ВОПРОСУ ОБ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

студент **Резепкин Павел Петрович,**
науч. руководитель: канд. пед. наук, доцент **Генварева Юлия Анатольевна,**
Самарский государственный университет путей сообщения,
г. Оренбург, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассматриваются основные технические решения, реализующие энергосберегающие технологии на железнодорожном транспорте. Анализируются потенциальные возможности нетрадиционных и возобновляемых источников энергии для нужд железнодорожной отрасли. В частности, рассмотрен вопрос возможного использования природного газа для локомотивной тяги. Проанализированы модели газотурбовозов, проходивших испытания на железных дорогах нашей страны. Оценена их экономическая и экологическая эффективность, перспективы внедрения.

Ключевые слова: энергосбережение, транспорт, железнодорожный транспорт.

ON THE ISSUE OF ENERGY SAVING IN RAILWAY TRANSPORT

Student **Rezepkin Pavel Petrovich,**
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor
Genvareva Yulia Anatolyevna,
University of Railway Transport,
Orenburg, Russian Federation

Abstract. The paper considers the main technical solutions implementing energy-saving technologies in railway transport. The potential possibilities of non-traditional and renewable energy sources for the needs of the railway industry are analyzed. In particular, the issue of the possible use of natural gas for locomotive traction was considered. The models of gas turbine locomotives that have been tested on the railways of our country are analyzed. Their economic and environmental efficiency, prospects for implementation are evaluated.

Keywords: energy saving, transport, railway transport.

Жизнь современного человека невозможно представить без использования электрической энергии. Вопрос рационального использования энергии занимает ключевые позиции в мировом энергопотреблении, так как напрямую взаимосвязан с охраной окружающей среды и предотвращением экологической катастрофы. Важную роль в предотвращении экологической катастрофы играет энергосбережение. В каждой производственной отрасли принимаются решения и программы перехода и использования энергосберегающих технологий. Целью

нашей научно-исследовательской работы является анализ применяемых энергосберегающих технологий на железнодорожном транспорте. В рамках исследования нами поставлены следующие задачи: 1) изучить вопрос энергопотребления железнодорожным транспортом в Оренбургской области; 2) разработать предложения по внедрению энергосберегающих технологий.

Под энергосбережением понимают реализацию системы мер, представляющих собой совокупность технологических, организационных, ресурсосберегающих и иных мер, направленных на сохранение и увеличение коэффициента полезного действия.

Компания ОАО «РЖД» является одним из крупнейших потребителей электроэнергии. Поэтому вопрос энергосбережения занимает одну из ключевых позиций в стратегии развития компании.

На сегодняшний день на железнодорожном транспорте реализуются различные направления энергосбережения. Выделим приоритетные направления энергосбережения на железнодорожном транспорте:

– электрификация железных дорог;

– введение в эксплуатацию локомотивов, использующих альтернативные источники энергии, в том числе на газомоторном топливе;

– совершенствование логистики перевозки грузов, что оптимизирует планирование перевозок.

Предприятиями железнодорожного транспорта также внедряются и другие энергосберегающие технологии. Это светодиодное освещение железнодорожных станций, вокзалов, депо, производственных помещений. Светодиодное освещение обладает рядом преимуществ: это надежность, увеличение срока службы, увеличение угла обзора. Несмотря на ряд преимуществ, у светодиодной техники есть ряд недостатков – это «фантомы» и «размывы», что говорит о несовершенстве светодиодной техники при воздействии прямого солнечного света [3, 4].

Исследования показывают, что светодиодная техника позволяет экономить порядка 40 % электроэнергии по сравнению с ранее применяемыми люминисцентными лампами. Если использовать интеллектуальные системы управления, то экономия может составить до 70 % от ранее потребляемых ресурсов.

ОАО «РЖД» проводятся ряд исследований, направленных на поиск альтернативных источников энергии для локомотивной тяги [4]. Увеличение объема грузоперевозок и как следствие необходимость увеличения количества грузовых составов и их скоростных характеристик привело к необходимости конструирования и ввода в эксплуатацию локомотивов, работающих на сжиженном природном газе. Впервые газотурбовозы были сконструированы в 1941 году швейцарской фирмой Brown – Boveri. В России над созданием газотурбовоза конструкторы начали трудиться с 1954 года. В это же время были выпущены несколько опытных локомотивов. По своим характеристикам газотурбовозы не могли конкурировать с электровозами и тепловозами и поэтому активные конструкторские работы в данном направлении прекратились. Сегодня же мы вновь видим возросший интерес к созданию локомотивов,

работающих на сжиженном газе. Это связано с тем, что изначально стоимость газотурбинных двигателей была значительно выше по сравнению с дизельными двигателями, а характеристики мощности, КПД были очень низкими. С развитием техники себестоимость газотурбинных двигателей снизилась, благодаря широкому использованию и выпуску для реактивных самолетов, газоперекачивающих агрегатов, газотурбинных электростанций. Конструкция газотурбинных двигателей усовершенствована благодаря использованию термостойких материалов, что позволило увеличить температуру сгорания газов и как следствие повысить КПД до 30 %. Это позволило вернуться конструкторам к созданию локомотивов, работающих на сжиженном природном газе.

Компания «Российские железные дороги» поставила задачу: к 2030 году ввести в эксплуатацию тепловозы, работающие на природном газе. В официальных документах называется цифра замещения 30 % дизельного топлива на природный газ.

Первый газотурбовоз выпущен в России в 2007 году в Воронежском тепловозоремонтном заводе. Его модель ГТ1h-001 (h - hybrid, гибрид) (рис. 1).



Рисунок 1. Газотурбовоз ГТ1-001

Следующая модель газотурбовоза была построена в 2013 году на Людиновском тепловозостроительном заводе. Обозначение он получил ГТ1h-002. Принципиальное отличие было в том, что он уже был сконструирован на базе тепловоза ТЭ8. Что касается экологичности газотурбовозов, то испытания показали, что выбросы вредных веществ в пять раз ниже, чем это указано в нормах [1, 2].

Экономическая эффективность газотурбовоза неоспорима, так как один газотурбовоз заменяет четыре секции тепловозов 2ТЭ116. На сегодняшний день существующие модели проходят дальнейшие усовершенствования и испытания, направленные на доработку моделей и возможный ввод в массовое производство и эксплуатацию [5]. Это позволит активно развивать новые технические решения и технологии в этой области.

Список литературы:

1. Косарев А. Б., Ребров И. А., Науменко С. Н., Барч А. В. Научные приоритеты использования альтернативных источников энергии на железнодорожном транспорте //Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2020. – Т. 79. – № 5. – С. 293-300.
2. Коссов В. С. Газотурбовозы на сжиженном природном газе // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. – 2015. – № 4 (32). – С. 62-66.
3. Нор Е. В., Генварева Ю. А. Применение энергосберегающих технологий на железнодорожном транспорте // Техника и технология наземного транспорта. Материалы международной студенческой научно-практической конференции. В 2-х частях. Науч. редактор Н. В. Пшениснов, сост. А. Н. Сидоров. – Нижний Новгород, 2020. – С. 377-378.
4. Ниязова А. Т., Генварева Ю. А. Проблемы тяговой сети постоянного тока // Молодежная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития. материалы Международной научно-исследовательской конференции молодых ученых, аспирантов, студентов и старшеклассников: в 3 частях. – 2017. – С. 278-280.
5. Ткаченко А. Ю., Филинов Е. П. Повышение эффективности газотурбинной установки для нового поколения газотурбовоза // Вестник Московского авиационного института. – 2019. – Т. 26. – № 1. – С. 143-151.

© Резепкин П. П., 2023

УДК 620.92

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИЛЫХ ОБЪЕКТОВ

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

Аннотация. Сокращение природных запасов все более остро ставит проблему энергосбережения и повышение энергоэффективности зданий. Эффективность использования энергии позволяет оценить уровень развития общества. Особенно актуальна данная проблема в жилищно-коммунальной отрасли. Именно комплексный подход с учетом нормативно-правовой базы, существующих разработок в этой сфере позволит в перспективе существенно снизить потери электроэнергии.

Ключевые слова: энергопотребление, энергетическая эффективность зданий, окружающая среда, утепление, несущие конструкции, проектирование.

WAYS TO IMPROVE THE ENERGY EFFICIENCY OF RESIDENTIAL FACILITIES

Student **Malikov Pavel Andreevich,**
Student **Shantseva Margarita Sergeevna,**
Academic Advisor: Senior Lecturer **Korotkov Anna Anatolyevna**,
National Research University,
Moscow Energy Institute,
Smolensk, Russian Federation

Abstract. The reduction of natural resources increasingly poses the problem of energy saving and improving the energy efficiency of buildings. Energy efficiency, allows you to assess the level of development of society. This problem is especially relevant in the housing and communal services industry. It is an integrated approach, taking into account the regulatory framework and existing developments in this area, that will significantly reduce electricity losses in the future.

Keywords: energy consumption, energy efficiency of buildings, environment, insulation, load-bearing structures, design.

Вопрос энергоэффективности остается одним из главных направлений развития экономики России. Для достижения этой цели необходимо реализовать программы энергосбережения и повысить энергетическую эффективность

зданий. Это обусловлено ростом затрат на энергоресурсы и постоянным увеличением тарифов.

Однако высокий износ объектов гражданского сектора, низкая осведомленность населения об энергосбережении и отсутствие стимулов для руководителей организаций к повышению энергетической эффективности создают препятствия для внедрения программ энергосбережения.

Энергоэффективность здания — это показатель, который отражает соотношение между потреблением энергии зданием и его площадью, а также климатическими условиями, в которых оно находится.

Если здание имеет высокую энергоэффективность, то это означает, что оно использует меньше энергии для поддержания комфортных условий внутри помещения. Это может помочь снизить затраты на отопление, охлаждение и другие источники энергии, а также уменьшить выбросы вредных веществ в атмосферу. В целом, повышение энергоэффективности зданий является важной задачей для сохранения окружающей среды и экономии ресурсов [1, с. 39].

Эталонные показатели энергопотребления в зданиях устанавливаются для разных типов зданий и представляют собой средние значения, полученные на основе анализа данных по всем зданиям в стране. Они используются для сравнения фактической производительности здания с максимальной схемой производительности, которая называется надлежащей практикой. Например, если годовое потребление энергии на квадратный метр площади пола в здании ниже эталонного значения, то это говорит о высокой энергоэффективности здания. Если же потребление энергии выше эталонного значения, то необходимо принимать меры для повышения энергоэффективности.

Эталонные показатели применяются к различным системам здания, включая отопление, охлаждение, вентиляцию, освещение, насосы и электрическое оборудование. Эти показатели могут отличаться в зависимости от страны и типа здания, и они используются для определения уровня энергоэффективности здания и принятия мер по его улучшению.

Мероприятия по повышению энергоэффективности объектов обычно проводятся в рамках капитальных ремонтов. В России эти работы проводятся в больших объёмах из-за наличия большого количества старых зданий. Кроме того, такие работы выполняются и в новых зданиях для обеспечения поэтапной модернизации.

Для повышения энергоэффективности зданий можно использовать различные методы, такие как улучшение теплоизоляции, установка энергоэффективных окон и дверей, использование энергосберегающих светильников и оборудования. Также важно проводить обучение и информирование населения о необходимости экономии энергии и способах ее сбережения. В целом, повышение энергоэффективности зданий является важным шагом в направлении устойчивого развития и сохранения окружающей среды.

Из-за ухудшения экологической ситуации и значительной волатильности цен на топливно-энергетические ресурсы для многих стран актуален вопрос повышения энергоффективности жилищно-коммунальной отрасли. Для России

этот вопрос также является актуальным, но его актуальность обусловлена следующими факторами: с течением времени появляется необходимость разрабатывать труднодоступные месторождения ископаемого топлива, также серьезная зависимость экономики от мировых цен на углеводородное сырье, не стоит забывать и об экологии. При этом нужно отметить, что реализацию программ повышения энергоэффективности организаций электроэнергетики как основообразующей отрасли ЖКХ на настоящий момент в стране нельзя назвать успешной.

На рассматриваемом объекте расположены потребители I и II категории надежности электроснабжения. Поэтому схема энергоснабжения должна включать два независимых источника питания – два силовых трансформатора на распределительной подстанции. Выбор трансформаторов должен обеспечивать энергоснабжение всех потребителей в нормальных условиях. Мощность трансформаторов должна также обеспечивать резервную схему питания при выходе одного из трансформаторов из строя. Необходимо также учитывать оптимальную загрузку трансформатора, чтобы не сократить срок его службы.

Для повышения эффективности использования электроэнергии на объекте можно внедрить систему автоматического управления освещением. Эта система позволяет включать и выключать освещение в зависимости от уровня освещенности и присутствия людей в помещении. Также можно использовать датчики движения для автоматического включения освещения в коридорах, лестничных клетках и других местах с низким уровнем естественного освещения [1, с. 58].

Надежность электроснабжения обеспечивается использованием двух независимых силовых трансформаторов на подстанции.

Полная расчётная мощность объекта исследования составляет Sp=319кВА cosφ=0.92.

Объект исследования располагается в квартале с 3 подобными жилыми объектами, их энергоснабжение осуществляется от одной распределительной подстанции. Таким образом, полная расчетная мощность равна Sркв.=1276 кВА.

Мощность трансформаторов выбирается исходя из преобладания потребителей II категории надежности. На трансформаторной подстанции устанавливаются два силовых трансформатора с номинальной мощностью, равной 0,7 от расчетного максимума нагрузки. Такое соотношение номинальной и расчетной мощности обеспечивает надежность электроснабжения объекта благодаря запасу на каждом трансформаторе. При выходе одного трансформатора из строя, второй может работать с перегрузкой до 1,4 раза от номинальной мощности [2, с.42].

Повышение энергоэффективности инженерного оборудования в жилом строительстве требует значительных инвестиций в новые технологии. Развитие технологий приводит к быстрому устареванию существующего оборудования, и внедрение новых решений требует инвестиций с различными сроками окупаемости. Однако с каждым годом все большую роль играет фактор экологичности. Снижение энергопотребления положительно влияет на окружающую среду, и поэтому две характеристики – снижение потребления

электроэнергии и повышение энергоэффективности – оказывают равное влияние на экологию. Фактор окружающей среды становится важнее, чем фактор срока окупаемости, и влияет на инновационное инженерное перевооружение объектов. Федеральный закон № 261-ФЗ содержит много информации о том, как повышать энергоэффективность, но мало информации о финансовой стороне вопроса. Для создания работающего механизма, который будет снижать негативное влияние энергопотребления на окружающую среду и повышать уровень энергосбережения, необходимы инвестиции и надежные потоки финансирования программ.

Наиболее распространенные источники финансирования технического перевооружения инженерных систем для повышения энергоэффективности:

– средства из муниципального или федерального бюджета;

– энергосервисные контракты с организациями для реконструкции инженерных систем;

– средства собственников помещений или ТСЖ;

– собственные средства управляющей организации (собственные или заемные);

– банковские средства (займы собственников или управляющей компании).

В российской экономике наблюдается ситуация, при которой потенциал мероприятий по энергосбережению в сфере ЖКХ занимает позиции в тройке лидеров, таким образом, практически любое мероприятие, направленное на повышение энергоэффективности, оправдано высоким потенциалом его проведения.

В современном мире существуют несколько основных направлений для повышения энергоэффективности объектов. Рассмотрим наиболее применимые и эффективные методы для жилых объектов.

Технология восстановления межпанельных швов и утепления стен. Утепление может быть внутренним или внешним.

Для повышения энергоэффективности инженерных систем можно использовать следующие методы:

– Установка автоматизированных систем управления освещением, которые позволяют включать и выключать свет в зависимости от присутствия людей и уровня освещенности.

– Использование датчиков движения для автоматического включения освещения в коридорах, лестничных клетках и других помещениях с низким уровнем естественного света.

– Установка энергоэффективных светильников, которые потребляют меньше электроэнергии и имеют более длительный срок службы.

– Модернизация системы отопления и установка терморегуляторов на радиаторах для более эффективного использования тепла.

– Улучшение теплоизоляции зданий, включая стены, крыши и окна.

– Внедрение системы учета и контроля потребления энергоресурсов, которая позволяет оптимизировать их использование.

Расположение здания на участке, его форма и внутренняя планировка могут существенно повлиять на потребность в энергии для его отопления и вентиляции. Учет таких факторов, как естественное ограждение от преобладающих ветров, использование солнечной энергии и правильная форма здания без изломов и ниш, может снизить расход энергии на десятки процентов.

При выборе формы здания следует стремиться к минимальной площади наружных ограждений, что снизит теплопотери. Большие окна, обращенные на юг, должны служить основой для планировки внутренних помещений, где зал с большими окнами будет расположен с южной стороны, а подсобные помещения – с северной. Это позволит максимально использовать солнечное тепло и естественное освещение [3, с. 26].

Установка солнечного коллектора рекомендуется на крыше здания с ориентацией ската на юг. Это обеспечит максимальное поглощение солнечной радиации и преобразование ее в тепловую энергию.

Стены здания должны защищать его от потерь тепла, но при этом пропускать некоторое количество тепла внутрь. Поэтому они должны обладать хорошими теплоизоляционными свойствами и минимальным уровнем теплообмена. Существуют два типа конструкции стен: однослойные и многослойные.

Однослойная стена состоит из одного строительного материала, который выполняет как конструкционные, так и теплоизоляционные функции. Ранее наиболее распространенным материалом для таких стен был керамический кирпич. Однако, учитывая современные требования к теплоизоляции, сейчас чаще используются блоки из ячеистого бетона или пористой керамики.

Многослойная стена обычно состоит из двух или трех слоев различных материалов. Внутренний слой, который подвергается наибольшей нагрузке, обычно выполняется из прочного материала, такого как бетон, керамический или силикатный кирпич. Средний слой — это теплоизоляционный материал, такой как пенопласт или минеральная вата. Внешний слой защищает стену от внешних воздействий и может быть выполнен из различных материалов, включая кирпич, дерево или штукатурку.

Наиболее эффективным считается наружное утепление, но иногда возможно использование только внутренней теплоизоляции. Однако использование внутренней теплоизоляции имеет мало преимуществ из-за своей малой распространенности.

Внутреннее утепление стен требует точного расчета и правильного монтажа, чтобы избежать намокания стены и утеплителя. Это может привести к появлению плесени и снижению долговечности теплоизоляционных конструкций. Также возможно снижение срока службы объекта из-за разрушения несущих стен от постоянной влажности.

Внутреннее утепление имеет и другие недостатки: уменьшение полезной площади, необходимость установки системы вентиляции для поддержания влажности, невозможность обеспечения непромерзающих стен и быстрое остывание здания из-за низкой температуры стен.

Но внутреннее утепление также имеет и преимущества: возможность улучшения теплоизоляции во время ремонта без использования альпинистского снаряжения, быстрый нагрев помещения и единственный способ утепления объекта, если его внешний вид является культурным наследием и запрещено изменять его внешний вид. Для повышения энергоэффективности зданий можно использовать различные технологии и методы. Например, можно установить автоматизированные системы управления освещением, использовать датчики движения, установить энергоэффективные светильники, модернизировать систему отопления, улучшить теплоизоляцию зданий и внедрить систему учета и контроля потребления энергии. Каждый из этих методов может помочь снизить потребление энергии и повысить энергоэффективность здания.

Наружное утепление стен имеет ряд преимуществ:

– сохранение тепла в помещении;
– стабильная температура внутри помещения;
– защита стен от внешних воздействий.

Работы по наружному утеплению можно проводить без необходимости покидать здание. Для повышения энергоэффективности зданий используются различные технологии и методы, такие как автоматизация систем освещения, использование датчиков движения, установка энергоэффективных светильников, модернизация систем отопления и улучшение теплоизоляции зданий. Каждый из этих методов помогает снизить потребление энергии и повысить эффективность использования энергоресурсов [4, с. 42].

Также для повышения энергоэффективности пользуются различными технологиями установки фасадов, которые мы рассмотрим ниже.

1. Технология мокрого фасада (включает в себя монтаж теплоизоляционных плит на стенах здания, затем к ним крепится армированная сетка, которая служит основой для внешней отделки фасада, обычно фасады окрашиваются).

2. Технология вентилируемого фасада (включает в себя установку металлического каркаса на стенах здания, который затем используется для крепления утеплителя. Зазор между стеной и утеплителем обеспечивает вентиляцию, что предотвращает образование влажности и разрушение стены. Утеплитель защищен от внешних воздействий декоративной отделкой, что увеличивает его долговечность).

В современных жилых зданиях часто используются остекленные пространства, такие как зимние оранжереи. Эти пространства помогают снизить потребление энергии, обеспечивают доступ к естественному свету и являются местом отдыха. Такие пространства требуют системы охлаждения летом и эффективной системы сохранения тепла зимой. Кроме того, они должны иметь хорошую вентиляцию и защиту от яркого солнечного света. В энергосберегающих зданиях остекленные пространства выполняют роль буфера, задерживающего тепло или холод. Несущие конструкции этих пространств должны быть прочными и выдерживать давление снега, ветра, а также возможность консервации и ремонта. Прозрачные элементы обычно изготавливаются из стекла или искусственных материалов, таких как полиэстер

и полимеры. Стекло должно быть жестким, безопасным для входа и устойчивым к атмосферным воздействиям.

В настоящее время для остекления окон используются два или три стекла, склеенные вместе и разделенные тонкой полостью, заполненной сухим воздухом или специальным газом. Это обеспечивает лучшую изоляцию, чем просто воздух.

Для повышения энергоэффективности зданий используется стекло с специальным покрытием, которое пропускает солнечный свет, но задерживает тепло. Это помогает сохранить тепло внутри здания.

Стандартное окно с двойным остеклением имеет показатель U около 1,0-1,1 Вт/(м²·K), в то время как окно с тройным остеклением и специальным покрытием имеет U около 0,5-0,6 Вт/(м²·K).

Важно учитывать, что для окна в целом важен не только показатель U стекол, но и рамы. Энергоэффективная рама может снизить общий показатель U окна до 0,7 Вт/(м²·K).

Балконная плита обычно является продолжением плиты перекрытия, создавая разрыв в изоляции внешней стены и приводя к потерям тепла. Это не соответствует требованиям для энергоэффективного здания. Оптимальное решение – балкон, который стоит на своей собственной конструкции (столбы или подкосы), связанный с основным зданием только через несколько точек арматуры.

Также можно использовать специальные элементы, состоящие из стальных наружных крепежей и соединяющие балконную плиту с перекрытием. Как балконная плита, так и плиты террас должны быть хорошо изолированы. Важно стремиться к тому, чтобы плиты террас не были связаны с плитами перекрытия, избегая, таким образом, тепловых потерь.

Важно также правильно организовать отвод воды с террас.

Строительство домов, не требующих внешних источников электроэнергии, становится все более популярным в мире. Это обусловлено как модой на экологию и энергосбережение, так и экономической выгодой. Предприниматели могут получить различные льготы и субсидии от правительств разных стран, а власти могут сэкономить миллиарды долларов на электроэнергии и улучшить энергетический баланс внутри страны и на мировом уровне. Кроме того, продвижение автономных домов улучшает имидж страны. Несмотря на это, лидером в этой области является Китай, который активно привлекает западных специалистов и технологии.

Уже сегодня существуют целые автономные города, которые не зависят от общей энергосистемы страны. Например, город-миллионник Масдар в ОАЭ, который был полностью построен с нуля и объявлен первым в мире «городом будущего». Он стал образцом для подражания и дал толчок к развитию подобных проектов по всему миру.

В России также есть несколько примеров автономных зданий и целых поселений. Например, поселок Барвиха 21 в Московской области, который использует геотермальные источники энергии для отопления и горячего водоснабжения.

Однако, несмотря на все достижения, еще многое предстоит сделать для массового внедрения автономных домов и зданий. Одним из главных препятствий является высокая стоимость оборудования и сложность его установки. Но есть надежда, что с развитием технологий и усилением экологической ответственности автономные дома станут неотъемлемой частью нашей жизни.

Для создания энергоэффективного здания необходимо не только обеспечить его хорошей изоляцией, но и создать герметичную оболочку. Это поможет ограничить потери тепла и контролировать вентиляцию. Воздух должен поступать в помещение через специальные устройства, а неконтролируемый приток воздуха через щели необходимо свести к минимуму.

Особое внимание следует уделить соединениям в наружных стенах, между окнами, дверями, перекрытиями и крышей. Швы между керамическими или бетонными элементами должны быть заполнены раствором плотно, чтобы избежать трещин. Важно также обеспечить герметичность проходов для электрических, телефонных и телевизионных систем [5, с. 34].

С каждым днем спрос на энергосберегающие технологии растет. Это связано с высокой стоимостью и ограниченностью энергоресурсов, а также загрязнением окружающей среды. Энергосбережение позволяет существенно снизить затраты на отопление домов и квартир. Поэтому энергосбережение становится одним из главных приоритетов для компаний. Эффект от внедрения этих технологий касается не только строительных организаций, но и конечных владельцев зданий. Инвесторы, вкладывающие средства в энергосберегающие проекты, получают выгодные инвестиции.

На стадиях проектирования, строительства и продажи зданий энергоэффективность должна быть ключевым фактором. Необходимо создавать условия для контроля над выполнением стандартов энергоэффективности.

Технологии энергосбережения становятся все более доступными и востребованными. Но основным препятствием на пути развития энергоэффективного строительства остается неграмотность населения.

Список литературы:

1. Анчарова, Т. В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: учебник / Т. В. Анчарова, М. А. Рашевская, Е. Д. Стебунова. – Москва: Форум, 2014.
2. Вахнина, В. В. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: учебно-методическое пособие для практических занятий и курсового проектирования / В. В. Вахнина, А. Н. Черненко. – Тольятти: ТГУ, 2007.
3. Гвоздев, С. М. Энергоэффективное электрическое освещение: учебное пособие / С. М. Гвоздев, Д. И. Панфилов, Т. К. Романова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013.
4. Кудрин, Б. И. Электроснабжение потребителей и режимы: учебное пособие для вузов / Б. И. Кудрин, Б. В. Жилин, Ю. В. Матюнина. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013.
5. Кудрин, Б. И. Электроснабжение6 учебник / Б. И. Кудрин. – М.: Academia, 2015.

© Моликов П.А., Шенцева М.С., 2023

УДК 620.92

АКТУАЛЬНОСТЬ МОНИТОРИНГА СИСТЕМ ГОЛОЛЕДООБЛЕДЕНЕНИЯ

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

Аннотация. В работе рассмотрены факторы, определяющие подготовку высоковольтных линий электропередач к осенне-зимнему и весенне-осеннему периоду и влияние внешних воздействий на возникновение аварийных ситуаций на высоковольтных линиях электропередач.

Практикой эксплуатации высоковольтных линий электропередач доказано, что своевременно проведенной плавкой гололеда можно предотвратить гололедные аварии. Для этого необходимо иметь оперативную информацию о метеоусловиях в каждой критической точке высоковольтной линии.

Ключевые слова: высоковольтные линии электропередач, ветровые нагрузки, обледенение, плавка льда, аварийное отключение.

RELEVANCE OF MONITORING OF ICING SYSTEMS

Student **Malikov Pavel Andreevich,**
Academic Advisor: Senior Lecturer **Korotkov Anna Anatolyevna,**
National Research University,
Moscow Energy Institute,
Smolensk, Russian Federation

Abstract. The paper considers the factors determining the preparation of high-voltage power lines for the autumn-winter and spring-autumn period and the influence of external influences on the occurrence of emergency situations on high-voltage power lines.

The practice of operating high-voltage power lines has proved that timely melting of ice can prevent icy accidents. To do this, it is necessary to have up-to-date information about weather conditions at each critical point of the high-voltage line.

Keywords: high-voltage power lines, wind loads, icing, ice melting, emergency shutdown.

Большое количество аварийных отключений линий электропередач (ВЛ) можно объяснить влиянием на воздушную линию климатических условий. К условиям, влияющим на воздушные линии (ВЛ), можно отнести: гололедную нагрузку, перенапряжения, вызванные грозовым воздействием, ветровые

нагрузки. Наиболее губительные последствия от технологических нарушений ВЛ вызваны гололедными и ветровыми нагрузками на линии электропередач, а также их совместным действием [1, с. 18].

Внешние нагрузки оказывают одно из основных механических воздействий на провода. К этой группе относятся гололедно-изморозевые отложения (ГИО). Данные нагрузки, действуя на провода, влияют на их технико-экономические показатели. Что выражается в анализе толщины стенки гололеда. Исходя, из этого показателя, может меняться стоимость строительства ВЛЭП [2, с. 62].

Невнимательное отношение к влиянию нагрузок на ВЛЭП автоматически приводит к изменениям в функционировании линии, вызванном перебоями и срывами. Данные действия приводят к неизбежным ремонтам и восстановительным работам, которые в свою очередь влияют на эксплуатационные затраты.

Резкие смены температурного режима в холодное время года оказывают сильное воздействие на электрические сети, вызывая аварийные ситуации, вызванные ледяными дождями и гололедно-ветровыми нагрузками [3, с. 35].

В Российской Федерации линии электропередач имеют протяженность 3 млн км. Согласно данным карты, большая часть линий электропередач находится в третьем и четвертом районах по гололеду, именно эти районы выделяются особо большими расчетными гололедными отложениями. Кроме этого, в остальных районах также случаются катаклизмы, приводящие к авариям на линиях электропередач. Согласно статистическим данным, количество аварий за последние пять лет составляет 11+-3%, данные анализа сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Аварийность на объектах энергетики, в том числе по причине гололедообразования

ОЗП	Количество аварийных отключений по причине гололедообразования, шт.	Общее количество аварий, шт	Доля аварий по причине гололеда от общего количества аварий, %
2016-2017	420	4841	8,68
2017-2018	481	3983	12,08
2018-2019	310	3755	8,26
2019-2020	269	3439	7,82
2021-2022	503	3404	14,78

Введение все новых и новых линий электропередач, затрагивающих гололедоопасные районы нашей страны, приводит к увеличению риска аварийного отключения потребителей в весенне-зимний период (ОЗП), на этот показатель в первую очередь влияет протяженность линий [4, с. 21]. Во вторую очередь необходимо учитывать, что борьба с обледенением сводится к

применению двух основных методов: теплового и механического. Основным, как показывает статистика, является тепловой, связанный с плавкой льда (табл. 2)

Но готовность объектов сетей к осенне-зимнему периоду не является единственным фактором, немаловажное влияние оказывают на условия образования наледи природно-климатические условия, возникающие в каждом конкретном регионе.

Выделяют следующие группы обледенения:

1) обледенение возникает под воздействием факторов, приводящих к процессу образования инея и кристаллической изморози в процессе перехода водяного пара в кристаллическую фазу, минуя жидкую;

2) гололед и зернистая изморозь образуются в результате замерзания переохлажденной воды в процессе осаждения;

3) образуется обледенение в процессе выпадения мокрого снега, его попадания на провода и замерзания;

4) одно из сложных обледенений включающее одновременное воздействие изморози и гололеда, что приводит к образованию сразу нескольких слоев.

Таблица 2 – Аварии по причине гололедообразования и методы борьбы с обледенением

ОЗП	Количество аварийных отключений по причине гололедообразования, шт.	Количество плавок гололеда, шт.	Механическое удаление гололеда, шт.
2017-2018	481	521	42
2018-2019	310 (-35,5%)	567	52
2019-2020	269 (-44%)	421	78
2021-2022	503 (+4,5%)	623	59

Но влияние гололеда, не является единственным фактором, приводящим к аварии ЛЭП, на них так же оказывает воздействие колебания проводов под воздействием ветра. Этот процесс еще носит название «пляска» проводов, особенно если колебания вызваны совместным воздействием ветра и гололеда на провода. А также действий косых ветров и ливней [5, с. 8].

Скорость ветра является одним из первоочередных факторов, влияющих на процесс обрыва провода. Особенно опасными считаются скорости ветра при наличии гололеда до 90 км/ч амплитудой, равной стреле провеса провода (рис. 1).

Обеспечение безопасного габарита провода является первоочередной задачей в случае возникновения пляски. Сезонные колебания также могут приводить к изменению габаритов провода. В частности, алюминиевые провода в летний период при высоких температурах могут провисать, а при низких – наоборот, натягиваться до состояния струны.

Все вышеперечисленные факторы необходимо учитывать еще на стадии проектирования линий электропередач.

Определение периода наступления гололеда производится двумя способами:

1. Анализом метеорологических данных и технических характеристик линии конкретного региона.

2. Применением тензометрических датчиков определения гололеда, которые в свою очередь преобразуют возникающие в проводах деформации в соответствующие сигналы.

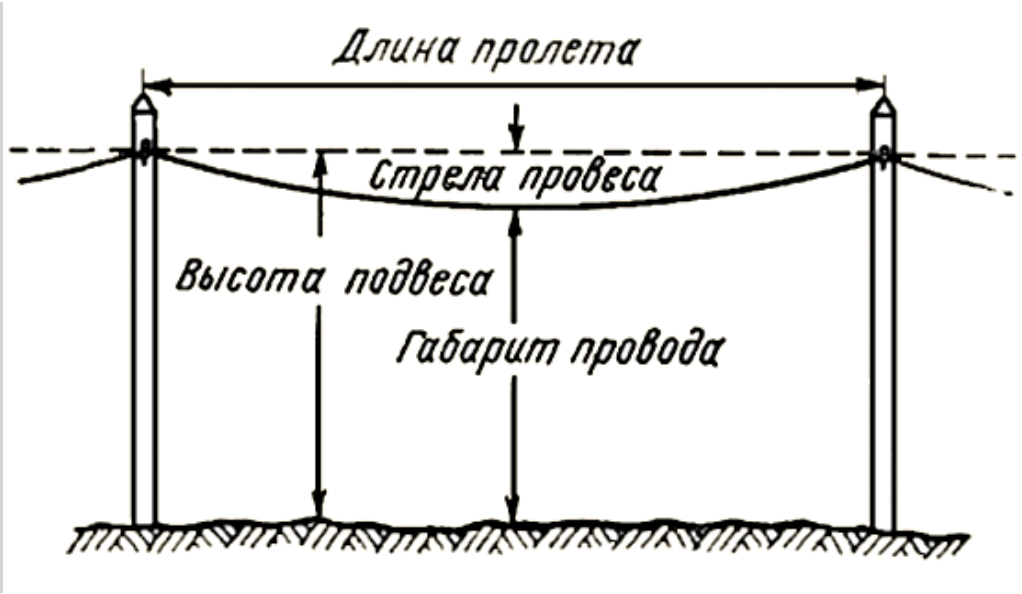


Рисунок 1. Стрела провеса

Данные методы позволяют принять меры к ликвидации обледенения, не дожидаясь последствий.

Таким образом, проведя анализ применяемых методов предупреждения и борьбы с обледенением линий электропередач, можно сделать вывод, что климатические нагрузки – это основные факторы, определяющие надежность ЛЭП. Необходима систематизация данных по регионам пляски проводов и образования обледенения с учетом изменяющихся климатических условий.

Отключение потребителей при применении метода плавки гололеда должно стать крайней мерой. Необходимо переходить на более прогрессивные методы наложения внешнего переменного тока, изменение нагрузок, применение в качестве профилактических мер обогрев линии, не дожидаясь возникновения последствий погодных условий [6, с. 123].

Недостатком данного решения является отсутствие возможности определения с большой уверенностью показателя тока плавки, который зависит от условий работы системы, в связи с этим данный метод не имеет распространения.

Поводя итоги анализа, можно сказать, что решение проблемы обледенения проводов в настоящее время требует больших вложений денежных средств, разработки нового программного обеспечения и как следствие, опять вложения

средств, а также данные мероприятия мониторинга имеют в настоящее время большую стоимость.

Для обеспечения бесперебойности электроснабжения в осенне-зимний период рекомендуется применять методы и способы плавки гололеда без отключения потребителей: методами наложения внешнего переменного тока на рабочий ток линии и перераспределения нагрузок, протеканием тока профилактического обогрева линии [7, с. 146].

Однако, учитывая тот факт, что нельзя с полной уверенностью заранее определить ток плавки, который зависит от режима работы энергосистемы, и необходимые при этом организационно-технические мероприятия, данные методы не получили широкого распространения на практике.

Представлен анализ существующих систем мониторинга за гололедообразованием на ВЛ. Недостатками проанализированных систем являются: необходимость установки значительного количества постов на ВЛ, применение специализированного ПО с организацией дополнительного рабочего места, значительная стоимость одного комплекта мониторинга.

Список литературы:

1. Автоматическая система удаления льда с проводов линий электропередач [Текст] / А. В. Соловьев [и др.] // Инновационные технологии управления: монография. – Одесса: Куприенко С.В., 2013. – Гл. 1. – С. 6-31.
2. Бажанов, П. И. Отложение мокрого снега на проводах линий электропередачи [Текст] / П. И. Бажанов // Электрические станции. – 1957. – № 10. – С. 60-63.
3. Балыбердин, Л. Л. Индукционная плавка гололеда на грозозащитных тросах воздушных линий электропередачи [Текст] / Л. Л. Балыбердин, В. И. Галанов, Ю. С. Крайчик, Б. П. Краснова, Н. Г. Лозинова, М. И. Мазуров // Электрические станции. – 2002. – № 1. – С. 31-37.
4. Будзко, И. А. Автоматизация контроля за гололедообразованием в сельских электрических сетях [Текст] / И.А. Будзко [и др.] // Плавка гололеда на воздушных линиях электропередачи: материалы II Всесоюзного совещания. – Уфа, 1975. – С. 19-24.
5. Бургсдорф, В. В. О физике гололедно-изморозевых явлений / В. В. Бургсдорф // Труды главной геофизической обсерватории. – Л.: Гидрометеоиздат, 1947. – № 3. – С. 3-12.
6. Бучинский, В. Е. Гололед и борьба с ним / В. Е. Бучинский – Л.: Гидрометеоиздат, 1960. – 192 с.
7. Валеев, А. Р. Разработка и исследование системы плавки гололеда постоянным током на проводах воздушных линий электропередачи без отключения потребителей с целью обеспечения качественного и надежного электроснабжения потребителей [Текст]: отчет о НИР / А. Р. Валеев, Ф. Р. Исмагилов, А. Ю. Елизарьев [и др.]. – Уфа: УГАТУ, 2014. – 270 с.

© Моликов П.А., 2023

УДК 621.548

БИОМИМИКРИЯ В ДИЗАЙНЕ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ: НОВЫЕ ПОДХОДЫ К МАТЕРИАЛАМ И КОНСТРУКЦИЯМ

студент **Богданова Анна Николаевна,**
Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. В данной статье исследуется применение биомимикрии в дизайне ветрогенераторов, обсуждаются новаторские подходы к материалам и конструкциям. Проведенный анализ включает в себя имитацию форм и движений, использование адаптивных материалов, а также симбиоз с экосистемой. Результаты обещают повысить эффективность и надежность, снизив затраты и создав устойчивые технологии.

Ключевые слова: биомимикрия, ветрогенераторы, имитация, моделирование, оптимизация, экосистема.

BIOMIMICRY IN WIND TURBINE DESIGN: NEW APPROACHES TO MATERIALS AND CONSTRUCTIONS

Student **Bogdanova Anna Nikolaevna,**
Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russian Federation

Abstract. This article explores the application of biomimicry in wind turbine design, discussing innovative approaches to materials and constructions. The conducted analysis includes the imitation of shapes and movements, the utilization of adaptive materials, as well as symbiosis with ecosystems. The results hold the promise of enhancing efficiency and reliability, reducing costs, and creating sustainable technologies.

Keywords: biomimicry, wind turbines, imitation, modeling, optimization, ecosystem.

С постоянным увеличением потребления энергии и стремлением к устойчивому развитию возникает неотложная необходимость в поиске инновационных решений в области энергетики. По данным Международного Энергетического Агентства на 2022 год, ветровая энергия составляла примерно 6,1 % от общего производства электроэнергии в мире [1]. Эта цифра свидетельствует о значительном вкладе ветроэнергетики в глобальное энергетическое портфолио и подчеркивает ее важность в переходе к устойчивым источникам энергии.

За последние шесть лет инвестиции в ветроэнергетику увеличились на 45 %, достигнув впечатляющей суммы более 150 миллиардов долларов США [2, с. 2]. Это не только отражает стремительный рост отрасли, но и говорит о

доверии инвесторов в ее долгосрочную устойчивость. Важно отметить, что с каждым годом ветроэнергетика становится все более конкурентоспособной в сравнении с традиционными источниками энергии, что стимулирует дополнительные инновации и технологические усовершенствования.

В этом контексте биомимикрия, наука об имитации природных принципов в технологии и дизайне, открывает новые пути в разработке ветрогенераторов. Инспирированные эволюционными механизмами, ветрогенераторы, созданные с применением биомимикрии, обещают не только повышение эффективности, но и более гармоничное взаимодействие с окружающей средой.

Биомимикрия – это подход в инновационных технологиях и дизайне, основанный на имитации природных образцов, процессов и стратегий для создания эффективных решений. Ее идея заключается в том, что природа, оптимизировавшая свои процессы за миллионы лет эволюции, может служить источником вдохновения для новаторских разработок. Например, система вентиляции, вдохновленная муравейниками, позволяет эффективно регулировать температуру и циркулировать воздух внутри здания, минимизируя энергопотребление.

В контексте ветрогенераторов биомимикрия представляет собой адаптацию принципов и структур, существующих в природе, для оптимизации дизайна и функциональности этих устройств.

Первый аспект биомимикрии в дизайне ветрогенераторов связан с имитацией форм и движений, характерных для природных объектов. Например, аэродинамические конструкции, моделирующие строение птичьих крыльев, демонстрируют потенциал для оптимизации эффективности сбора энергии из ветра. По данным исследований, эффективность ветрогенераторов, оптимизированных с учетом аэродинамических принципов, может увеличиться на 20–30 % [3].

Биомиметические конструкции, вдохновленные морскими обитателями, такими как рыбы или дельфины, могут обеспечивать гибкость и адаптивность в различных условиях ветра. Это подчеркивает не только потенциальное увеличение производительности ветрогенераторов, но и снижение издержек в их производстве. В результате, такие инновационные подходы не только способствуют экономии ресурсов, но и улучшают общую экологическую устойчивость энергетических систем, снижая зависимость от традиционных источников энергии.

Второй аспект – использование адаптивных материалов, способных изменять свои свойства под воздействием внешних факторов. Этот подход, вдохновленный природными механизмами, может революционизировать эффективность ветрогенераторов.

Примером является использование материалов, имитирующих микроскопические механизмы, подобные тем, которые присущи листьям растений. Эти материалы способны реагировать на изменения ветра, оптимизируя свою структуру для максимального сбора энергии. Применение таких адаптивных материалов может повысить коэффициент мощности

ветрогенераторов на 15 %, что приводит к увеличению энергетической производительности [4].

Биомиметические подходы также включают использование материалов с изменяемыми свойствами, например, внутренне адаптирующихся композитов. Эти материалы могут реагировать на изменения температуры, влажности или интенсивности ветра, оптимизируя свою форму для максимальной эффективности сбора энергии. Такие инновации демонстрируют перспективы создания ветрогенераторов, способных адаптироваться к различным условиям эксплуатации, что в итоге приводит к увеличению их эффективности и снижению воздействия на окружающую среду.

Симбиоз с природной экосистемой представляет собой ключевой аспект биомимикрии в дизайне ветрогенераторов. Оптимизация структур, подражающих природным образцам, может способствовать более гармоничному взаимодействию этих энергетических установок с окружающей средой. Примером такого симбиоза может служить создание структур, аналогичных корням деревьев.

Ветрогенераторы, спроектированные с учетом подобных принципов, интегрируются в почву, повторяя прочность и устойчивость природных корней. Это не только укрепляет позицию ветрогенераторов в земле, но и содействует сохранению природной биоразнообразности, предоставляя среде дополнительные возможности для роста и развития.

Согласно отчетам Мирового фонда дикой природы, такие ветрогенераторы-симбиоты с экосистемой демонстрируют устойчивость и минимизируют негативное воздействие на окружающую среду [5, с. 78-79]. Интеграция в природные процессы снижает необходимость в искусственных поддерживающих структурах, что, в свою очередь, сокращает потребление ресурсов и уменьшает визуальное воздействие на ландшафт. Такой симбиоз представляет собой инновационный шаг в создании энергетических установок, вписывающихся в естественные экосистемы и способствующих сохранению биоразнообразия.

Несмотря на многообещающие перспективы, внедрение биомимикрии в дизайне ветрогенераторов также сталкивается с проблемами, требующими дополнительных исследований и технологического совершенствования. Одним из основных вызовов является необходимость долгосрочных исследований для создания устойчивых биомиметических конструкций. Интеграция новаторских материалов и технологий, вдохновленных природой, требует постоянного совершенствования и адаптации.

Особую сложность вызывает адаптация биомиметических подходов к различным климатическим и экологическим условиям. Например, в регионах с непредсказуемыми условиями ветра или экстремальными температурами могут возникнуть трудности в создании устойчивых биомиметических ветрогенераторов – высокие или низкие температуры могут негативно повлиять на работоспособность материалов и механизмов.

Исследования, направленные на преодоление перечисленных проблем, уже начинают приносить плоды. Компании, такие как Siemens, Vestas, Biome

Renewables, Aeolos Wind Turbine, внедряют биомиметические концепции в дизайн своих ветрогенераторов, снижая затраты на производство.

Во многих странах виды зимородка подолгу наблюдают за реками, выжидая идеальный момент для ныряния за мелкой рыбой. Когда зимородок входит в воду, он почти не создает волнения на ее поверхности. Утонченная форма его клюва вдохновила инженеров на создание многочисленных дизайнов, в том числе компанию Biome Renewables на идею PowerCone (рис. 1). Это устройство устанавливается в центр существующих ветрогенераторов и использует свою спиральную форму для перераспределения большего количества воздуха к лопастям турбины.



Рисунок 1. Применение технологии PowerCone на ветрогенераторе

В компании говорят, что данная конструкция делает турбину более аэродинамичной и более эффективной. Она производит меньший уровень шума и большую мощность, что позволяет быстрее выйти на минимальную нагрузку. Biome Renewables обещает увеличить выработку электроэнергии на 13 % из своего продукта [6].

Проведем сравнение традиционных и биомиметических ветрогенераторов относительно их влияния на общественное мнение.

Эстетика и визуальное воздействие:

– традиционные ветрогенераторы часто вызывают споры из-за их масштабов и внешнего вида, что может привести к негативному отношению общества;

– биомиметические ветрогенераторы, благодаря интеграции принципов природы, могут быть более гармоничными с окружающей средой и местным ландшафтом, что способствует положительному восприятию.

Активное участие общества:

– возможны протесты со стороны местных сообществ из-за опасений по поводу воздействия традиционных ветрогенераторов на здоровье, шума и изменений в ландшафте;

– интеграция в дизайн решений, вдохновленных природой, может понизить негативный настрой общества, поскольку они более органично вписываются в окружающую среду.

Образование и осведомленность:

– нередко общество недостаточно осведомлено о технологиях и преимуществах ветроэнергетики, что может приводить к недопониманию и сопротивлению;

– биомиметические ветрогенераторы могут стать объектами образовательных программ, подчеркивая свою экологическую приверженность и принципы устойчивости, что способствует позитивному отношению общества.

Экономические выгоды для общества:

– традиционные ветрогенераторы приносят экономические выгоды в виде новых рабочих мест и сокращения зависимости от традиционных источников энергии;

– биомиметические ветрогенераторы способны продемонстрировать дополнительные экономические выгоды через инновации в технологиях и новые рынки для биоинспирированных продуктов.

Совместное решение экологических проблем:

– традиционные ветрогенераторы уже часто воспринимаются как необходимое зло для решения энергетических проблем, которые не всегда учитывают экологические аспекты

– внедрение инновационных биомиметических концепций может позиционироваться как часть решения экологических проблем, что способствует поддержке общества.

Все эти аспекты влияния на общественное мнение помогают создать более позитивный настрой и легитимизировать развитие биомиметических ветрогенераторов в обществе.

В заключение можно констатировать, что биомимикрия в дизайне ветрогенераторов представляет собой многообещающий и инновационный путь к созданию эффективных, устойчивых и интегрированных с природой энергетических систем. Имитация природных механизмов, начиная от форм и движений ветроплавающих созданий до адаптивных материалов, позволяет преодолеть традиционные ограничения ветрогенераторов.

Вызовы, такие как непредсказуемость ветровых условий и экстремальные температуры, несомненно, существуют, но они стимулируют разработчиков к поиску инновационных решений.

Статистические данные свидетельствуют о росте доли ветровой энергии в общем производстве электроэнергии, а перспективы биомимикрии могут усилить этот тренд, содействуя развитию более совершенных технологий. Внедрение биомиметических решений в энергетическую инфраструктуру подчеркивает важность учения у природы, чтобы сделать наш энергетический сектор более устойчивым и сбалансированным.

Список литературы:

1. World Energy Transitions. Outlook 2022 [website]. – 2022 – URL: https://www.irena.org/Digital-Report/World-Energy-Transitions-Outlook-2022 (date accessed: 16.11.2023).
2. IRENA (2019) Future of wind: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects. A Global Energy Transformation paper. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. P. 38. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Oct/IRENA_Future_of_wind_2019.pdf (date accessed: 16.11.2023).
3. Investigating the Benefits of Biomimicry in Wind Turbine Blade Design [website]. – 2023 – URL: https://energy5.com/investigating-the-benefits-of-biomimicry-in-wind-turbine-blade-design (date accessed: 16.11.2023).
4. Biomimetic Wind Turbines: How Nature Can Inspire More Efficient Energy Production [website]. – 2022 – URL: https://medium.com/@synergy.ai/biomimetic-wind-turbines-how-nature-can-inspire-more-efficient-energy-production-cf8c762a5037 (date accessed: 16.11.2023).
5. WWF International (2011) 100% Renewable Energy by 2050. The Energy Report. Gland, Switzerland. P. 78-79. URL: https://files.worldwildlife.org/wwfcmsprod/files/Publication/file/51ss8r9qav_The_Energy_Report.pdf?_ga=2.88222878.442195934.1700161415-648795000.1700161414 (date accessed: 17.11.2023).
6. Biomimicry: powering the world with lessons from nature [website]. – 2020 – URL: https://www.power-technology.com/features/biomimicry-wind-turbine-tubercle-heliotrope-power-technology-research-design/?cf-view&cf-closed (date accessed: 17.11.2023).

© Богданова А. Н., 2023

УДК 662.818

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМБИНИРОВАННОГО ТОПЛИВНОГО БРИКЕТА, СОДЕРЖАЩЕГО ЦЕЛЛЮЛОЗУ И СИНТЕТИЧЕСКИЕ ПОЛИМЕРЫ

студент **Федорук Софья Сергеевна,**
ст. преподаватель **Рыжиков Владимир Александрович,**
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Исследуются физико-химические свойства комбинированного топливного брикета и их зависимость от компоновки исходного сырья. Также рассматривается допустимость переработки отходов сортирования картонно-бумажной макулатуры, содержащих синтетические полимеры, как компонента топливных брикетов, и возможные проблемы, возникающие при выполнении поставленных задач.

Ключевые слова: экология, энергетика, переработка отходов картонной макулатуры, утилизация, брикеты, твердое биотопливо.

INVESTIGATION OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF A COMBINED FUEL BRIQUETTE CONTAINING CELLULOSE AND SYNTHETIC POLYMERS

Student **Fedoruk Sofia Sergeevna,**
Senior Lecturer **Ryzhikov Vladimir Alexandrovich,**
Saint Petersburg State University of Industrial technology and design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. Physical and chemical properties of combined fuel briquette and their dependence on the arrangement of the feedstock are investigated. Also, the admissibility of processing of waste sorting cardboard and paper waste containing synthetic polymers as a component of fuel briquettes and possible problems arising in the fulfillment of the tasks are considered.

Keywords: ecology, energy, recycling of cardboard waste paper, recycling, briquettes, solid biofuel.

На данный момент охрана окружающей среды является одной из наиболее актуальных проблем современности. Научно-технический прогресс, а также ужесточение антропогенного воздействия на природную среду неизбежно ведут к ухудшению экологической ситуации. Уже в середине XX века резко

обострились проблемы, связанные с загрязнениями окружающей среды. Загрязнение биосферы связано с нанесением огромного вреда атмосфере, природным водам, почвенному покрову, лесам и животным. Загрязняющие вещества поступают в биосферу с выбросами промышленных предприятий, выхлопных газов от автотранспорта, с коммунальными бытовыми отходами производственной сферы.

В наше время напряжённость экологической обстановки очень быстро возрастает с каждым днём. Уровень загрязнения поверхностных вод, почв и атмосферного воздуха остается высоким. Биологическое разнообразие природы России стремительно ухудшается: лесные системы вымирают, многие виды растений и животных находятся на грани исчезновения. Из-за загрязнения атмосферы, воды и продуктов питания токсичными веществами сокращается продолжительность жизни человека, люди все больше подвергаются развитию различных заболеваний.

Одна из ключевых проблем защиты окружающей среды – загрязнение экосистемы промышленными отходами, так как они могут являться источником поступления вредных химических, биологических и биохимических веществ в окружающую природную среду [1, 2].

В связи с проблемой перехода к низкоуглеродной циркулярной био-экономике на сегодняшний день актуальна задача переработки отходов картонно-бумажной макулатуры, содержащей целлюлозу и синтетические полимеры. К сожалению, например, при производстве макулатурного картона, не всегда есть возможность утилизировать отходы (побочные продукты переработки), и их чаще всего захоранивают на полигонах, что не только увеличивает площади свалок (полигонов), но и приводит к дополнительным выбросам диоксида углерода без получения полезной энергии. Таким образом, эти достаточно крупнотоннажные отходы целлюлозно-бумажной промышленности еще не нашли своего места в процессе переработки с целью получения полезной энергии или топлива [3].

В работе были исследованы физико-химические свойства комбинированного топливного брикета, такие как плотность, теплотворная способность и химический состав и их зависимость от состава композиции образцов.

В качестве исходного сырья используется древесная мука опилок лиственницы ДП 180 и отходы сортирования картонно-бумажной макулатуры МС-5Б, предоставленные предприятием АО «КНАУФ ПЕТРОБОРД», в дальнейшем перемолотые в муку с помощью мельничного механизма.

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. Цель данного эксперимента – рассчитать и проанализировать значения плотности полученного брикета при различных композициях сырья. Полученные результаты представлены в табл. 1 [3].

Таблица 1 – Плотность брикетов при различной композиции сырья

Вид образца	Температура пресс-формы в процессе прессования, °С	Относительная влажность образца, %	Плотность полученного брикета после релаксации, кг/м^3
100 % отходов тонкой сортировки макулатуры	78 ± 2	10,7± 0,1	1380
50 % / 50 % Отходы тонкой сортировки макулатуры + древесная мука опилок лиственницы	78 ± 2	10,7± 0,1	1180
100 % древесной муки опилок лиственницы	78 ± 2	10,7± 0,1	1080

Исходя из результатов эксперимента, можно заметить, что плотность брикета зависит от композиции сырья при постоянных значениях температуры прессования и относительной влажности образца. Наибольшая плотность соответствует композиции, состоящей из 100 % отходов тонкой сортировки макулатуры.

Также была определена низшая теплота сгорания комбинированного брикета, в соотношении 50/50, в калориметрической бомбе на двух разных поверенных калориметрах в учебной лаборатории. Теплотворная способность и химический состав топливного брикета представлены в табл. 2 [3].

Таблица 2 – Теплотворная способность и химический состав топливного брикета

Топливо	Низшая теплота сгорания Q^i_r, МДж/кг	Влажность, %	Зольность, %	Углерод, %	Водород, %	Азот, %	Кислород, %
Топливный брикет	14,2	6	2,9	47	4,5	0,6	39

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 завершении – 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.

В основу технологии низкотемпературного вихревого сжигания заложен принцип организации низкотемпературного сжигания твердого топлива в условиях многократной циркуляции частиц в камерной топке. В НТВ-топке организованы две зоны горения, которые разнесены по ее высоте: вихревая и прямоточная. Вихревая зона занимает объем нижней части топки от устья топочной воронки до горелок. Прямоточная зона горения располагается над вихревой зоной в верхней части топки (рис. 1).

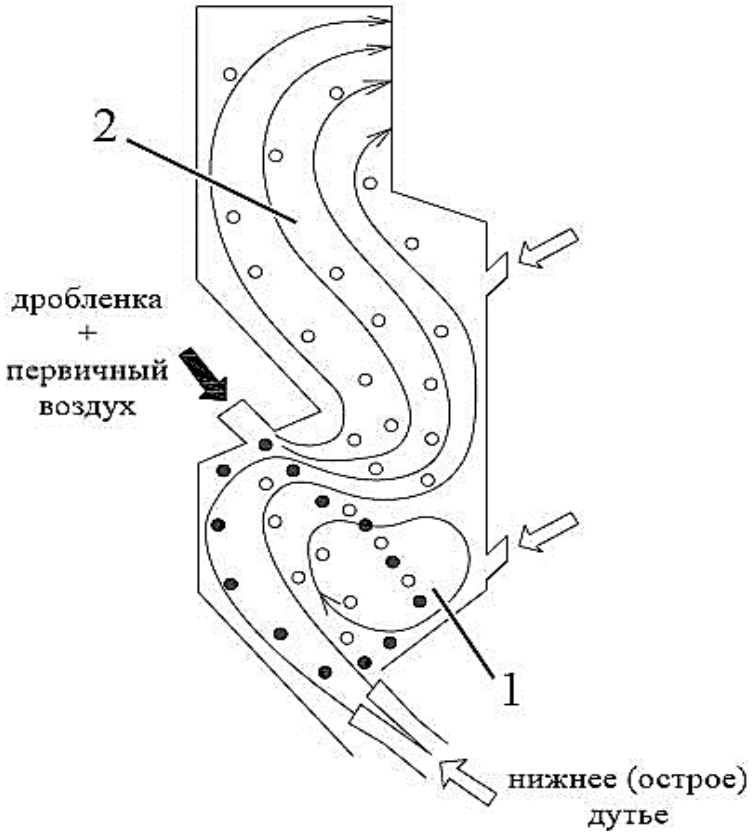


Рисунок 1. НТВ-топка

Аэродинамика вихревой зоны создается за счет взаимодействия двух организованных потоков: первый поток сформирован из топливно-воздушной

смеси, поступающей в топку через горелки; второй поток состоит из горячего воздуха, подаваемого в топку через систему нижнего дутья. Потоки направлены навстречу друг другу и образуют пару сил, создающую вихревое движение в нижней части топки [5].

В отличие от традиционной технологии пылеугольного сжигания, где основная часть топлива (до 92–96 %) сгорает в так называемой «зоне активного горения», расположенной в районе горелок, и занимающей относительно небольшой объем камерной топки, в вихревой топке с НТВ технологией сжигания в «зону активного горения» вовлечен значительно больший объем топочного пространства. Это дает возможность снизить максимальную температуру в вихревой топке (примерно на 100-300ºС) и за счет активной аэродинамики выровнять уровень температуры в объеме вихревой зоны. Применение вихревой топки позволяет нивелировать различия в скорости витания частиц каменного угля, древесины, целлюлозных и древесных отходов.

В совокупности пониженный уровень температуры, ступенчатый ввод окислителя, многократная циркуляция горящих топливных частиц и угрубление гранулометрического состава золы обеспечивают улучшенные показатели вихревых топок по вредным выбросам оксидов азота, а также повышают эффективность работы золоулавливающего оборудования котельной установки.

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 [3].

Список литературы:

1. Государственное регулирование охраны окружающей среды: [сайт]. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/gosudarstvennoe-regulirovanie-ohrany-okruzhayuschey-sredy/viewer (дата обращения: 11.11.2023). – Текст: электронный.
2. Глобальные экологические проблемы и способы их решения среды: [сайт]. – URL: https://www.polnaja-jenciklopedija.ru/planeta-zemlya/globalnye-ekologicheskie-problemy-i-sposoby-ih-resheniya.html?ysclid=lp1o68veee818076560 (дата обращения: 14.11.2023). – 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: 15.11.2023). – EDN KQJYIG.
4. Померанцев, В. В.Топки скоростного горения для древесного топлива [Текст] / 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 [Текст]: 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. – ISBN 978-5-91646-150-3.

© Федорук С. С., Рыжиков В. А., 2023

УДК 69.059.626

АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОГО ФОРМИРОВАНИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ДЕМОНТАЖНЫХ РАБОТ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

адъюнкт **Таутиев Ислам Магомедович,**
Военная академия материально-технического обеспечения
имени генерала армии А. В. Хрулёва,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В статье представлен алгоритм формирования нормокомплекта машин и механизмов для проведения демонтажных работ, отличающийся от ранее разработанных тем, что нормокомплекты формируются по критерию оптимальности, величины отношения производительности демонтажного процесса к сметной стоимости выполненных демонтажных работ, а также учитывается совокупность новых факторов, компенсирующих влияние стесненности на условия производства демонтажных работ, и позволяют выполнять данные работы, уменьшая сроки производства работ.

Ключевые слова: алгоритм, демонтажные работы, нормокомплект, машины и механизмы, критерий оптимальности.

OPTIMAL FORMATION ALGORITHM MACHINES AND MECHANISMS FOR CARRYING OUT DISMANTLING WORKS OF BUILDINGS AND STRUCTURES

Associate **Tautiev Islam Magomedovich,**
Military Academyof Logistics
named after General of the ArmyA.V. Khrulev,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. The article presents an algorithm for the formation of a standard set of machines and mechanisms for dismantling works, which differs from the previously developed ones in that standard sets are formed according to the criterion of optimality, the ratio of the productivity of the dismantling process to the estimated cost of the dismantling works performed, and also takes into account a set of new factors compensating for the impact of tightness on the conditions of dismantling works and allow performing these works by reducing deadlines for the production of works.

Keywords: algorithm, dismantling works, standard set, machines and mechanisms, optimality criterion.

В современных условиях вопрос эффективного проведения демонтажных работ характеризуется наличием множества проблем.

Одной из важных проблем при выполнении демонтажных работ является обеспечение строительными машинами и механизмами.

Правильный выбор машин и механизмов при проведении демонтажных работ облегчает решение многих задач, повышает производительность труда, снижает трудовые затраты, сокращает сроки и стоимость производства демонтажных работ [1].

Суть оптимального формирования нормокомплекта машин и механизмов заключается в нахождении такого варианта нормокомплекта, при котором будет обеспечено выполнение всех работ по планируемым демонтажным процессам для любого объекта, предусмотренного программой строительной организации или графиком непрерывного долговременного потока.

Критерием оптимальности является величина, соответствующая отношению производительности демонтажного процесса ($м^3$ за маш.-час) к сметной стоимости выполненных демонтажных работ (руб.).

Принятые обозначения:

A_j, B_j – имеющиеся ведущие и ведомые машины и механизмы для выполнения демонтажных работ; $j = 1, 2, \ldots, m$;

$НК_i$ – формируемые нормокомплекты машин и механизмов с взаимоувязанными параметрами для комплексной механизации сложных технологических процессов при выполнении демонтажных работ ($i = 1,2,\ldots,n$) [2]:

$$\sum_{i=1}^{n} НК_i = \sum_{j=1}^{m} A_j + \sum_{j=1}^{m} B_j \quad (1)$$

N_i - объекты демонтажных работ; $i = 1, 2, \ldots, n$.

Исходными данными являются:

$П_i$ – производственные возможности (производительность) имеющихся машин и механизмов для выполнения демонтажных работ;

V_i – объем (трудоемкость) демонтажных работ на каждом объекте;

C_{ij} – затраты, связанные с выполнением единицы демонтажных работ V_i машиной и механизмом A_j, B_j ($j=1,2\ldots,m$) на каждом объекте N_i ($i=1,2,\ldots,n$).

X_{ij} – объем работ, выполняемый i-ым нормокомплектом машин и механизмов на i-ом объекте.

При решении данной задачи используется метод **«ветвей и границ»**, большое количество возможных решений распределения машин и механизмов по нормокомплектам разделяется на постоянно уменьшающиеся подмножества, каждому из которых соответствует минимально возможная величина затрат, так называемая «нижняя граница». Последовательная (пошаговая) разбивка приводит к подмножеству с одним вариантом формирования нормокомплекта машин и механизмов, суммарные затраты для которого не больше «нижних границ» всех других конечных подмножеств. Это и будет оптимальный вариант формирования нормокомплекта машин и механизмов [3].

Задача оптимального распределения машин и механизмов по нормокомплектам сводится к нахождению таких значений переменных X_{ij}, которые минимизируют целевую функцию y, которая определяется по формуле [4]:

$$y = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} C_{ij} X_{ij} \rightarrow min. \quad (2)$$

В данном виде задача определения оптимального распределения специализированных демонтажных подразделений будет представлять собой транспортную задачу, которую возможно решить одним из существующих методов, например, методом ветвей и границ.

Алгоритм оптимального формирования нормокомплектов машин и механизмов для выполнения демонтажных работ приведен на рис. 1.



Рисунок 1. Алгоритм оптимального формирования нормокомплектов машин и механизмов для выполнения демонтажных работ

Так как нормокомплекты создают временно под конкретные демонтажные работы, введем допущение, что общая производительность всех подразделений равна общей трудоемкости работ на всех объектах (тем самым будет получена закрытая (сбалансированная) распределительная задача):

$$\sum_{i=1}^{n} X_{ij} = \sum_{i=1}^{n} V_i. \quad (3)$$

В последующем формируются матрицы с данными по объему демонтажных работ, директивным срокам продолжительности демонтажных работ и срокам начала работ по каждому объекту очереди и другим характеристикам [6]:

$$V_{\text{дем}} = \begin{pmatrix} V_{1,\text{дем}} \\ V_{2,\text{дем}} \\ \cdots \\ V_{n,\text{дем}} \end{pmatrix}; H_{\text{оп}} = \begin{pmatrix} H_{1,\text{оп}} \\ H_{2,\text{оп}} \\ \cdots \\ H_{n,\text{оп}} \end{pmatrix}; T_{\text{дир}} = \begin{pmatrix} T_{1,\text{дир}} \\ T_{2,\text{дир}} \\ \cdots \\ T_{n,\text{дир}} \end{pmatrix}; T_{\text{нач}} = \begin{pmatrix} T_{1,\text{нач}} \\ T_{2,\text{нач}} \\ \cdots \\ T_{n,\text{нач}} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где $V_{\text{дем}}$ – объем демонтируемых конструкций здания; $T_{\text{дир}}$ – директивное время на производство работ; $H_{\text{об}}$ – объемно-планировочные габариты объекта; C_{lim} – лимит затрат на производство демонтажных работ; $T_{\text{нач}}$ – директивная дата начала производства работ.

Формируются матрицы с данными по ведущим и ведомым машинам и механизмам

$$A_j = \begin{pmatrix} A_{1,j} \\ A_{2,j} \\ \cdots \\ A_{n,j} \end{pmatrix}; B_j = \begin{pmatrix} B_{1,j} \\ B_{2,j} \\ \cdots \\ B_{n,j} \end{pmatrix}; \Pi_{\text{a}j} = \begin{pmatrix} \Pi_{1,aj} \\ \Pi_{2,aj} \\ \cdots \\ \Pi_{n,aj} \end{pmatrix}; \Pi_{bj} = \begin{pmatrix} \Pi_{1,bj} \\ \Pi_{2,bj} \\ \cdots \\ \Pi_{n,bj} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

где $\Pi_{\text{a}j}$ и Π_{bj} – производительность ведущих и ведомых машин и механизмов; $\mathrm{C}_{aj(bj)}$ – затраты на эксплуатацию ведущих и ведомых машин и механизмов;

Определяются показатели [7], характеризующие специфику конкретного объекта, необходимые как ограничения при выборе машин и механизмов. Показатель демонтируемости $P_{\text{дем}}$, характеризующий удельный вес конструкций, подлежащих демонтажу, от общего объема конструкций, и связанный с ним показатель необходимости мониторинга сохраняемых конструкций $P_{\text{мск}}$, являются ограничениями при выборе машин и механизмов, по формулам [8]:

$$P_{\text{дем}} = 1 - \frac{V_{\text{дем}}}{V}, \quad P_{\text{мск}} = 1 - \frac{V_{\text{мск}}}{V}, \quad (6)$$

где $V_{\text{дем}}$ – объем демонтируемых конструкций здания; V – объем конструкций здания; $V_{\text{мск}}$ – объем сохраняемых конструкций здания, подлежащих мониторингу технического состояния [9].

Определяются ограничения по выбору машин и механизмов, связанные со стесненностью (показатели внутренней стесненности, внутриплощадочных проездов, закрытости застройки, плотности застройки, стесненности использования демонтажных механизмов, стесненности по транспортным габаритам демонтажного механизма, непрерывности процесса производства демонтажных работ на участке по количеству действий прерывания) [10]:

$$P_{\text{вн.стес}} = \frac{S_{\text{дем,}}}{S}; \mathrm{P_{пр}} = \frac{\sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{n}} \mathrm{l_i \times b_i}}{\mathrm{S}}; P_{\text{закр}} = \frac{\Pi_{\text{сопр}}}{\Pi_{\text{своб}}}; P_{\text{плотн},i} = \frac{S_{\text{факи.им}} - S_{\text{зд}}}{S_{\text{треб},i}};$$

$$P_{\text{сдм},ij} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} M_i}{\sum_{k=1}^{n} W_k}\right) \Big/ n \times m;\ P_{\text{гдм}} = \frac{F_{\text{гдм}}}{F_{\text{удр}}};\ P_{\text{нпдр}} = \frac{1}{1+N} \quad (7)$$

Определяется показатель наличия инженерных систем:

$$P_{\text{пис}} = \frac{S_{\text{инж.сист}}}{S_{\text{дем}}}. \quad (8)$$

Формируются матрицы с данными по показателям, характеризующим специфику конкретного объекта демонтажа:

$$P_{\text{дем}} = \begin{pmatrix} P_{1,\text{дем}} \\ P_{2,\text{дем}} \\ \cdots \\ P_{n,\text{дем}} \end{pmatrix};\ \ldots;\ P_{\text{нпдр}} = \begin{pmatrix} P_{1,\text{нпдр}} \\ P_{2,\text{нпдр}} \\ \cdots \\ P_{n,\text{нпдр}} \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Для каждого средства механизации составляют матрицу затрат, причем объем вычислений после решения задачи первого уровня значительно сокращается.

На первом этапе проводится информационная подготовка процесса, сбор и тщательный анализ технических, технологических, экономических и других показателей, связанных с объектом производства демонтажных работ, условиями работы, возможными технологическими процессами выполнения работ и возможными средствами механизации, которые потенциально могли бы выполнить те или иные демонтажные процессы.

На втором этапе по выбранному критерию оптимизации проводится синтез, моделирование и оптимизация нормокомплектов машин и механизмов. В данной постановке принцип оптимальности называется принципом минимизации затрат.

В допустимых границах формирование нормокомплектов машин и механизмов может рассматриваться как единая система с учетом внутренних связей, между ведущей и ведомой машинами, и внешних связей, условий, в которых будет работать нормокомплект машин и механизмов [11].

Таким образом, авторами разработан алгоритм обоснования формирования нормокомплекта машин и механизмов для проведения демонтажных работ, отличающийся от ранее разработанных тем, что нормокомплекты формируются по критерию оптимальности, величины отношения производительности демонтажного процесса к сметной стоимости выполненных демонтажных работ, а также учитывается совокупность новых факторов, компенсирующих влияние стесненности на условия производства демонтажных работ и позволяющих выполнять данные работы с уменьшением сроков производства работ.

Список литературы:

1. Белицкий Б. Ф. Технология и механизация строительного производства. – Ростов-на- Дону: ФЕНИКС, 2004. – 752 с.

2. Бирюков, А. Н. Общие принципы проектирования комплектов строительных машин при механизации демонтажных работ / А. Н. Бирюков, И. М. Таутиев, А. К. Абрамов // Актуальные проблемы естественных и технических наук: Сборник статей межвузовской научно-практической конференции, Санкт-

Петербург, 21 апреля 2023 года. – Санкт-Петербург: Военный институт (инженерно-технический) – структурное подразделение Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А. В. Хрулева» Министерства обороны Российской Федерации, 2023. – С. 6-16. – EDN HYYOCY.
3. Бирюков А. Н., Таутиев И. М. Взаимосвязь строительных машин в комплекте экскаватор-самосвал при проведении демонтажных работ зданий и сооружений// Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство и транспорт. Материалы IX Международной научно-практической конференции, посвящённой памяти академика РААСН Чернышова Е. М. – 2022. – С. 601-307.
4. Бирюков А. Н., Таутиев И. М. Анализ современного состояния процесса выбора средств механизации при проведении демонтажных работ // Современные проблемы менеджмента в строительстве: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Санкт-Петербург, 2022. – С. 246-254.
5. Венецкий И. Г., Венецкая В. И. Основные математико-статистические понятия и формулы в экономическом анализе. – М.: Статистика, 1979. – 228 с.
6. Канторович Л. В., Горстко А. Б. Математическое оптимальное программирование в экономике. – М.: Знание, 1968. – 96 с.
7. Кудрявцев Е. М. Комплексная механизация и автоматизация строительства. – М.: Стройиздат, 1989. – 246 с.
8. Морозов А. С., Тонких Г. П., Демидов К. А. Рекомендации по способам разборки поврежденных зданий и сооружений. – М.: 26 ЦНИИ МО РФ, 2007. – 127 с.
9. Побегайлов О. А. Инновационно-ориентированный подход к использованию городской земли // Инженерный вестник Дона, 2013. – № 2. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1721.
10. Таутиев И. М. Расчёт комплектов строительных машин для демонтажа зданий из сборных конструкций // Актуальные проблемы военно-научных исследований. – 2022. – № 51 (20). – С. 183-190.
11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023660552 Российская Федерация. Программа расчета комплекта машин для выполнения демонтажных работ при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: № 2023618689: заявл. 02.05.2023: опубл. 22.05.2023 / И. М. Таутиев, А. Н. Бирюков, А. С. Мокроусов [и др.]; заявитель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А. В. Хрулёва» Министерства обороны Российской Федерации. – EDN ACXDDV.

© Таутиев И. М.,2023

УДК 658.5.012.7

УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ С ПОМОЩЬЮ ТИКЕТ-СИСТЕМЫ

студент **Вергун Владислав Сергеевич,**
науч. руководитель: преподаватель **Кривоносова Наталья Викторовна,**
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
имени профессора М. А. Бонч-Бруевича,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассматривается применение тикет-системы для управления производственными процессами предприятия. В выбранное предприятие внедряется тикет-система и анализируются способы ее применения на каждом этапе производства, а также преимущества и недостатки использования данной системы.

Ключевые слова: тикет-система, производственные процессы, производство, управление.

PRODUCTION PROCESS MANAGEMENT WITH THE HELP OF TICKET SYSTEM

Student **Vergun Vladislav Sergeevich,**
Academic Advisor: Lecturer **Natalia Viktorovna Krivonosova,**
Saint Petersburg State University of Telecommunications
Professor M. A. Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. The paper deals with the application of a ticket system for managing production processes of an enterprise. A ticket-system is implemented in the selected enterprise and the ways of its application at each stage of production, as well as the advantages and disadvantages of using this system are analyzed.

Keywords: ticket-system, production processes, production, management.

Управление производственными процессами является важным аспектом эффективного функционирования предприятий в различных отраслях экономики. С течением времени технический прогресс и автоматизация производства становятся все более важными факторами успешного функционирования организации. Это привело к необходимости эффективного управления процессами и координации действий различных подразделений и сотрудников. В данной статье представлен анализ тикет-системы как инструмента управления производственными процессами. Тикет-система – это инструмент, организующий процесс отслеживания, управления и распределения ресурсов по задачам и позволяющий отслеживать ход выполнения работ с

помощью электронных билетов. Будут проанализированы преимущества и недостатки использования тикет-системы и рассмотрены практические примеры применения для в производственных процессах [1].

Для обзора применения тикет-системы в управлении производственными процессами выберем предприятие в Санкт-Петербурге. Данная компания является лидером российского рынка в области разработки, внедрения и сопровождения информационных систем для государственного сектора и частного бизнеса. Она занимается кроссплатформенной интеграцией, внедрением инновационных технологий для комплексной цифровой трансформации государства и бизнеса. Также оказывает услуги в области системной интеграции, внедрения бизнес-приложений, проектирования и построения IT-инфраструктуры, разработки сквозных цифровых технологий. Компания является экспертом в области искусственного интеллекта, бизнес-аналитики и анализа больших данных, виртуальной и дополненной реальности, робототехники, предлагая инновационные продукты для цифровой трансформации государства и бизнеса [2, 3]. Основная причина выбора данного предприятия – деятельность в области информационных технологий, активное сотрудничество с государством и другими компаниями, а также широкий спектр предлагаемых услуг и разрабатываемых программных продуктов.

Процесс разработки в компании представлен ниже (рис. 1):



Рисунок 1. Процесс разработки в компании

В процессе производственной деятельности компании можно выделить ряд стадий производства, на которых можно использоваться тикет-систему:

1. Составление заказа клиентом: возможность создания тикета через веб-интерфейс на сайте компании или по электронной почте вместо традиционных телефонных звонков или личных встреч. В таком тикете клиент указывает свои контактные данные, описывает свой запрос, выдвигает общие требования и выражает свои пожелания. Помимо этого, клиент может приложить все необходимые файлы и документы для более детального описания заказа.

2. Анализ заказа: на этом этапе осуществляется планирование производства, распределение ресурсов и задач между отделами компании. Тикет-система может использоваться для создания задач, назначения ответственных исполнителей, формирования групп, определения сроков и длительности прогресса выполнения.

3. Процесс разработки программного продукта: тикет-система позволяет отслеживать выполнение задач, напоминать о сроках выполнения, вести журнал событий и контролировать передачу исполненных задач между работниками или подразделениями.

4. Анализ и контроль процесса разработки: осуществляется мониторинг и анализ выполнения задач, а также контроль качества и соблюдения сроков. Для фиксации проблем, изменений и результатов, а также для обеспечения непрерывного улучшения процессов используется тикет-система. Она позволяет следить за ходом выполнения заказа и делать необходимые корректировки [3].

5. Завершение выполнения заказа: когда работа над определенным заказом окончена, тикет может быть помечен как завершенный, что упрощает составление отчетов и анализ проделанной работы. Такая система позволяет легко отслеживать, какие заказы уже выполнены, и обеспечивает удобную навигацию по истории предоставленных услуг.

6. Формирование отчета: в конце каждого периода компания может проводить анализ тикетов для определения эффективности работы отделов или отдельных сотрудников. Такой анализ также позволяет выявить наиболее часто возникающие проблемы или вопросы клиентов. В результате такого анализа можно оптимизировать деятельность компании и повысить качество предоставляемых услуг.

Далее следует рассказать о преимуществах и недостатках внедрения и использования тикет-системы предприятиями с целью управления производственными процессами (табл. 1) [4].

Таблица 1– Преимущества и недостатки тикет-системы

Преимущества	Недостатки
Улучшение коммуникации между отделами и сотрудниками	Необходимость обучения сотрудников использованию системы
Более эффективная координация работы и распределение задач	Возможность технических сбоев и ошибок в системе
Быстрый доступ к информации о задачах, сроках выполнения и прогрессе работ	Потенциальная зависимость от интернет-соединения и доступности системы
Улучшение прогнозирования и планирования производственных процессов	Возможность перегрузки информацией и недостаточной фильтрации
Более оперативная реакция на проблемы и задержки в работе	Потенциальная потеря данных или неверное заполнение тикетов
Улучшение отслеживания статуса заказов и поставок материалов	Необходимость постоянного обновления и поддержания системы
Увеличение прозрачности и доступности информации о производственных процессах	Возможность недостаточной адаптации системы к специфике предприятия

Исходя из вышесказанного, следует выделить некоторые рекомендации для внедрения подобной системы управления на предприятие. Поэтапный процесс внедрения тикет-системы в структуру производства описан ниже (рис. 2):

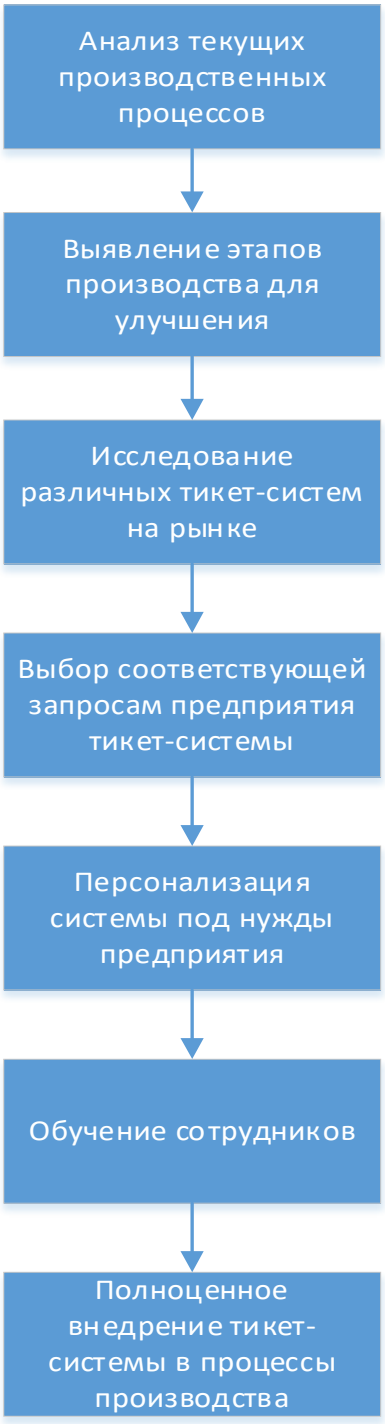


Рисунок 2. Процесс внедрения тикет-системы в структуру производства

На основе сказанного ранее можно выделить следующие рекомендации по внедрению системы тикетов:

Во-первых, перед внедрением тикет-системы важно провести анализ текущих производственных процессов и выявить основные проблемы и узкие

места, а точнее, какие конкретные задачи и этапы производства могут быть улучшены с помощью тикет-систем [5].

Во-вторых, исследуйте различные тикет-системы, которые уже имеются на рынке, и выберите ту, которая наилучшим образом соответствует требованиям и особенностям вашего предприятия. Учитывайте функциональность, гибкость настройки, удобство использования и возможность интеграции с другими системами, использующимися на вашем предприятии.

В-третьих, после анализа и выбора системы следует предоставить достаточное обучение сотрудникам по ее использованию. Обеспечьте поддержку и помощь сотрудникам в процессе внедрения и использования системы.

Кроме того, персонализируйте настройки тикет-системы, чтобы она соответствовала специфическим требованиям вашего предприятия. Установите правильные приоритеты, сроки выполнения, роли и ответственности для каждого типа задач [6]. Также следует разработать четкие процедуры и политики управления тикетами, чтобы обеспечить эффективное распределение задач, отслеживание прогресса и своевременное реагирование на проблемы и новые заказы, и установить систему уведомлений и напоминаний, чтобы сотрудники всегда были в курсе актуальной информации о задачах.

Подводя итог вышесказанному, можно сделать вывод, что использование тикет-системы в управлении производственными процессами может принести значимые преимущества. Использование данной системы позволяет эффективно управлять заявками и задачами, связанными с производством, упрощает коммуникацию между сотрудниками и улучшает контроль над ходом выполнения заданий. Тикет-система особенно полезна в условиях сложных производственных процессов, где важно иметь четкую структуру управления и мониторинга всех этапов производства. В данном исследовании была показана возможность оптимизации производственных процессов с помощью тикет-системы, что привело к снижению времени выполнения задач, улучшению взаимодействия между отделами и повышению общей производительности. Следует отметить, что внедрение тикет-системы требует значительных ресурсов и времени для обучения сотрудников и настройки системы под конкретные потребности организации. Более того, реализация тикет-системы требует поддержки со стороны руководства и активного участия всех сотрудников в процессе внедрения.

Список литературы:

1. Рейнгольд Л. А., Рейнгольд Е. А. Архитектура цифрового предприятия //SCVRT2018 Международная научная конференция Московского физико-технического института (государственного университета) Института физико-технической информатики. – 2018. – С. 203-211.

2. Назаренко М. А., Фетисова М. М. Разработка методов и средств управления производственными процессами и их результатами // Научное обозрение. – 2014. – №. 8-3. – С. 1155-1159.

3. Бахтадзе Н. Н., Потоцкий В. А. Современные методы управления производственными процессами // Проблемы управления. – 2009. – №. 3.1. – С. 56-63.
4. Месхи Б. Ч., Красюк И. А., Иванов В. Ю. Контроллинг как инструмент развития и управления производственными процессами предприятий сферы услуг и промышленности. – 2013.
5. Комов М. С. Современные цифровые технологии как инструмент развития транспортных систем ЕАЭС // Инновации и инвестиции. – 2020. – №. 3. – С. 74-77.
6. Витченко, О. В. Цифровизация работы с клиентами IT-компании с помощью on-line системы обработки заявок / О. В. Витченко, Н. Ю. Старобор. – Текст: электронный // Проблемы проектирования, применения и безопасности информационных систем в условиях цифровой экономики: Материалы XIX Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону, 28-29 октября 2019 года. – Под общей ред. Е. Н. Тищенко – С. 145-147. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_43785016_12029397.pdf/
(дата обращения: 10.11.2023).

© Вергун В. С., 2023

УДК 004.896

К ВОПРОСУ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СИНТЕЗА СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

канд. техн. наук, доцент **Соловьев Денис Сергеевич,**
Тамбовский государственный университет имени Г. Р. Державина,
г. Тамбов, Российская Федерация

Аннотация. В работе приводится контекстная диаграмма системы обработки информации для принятия решений, в которой рассмотрены входные и выходные данные, ограничивающие факторы и управляющие механизмы. Предложена структурная схема такой системы, для которой описаны функции основных блоков и рассмотрен информационный обмен между ними.

Ключевые слова: структурно-функциональный синтез, система, обработка информации, принятие решений.

ON THE ISSUE OF STRUCTURAL-FUNCTIONAL SYNTHESIS OF INFORMATION PROCESSING SYSTEMS FOR DECISION MAKING

PhD in Technology, Associate Professor **Solovjev Denis Sergeevich,**
Derzhavin Tambov State University,
Tambov, Russia

Abstract. The paper provides a context diagram of an information processing system for decision making, which considers input and output data, limiting factors and control mechanisms. A block diagram of such a system is proposed. The functions of the main blocks are described for the system and the information exchange between them is considered.

Keywords: structural-functional synthesis, system, information processing, decision making.

Для поддержки принятия решений при выборе наилучшей альтернативы необходимо руководствоваться актуальной и своевременной информацией, а также знаниями специалистов, экспертов в данной предметной области [1]. А для того, чтобы учесть все аспекты выбора, необходимо организовать соответствующую систему обработки информации таким образом, чтобы лицо, принимающее решение, смогло получить рекомендации и оценки экспертов, основанные на объективных знаниях.

Целью работы является структурно-функциональный синтез архитектуры системы обработки информации для принятия решений.

Синтез архитектуры системы обработки информации для принятия решений представляет собой сложный процесс, включающий анализ и описание структуры системы, ее функций и связей между ними.

На рисунке 1 представлена функциональная диаграмма системы [2].

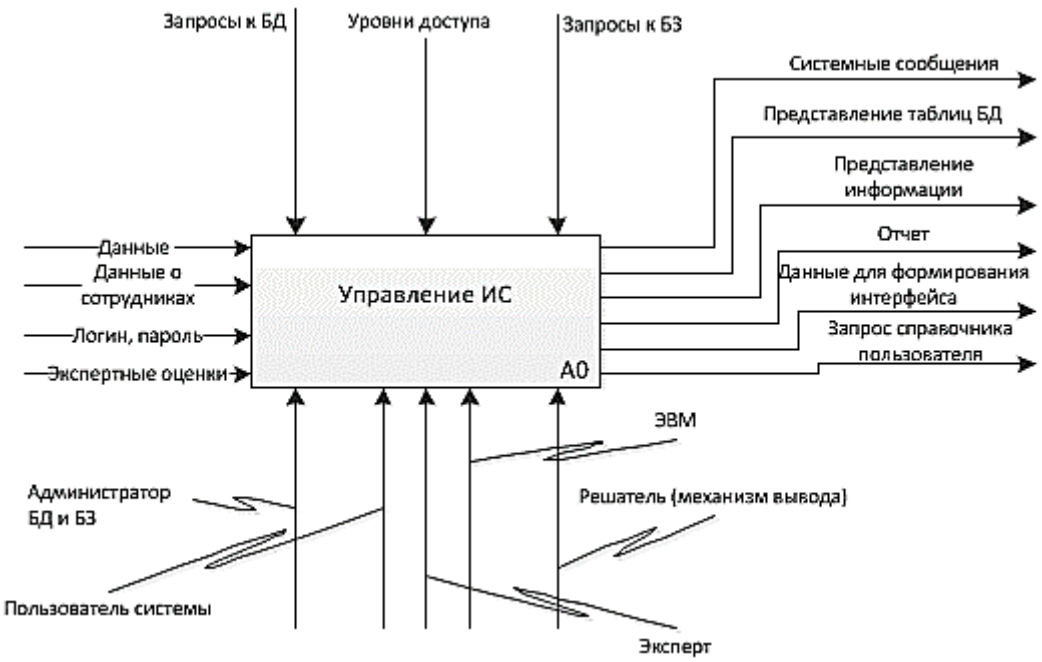


Рисунок 1. Функциональная диаграмма системы обработки информации для принятия решений

В качестве входных данных для системы выступают персональные данные пользователя, необходимые для регистрации, авторизации и разграничения прав доступа, данные об альтернативах (технические характеристики, описание, фото и т. д.) и экспертные оценки (факты для базы знаний).

В качестве ограничивающих факторов выступают: запросы к базам данных (БД) и знаний (БЗ) и уровни доступа [3].

Управляющим механизмом по правам доступа может являться пользователь, администратор, эксперт. Решатель на основе математического алгоритма выбора [4], при помощи вычислительных средств электронно-вычислительной машины (ЭВМ) формирует последовательность вывода данных из баз.

Выходные данные содержат следующую информацию: системные сообщения (ошибки, предупреждения), представление таблиц БД и результатов выбора.

Структурная схема системы обработки информации для принятия решений показана на рис. 2.

В системе предлагается выделить следующие функциональные блоки:

– ввода и редактирования данных для регистрации и авторизации пользователей, наполнения блока хранения данных (БД и БЗ);

– хранения данных содержит информацию, используемую в процессе принятия решений в БД и БЗ;

– формирования и визуализации отчетности для хранения правил сортировки и вывода информации, содержащий математическую модель для выбора альтернатив, формирования отчетности при выполнении различных запросов пользователя к БД и БЗ, а также просмотра необходимой информации при работе с ними.

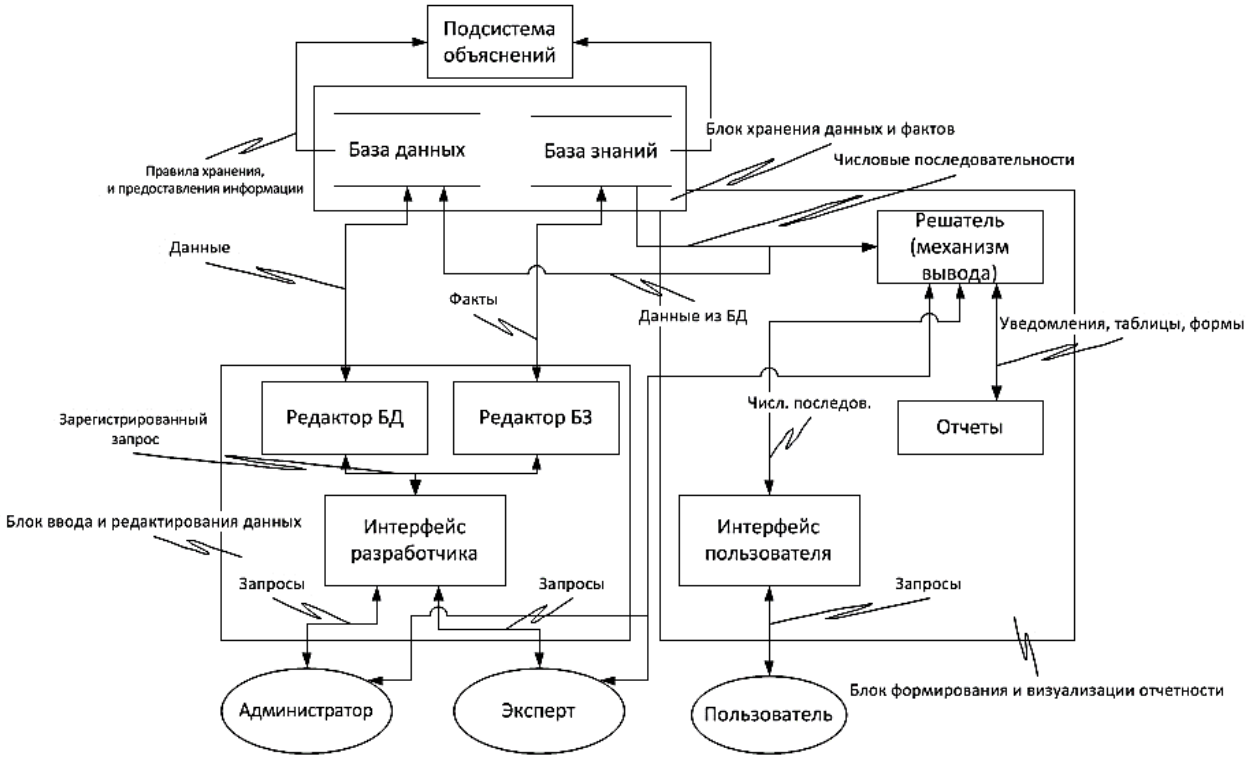


Рисунок 2. Структурная схема системы обработки информации для принятия решений

Интерфейс пользователя для работы с системой при решении проблемы формулирования целей целесообразно организовать по типу диалога «вопрос – ответ». Интерфейс разработчика для пользователя, выступающего в роли эксперта, предназначен для внесения данных и фактов по конкретным альтернативам в БД и БЗ [5].

Информационный обмен в блоках системы реализован следующим образом (см. табл. 1).

Таблица 1 – Схема информационного обмена между блоками

Блоки	Ввода и редактирования данных	Хранения данных	Формирования и визуализации отчетности
Ввода и редактирования данных	–	X	–
Хранения данных	X	–	X
Формирования и визуализации отчетности	–	X	–

Система обработки информации для принятия решений реализует следующие основные функции:

1) управляет процессом ввода и обработки данных:

– создание, редактирование и удаление данных в БД и БЗ;

– формирование последовательности заполнения полей БД;

– определение и изменение расписания процессов ввода и обработки данных;

– формирование БЗ на основе фактов, вводимых экспертом при заполнении БД.

2) управляет выводом результатов при выполнении пользовательских запросов:

– получение данных о конкретной альтернативе;

– получение перечня альтернатив с описанием их технических характеристик.

3) управляет процессом регистрации и авторизации пользователей:

– регистрация пользователей на основе их личных данных (логина, пароля, электронной почты).

4) протоколирует результаты ввода, вывода и изменения данных:

– оперативное извещение пользователя обо всех штатных и нештатных ситуациях в процессе своей работы.

Современные информационные технологии позволяют автоматизировать процесс обработки данных, что значительно ускоряет и упрощает принятие решений. Предложенный структурно-функциональный подход можно использовать в построении предметно-ориентированных систем обработки информации, работа которых станет более эффективной и точной, что повысит качество принимаемых решений и улучшает весь процесс в целом. Это достигается за счет использования модульной структуры, позволяющей легко добавлять или удалять компоненты в зависимости от потребностей, настройки основных блоков (ввода, редактирования и хранения данных, формирования и визуализации отчетности) системы и оптимизации их для конкретных задач.

Список литературы:

1. Орлов, А. И. Теория принятия решений: учебник. – М.: Экзамен, 2006. – 656 с. – Текст: непосредственный.

2. Методология функционального моделирования IDEF0. Руководящий документ РД IDEF0-2000. – М.: Госстандарт России, 2000. – 75 с. – Текст: непосредственный.

3. Малыхина, М. П. Базы данных: основы, проектирование, использование. – СПб.: BHV, 2007. – 528 с. – Текст: непосредственный.

4. Катулев, А. Н. Математические методы в системах поддержки принятия решений / А. Н. Катулев, Н. А. Северцев. – М.: Высшая школа, 2005. – 312 с. – Текст: непосредственный

5. Джарратано Д., Райли Г. Экспертные системы. Принципы разработки и программирование. – М.: Изд. Вильямс, 2011. – 775 с. – Текст: непосредственный.

© Соловьев Д. С., 2023

УДК 519.25

ПРОВЕРКА СТАТИСТИЧЕСКИХ ГИПОТЕЗ С ПОМОЩЬЮ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON

студент **Киселёв Андрей Алексеевич**,
науч. руководитель: ст. преподаватель **Леонова Надежда Львовна,**
Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В данной статье рассматривается принцип проверки статистических гипотез для прикладных задач. Особое внимание уделяется выбору статистического теста и его практической реализации средствами высокоуровневого языка программирования Python и его встроенных библиотек.

Ключевые слова: статистический тест, нормальное распределение, гипотеза, статистика, дата-фрейм.

STATISTICAL HYPOTHESIS TESTING USING THE PYTHON PROGRAMMING LANGUAGE

Student **Kiselev Andrey Alekseevich,**
Academic Advisor: Senior Lecturer **Leonova Nadezhda Lvovna,**
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. This paper deals with the principle of statistical hypothesis testing for applied problems. Special attention is paid to the choice of statistical test and its practical realization by means of high-level programming language Python and its built-in libraries.

Keywords: statistical test, normal distribution, hypothesis, statistics, date-frame.

В наше время объем данных в мире растет с колоссальной скоростью, и часто у нас возникают вопросы, на которые мы хотели бы получить быстрый ответ на основе уже имеющейся информации. В этом контексте проверка статистических гипотез представляет собой мощный инструмент. Однако, некоторые могут считать, что этот процесс сложен и требует множество вычислений. Но с увеличением объема данных растет и количество, и качество инструментов для его обработки и дальнейшего анализа.

Основная цель проверки статистических гипотез – определить, являются ли различия или эффекты, указанные в гипотезе, статистически значимыми или

же они могли возникнуть случайно. Это важно для принятия обоснованных решений на основе данных.

Процесс проверки статистических гипотез следующий:

Формулировка гипотезы: сначала необходимо сформулировать нулевую гипотезу (H0) и альтернативную гипотезу (H1). Нулевая гипотеза представляет собой некоторое утверждение или предположение, которое формулируется на начальном этапе исследования. Альтернативная гипотеза представляет собой альтернативное утверждение к нулевой гипотезе [1]. Она выражает идею о том, что существуют статистически значимые различия, эффекты или взаимосвязи в данных. Примеры нулевой и альтернативной гипотез:

H0: Выборки не имеют статистически значимой разницы;

H1: Нельзя принять нулевую гипотезу, выборки различны.

Сбор данных: Данный пункт включает в себя подготовку данных из выборки или генеральной совокупности в нужном формате для дальнейшего проведения статистических тестов.

Выбор статистического теста:

1. Первый шаг в выборе статистического теста – определение типа данных и цели исследования. Например, для сравнения средних значений двух выборок используются различные тесты в зависимости от типа данных и цели исследования.

2. Далее необходимо оценить размер выборки и распределения данных. Нормальность распределения можно оценить несколькими способами, например, с помощью критерия Шапиро-Уилка. Критерий основан на оптимальной линейной несмещенной оценке дисперсии к ее обычной оценке методом максимального правдоподобия.

3. Впоследствии необходимо установить количество выборок и проверить их на зависимость/независимость.

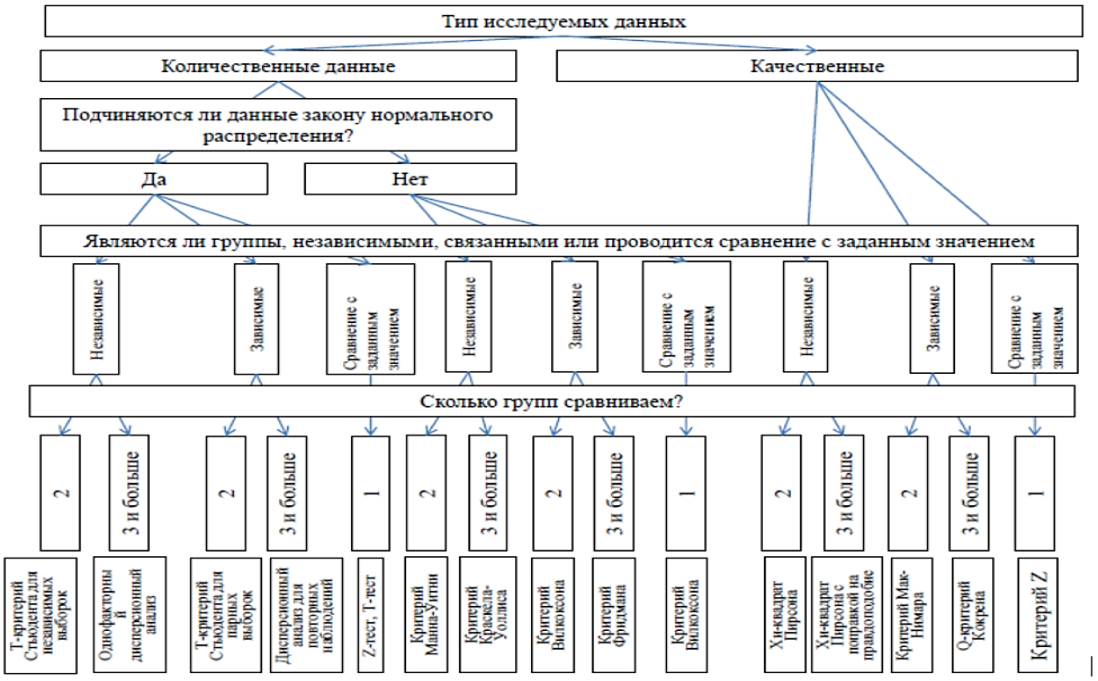


Рисунок 1. Таблица выбора статистического теста [3]

Для рассмотрения прикладной задачи применения статистических тестов были запрошены данные предоставленные по результатам проведения БИОС школ с 2001 до 2019 года. Файл 1048575 строк и 50 столбцов, содержащих информацию о водных объектах. Огромное количество строк обусловлено тем, что Excel файл содержит пустые строки.

Из-за избыточности данных для данного примеры мною было оставлено 3 показателя: мутность, запах, температура.

```
Data columns (total 9 columns):
 #   Column                      Non-Null Count  Dtype
---  ------                      --------------  -----
 0   Тип ВО                      1781 non-null   object
 1   Название ВО                 1781 non-null   object
 2   Место отбора                1474 non-null   object
 3   Год                         1781 non-null   float64
 4   Месяц                       1781 non-null   object
 5   Число                       1781 non-null   float64
 6   Температура воды. градус С  1012 non-null   object
 7   Мутность. ЕМФ               1597 non-null   object
 8   Запах. баллы                1231 non-null   float64
dtypes: float64(3), object(6)
memory usage: 72.0+ MB
```

Рисунок 2. Информация о дата-сете

На рисунке 2 можно увидеть, сколько ненулевых строк содержит в себе дата-фрейм, а также тип данных по каждому столбцу.

На данном этапе проведение стат. теста не является осуществимым, сначала необходимо произвести обработку данных.

Столбцы «Температура» и «Мутность. ЕМФ» имеют тип данных object (строка), так как файл заполнялся вручную, многие строки имеют знаки «>», «<», «°С». Стат. тесты возможно проводить лишь с числовым форматом данных, поэтому была создана функция (рис. 3), очищающая значения от данных знаков. После тип данных у обоих столбцов был переведен числовой с плавающей точкой.

```python
def format_number(number):
    if number is None or pd.isna(number):
        return 'NaN'
    return str(number).strip('<>+').replace(' ', '')

df['мутность'] = df['мутность'].apply(format_number)
df['температура'] = df['температура'].apply(format_number)
```

Рисунок 3. Функция удаления нежелательных знаков

Следующим шагом было выбрано 2 озера с наибольшим количеством записей: «Придорожное» и «Серебряное». Данные об обзере «Нижнее Суздальское» содержат большое количеством пропусков, поэтому было решено не брать его для проведения стат. тестов.

Придорожное	87
Нижнее Суздальское	84
Серебрянное	72
Верхнее Суздальское	64
Щучье	58

Рисунок 4. Распределение записей по озерам

Далее было рассмотрено распределение среднего значения каждого показателя по годам. Можно утверждать, что замеры происходили в одно и то же время, что добавляет уверенности в адекватности результата стат. теста.

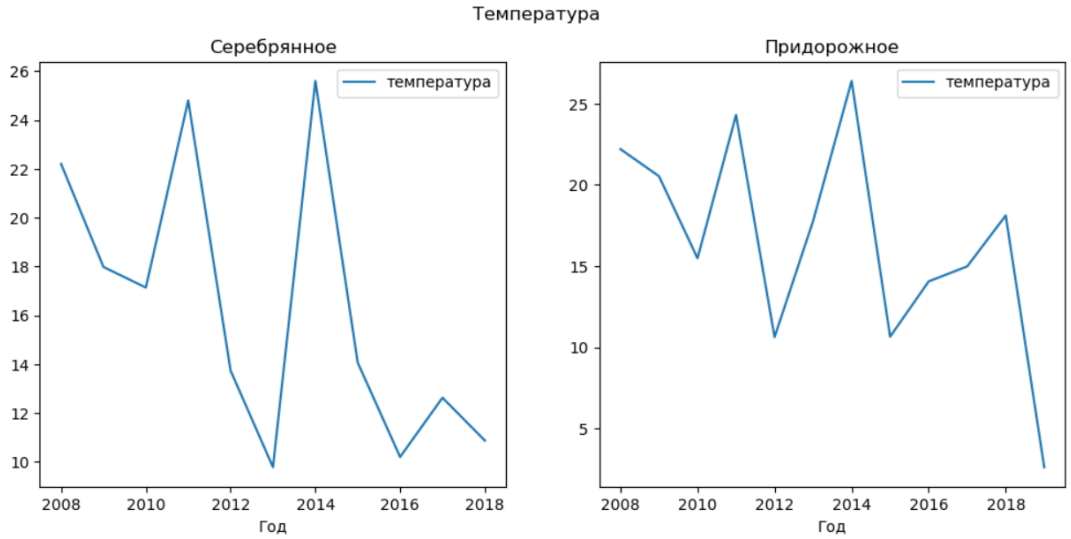


Рисунок 5. Распределение среднего значения температуры по годам

Впоследствии было рассмотрено распределение значений по каждому из столбцов. Уже на данном этапе можно утверждать, что распределение не является нормальным, но для точности необходимо провести стат. тесты на нормальность распределения по критерию Шапиро-Уилка.

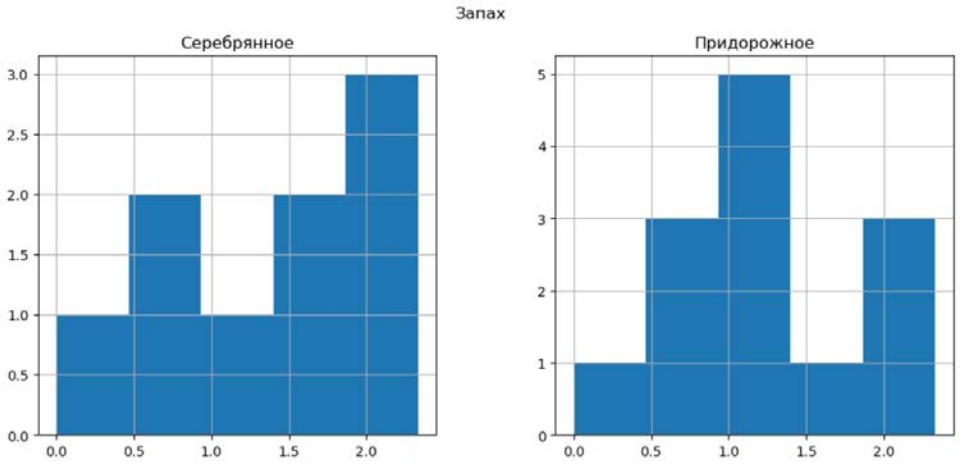


Рисунок 6. Распределение значений запаха

Python имеет библиотеку scipy для проведения данного теста [4]. Нулевая и альтернативная гипотезы имеют вид:

H0: Распределения является нормальным.

H1: Распределение не является нормальным.

Таблица 1 – Результаты проверки данных оз. Серебрянное на нормальность

Тест на нормальность распределения данных о запахе оз. Серебрянное: p-value: 3.7557181258307537e-06 Распределение не является нормальным
Тест на нормальность распределения данных о мутности оз. Серебрянное: p-value: 1.4310765029598715e-12 Распределение не является нормальным
Тест на нормальность распределения данных о температуре оз. Серебрянное: p-value: 5.10438781020639e-07 Распределение не является нормальным

Таблица 2 – Результаты проверки данных оз. Придорожное на нормальность

Тест на нормальность распределения данных о запахе оз. Придорожное: p-value: 3.7557181258307537e-06 Распределение не является нормальным
Тест на нормальность распределения данных о мутности оз. Придорожное: p-value: 1.4310765029598715e-12 Распределение не является нормальным
Тест на нормальность распределения данных о температуре оз. Придорожное: p-value: 5.10438781020639e-07 Распределение не является нормальным

По результатам статистических тестов на нормальное распределение можно сделать вывод, что ни один признак не имеет нормального распределения.

Теперь для сравнения двух признаков необходимо выбрать нужный статистический тест. Руководствуясь полученными данными, был выбран тест U-тест Манна-Уитни. Библиотека Scipy также имеет возможность проведения данного теста [5]. Стат. тесты также будут проводиться по каждому из 3-х признаков. Общий вид нулевой и альтернативной гипотез будут иметь вид:

H0: Выборки не имеют статистически значимой разницы.

H1: Между выборками имеется статистически значимая разница.

Таблица 3 – результаты проведения статистических тестов

Статистика теста: 1250.0 p-value: 1.0 Не получилось отвергнуть нулевую гипотезу, нет оснований считать выборки разными
Статистика теста: 2112.5 p-value: 1.0 Не получилось отвергнуть нулевую гипотезу, нет оснований считать выборки разными
Статистика теста: 1352.0 p-value: 1.0 Не получилось отвергнуть нулевую гипотезу, нет оснований считать выборки разными

По результату стат. теста можно сделать вывод, что различия в признаках «запах», «температура», «мутность» появились случайным образом. То есть озеро Серебряное и Придорожное схожи по этим признакам.

Таким образом, проводя статистические тесты, можно получить ответы на волнующие нас вопрос, а с применением средств языка программирования Python и встроенных библиотек весь процесс получения результатов становится достаточно быстрым.

Список литературы:

1. Мир статистических гипотез: [сайт]. – 2021. – URL: https://habr.com/ru/articles/558836/ (дата обращения 17.11.2023). – Текст: электронный.
2. Статистическая обработка: [сайт]. – 2022. – URL: https://schpnd.ru/blog/statisticheskaja-obrabotka-dannyh-osnovnye-metody (дата обращения 17.11.2023). – Текст: электронный.
3. Выбор статистического критерия для тестирования гипотез: [сайт]. – 2019. – URL: https://lit-review.ru/biostatistika/vybor-statisticheskogo-kriteriya/ (дата обращения 18.11.2023). – Текст: электронный.
4. scipy.stats.shapiro: [сайт]. – 2016. – URL: https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.stats.shapiro.html (дата обращения 20.11.2023). – Текст: электронный.
5. scipy.stats.mannwhitneyu: [сайт]. – 2016. – URL: https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.stats.mannwhitneyu.html (дата обращения 20.11.2023). – Текст: электронный.

© Киселёв А. А., 2023

УДК 621.313.13

АНАЛИЗ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ АСИНХРОННЫХ МАШИН

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

Аннотация. Увеличение энергоэффективности приводных систем является актуальной задачей. В асинхронных приводах одним из способов увеличения КПД может являться использование преобразователя частоты. Использование общепромышленных двигателей совместно с преобразователем частоты зачастую приводит к выходу из строя двигателя. Для работы с преобразователем частоты необходимо использование асинхронных двигателей для частотного регулирования, которые хоть и не кардинально, но отличаются от общепромышленных.

Ключевые слова: частотно-регулируемый привод, асинхронный двигатель, преобразователь частоты, охлаждение асинхронного двигателя, подшипниковые токи.

ANALYSIS OF FREQUENCY-CONTROLLED ASYNCHRONOUS MACHINES

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

Abstract. Increasing the energy efficiency of drive systems is an urgent task. In asynchronous drives, one of the ways to increase efficiency can be the use of a frequency converter. The use of general industrial motors in conjunction with a frequency converter often leads to engine failure. To work with a frequency converter, it is necessary to use asynchronous motors for frequency control, which, although not radically, differ from general industrial ones.

Keywords: variable frequency drive, asynchronous motor, frequency converter, asynchronous motor cooling, bearing currents.

В настоящее время особо актуально использование в системах электроприводов асинхронных машин совместно с преобразователем частоты. Это обусловлено возможностью значительно повысить общий КПД системы, надёжность и срок службы оборудования, возможностью автоматизации и

управлением параметрами системы. Преобразователь частоты используется для преобразования переменного тока промышленной частоты в переменный ток, требуемый для питания электродвигателя согласно условиям системы.

Для использования в системе преобразователя частоты необходимо, чтобы двигатель имел возможность работать в паре с преобразователем. Таким образом, асинхронные машины могут быть разделены на общепромышленные и частотно-регулируемые [1].

Отличия частотно-регулируемых двигателей и общепромышленных заключаются в *усилении изоляции обмоток*, *балансировке ротора, охлаждении и подшипниках*.

Согласно многочисленным исследованиям, основной причиной отказа двигателя в системах с частотным регулированием является повреждение *изоляции статора*, связанное с пробоем межвитковой изоляции [2].

Современные преобразователи частоты оснащаются транзисторами, которые способны производить коммутацию со скоростью до десятков наносекунд. Прямоугольные импульсы, создаваемые инвертором тока, имеют значительную крутизну. Высокочастотные переходные процессы, происходящие во время коммутации транзисторов, приводят к повышению межвиткового напряжения, которое не распределяется равномерно между витками, а зависит от времени нарастания импульсов инвертора, конструктивных параметров и питающего кабеля [3].

В связи с увеличением межвиткового напряжения в двигателях с частотным регулированием повышенные требования к изоляции обмотки статора.

Балансировка ротора – это операция по устранению дисбаланса путём добавления уравновешивающих масс. Задачей балансировки является нахождение величины и места установки одной или нескольких уравновешивающих масс. Балансировка ротора проводится на стадии изготовления машин, обычно обеспечивает получение приемлемых уровней вибрации машины в процессе её эксплуатации. Двигателям, работающим от преобразователя частоты, требуется более точная балансировка. Это обусловлено тем, что асинхронные двигатели для частотного регулирования способны работать на частоте, превышающей номинальную, то есть и скорость вращения ротора будет превышать номинальные значения.

Для двигателей с частотным регулированием требуется большее *охлаждение*, так как при работе на низких частотах эффективность собственного вентилятора также низка [4], из-за этого данные двигатели должны снабжаться автономными вентиляторами-наездниками со своим приводом, которые изображены синим цветом (рис. 1).

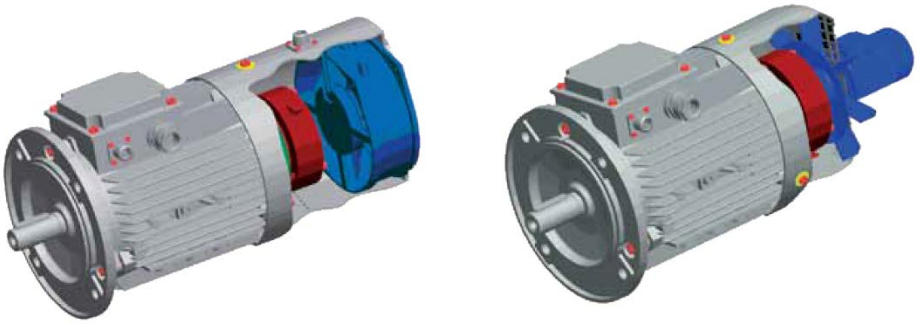


Рисунок 1. Пример вентиляторов-наездников, применяемых для дополнительного охлаждения асинхронного двигателя

На общепромышленных асинхронных двигателях вентилятор устанавливается на задней части вала. Таким образом, вращение вентилятора происходит совместно с валом двигателя, а из-за работы от сети 50/60 Гц скорость вращения крыльчатки вентилятора будет достаточной для охлаждения двигателя. В то время как на машинах для частотного регулирования может быть режим работы на низкой частоте, то есть и частота вращения крыльчатки вентилятора будет низкой, что приведет к перегреву двигателя и дальнейшему его разрушению или ускорению старения материалов изоляции.

Вентилятор-наездник слева (рис. 1) автономный, его работа обеспечивается за счёт подведения к нему напряжения, в то время как вентилятор-наездник справа (рис. 1) оснащен вязкостной муфтой, которая при переходе двигателя на частоту работы, близкой к номинальной, переключает привод крыльчатки с двигателя вентилятора на привод валом асинхронного двигателя. Выбор одного из типов вентиляторов-наездников должен быть осуществлен в соответствии с условиями работы.

Высокочастотные коммутации в преобразователях частоты являются причиной подшипниковых токов. Одним из способов устранения причины возникновения электрического напряжения в *подшипнике качения* является использование токоизолирующих подшипников. Индуцированное напряжение вдоль вала приводит к электрической цепи, проходящей через оба подшипника (рисунок 2).

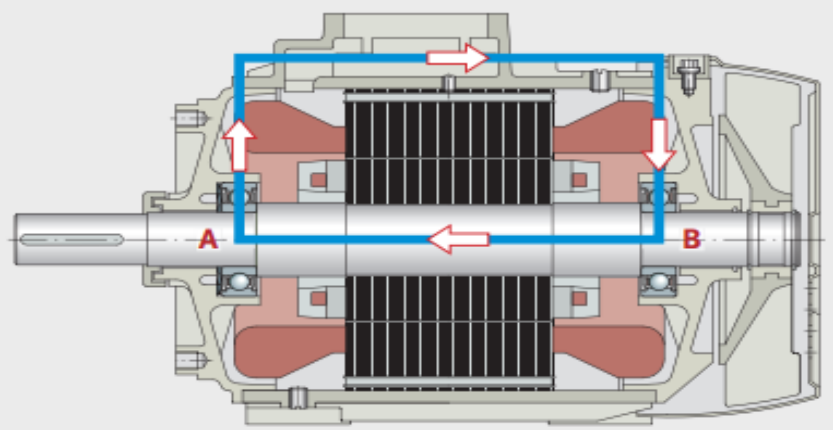


Рисунок 2. Электрическая цепь через два подшипника

Несимметричное распределение магнитного потока в двигателе является причиной появления электрической цепи через подшипники и вал, такое явление распространено на двигателях с малым количеством пар полюсов. В данном случае изолирование одного из подшипников поможет избавиться от напряжения на подшипниках. Обычно изолируется подшипник со стороны вентилятора.

При возникновении напряжения между валом и корпусом токи через оба подшипника будут протекать в одном направлении (рисунок 3). Такое протекание тока возникает из-за синфазного напряжения преобразователя частоты. В данном случае необходима изоляция обоих подшипников.

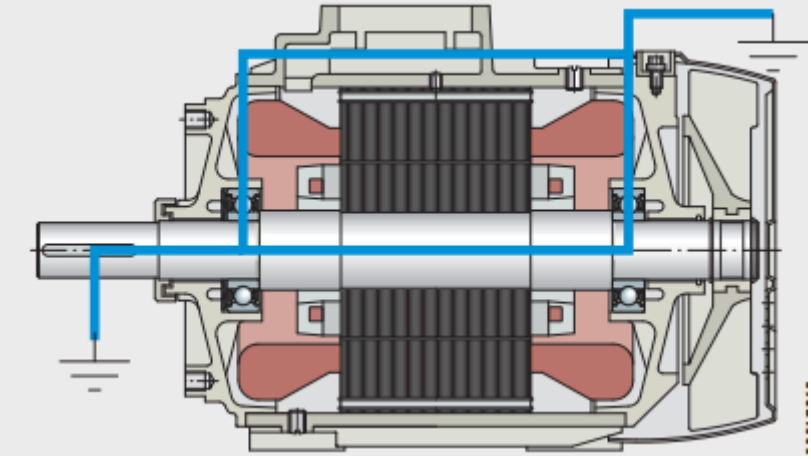


Рисунок 3. Протекание тока при напряжении между валом и корпусом

Главным критерием выбора токоизоляции является характеристика приложенного напряжения. При постоянном и медленно изменяющемся переменном напряжении наблюдается омическое сопротивление, а при переменном напряжении повышенной частоты – емкостное сопротивление подшипника [5].

В качестве токоизолирующих подшипников используют подшипники с керамическими телами качения (рисунок 4), такие подшипники имеют значения сопротивлений, измеряемые десятками ГигаОм, а электроёмкость измеряется в пикофарадах, что исключает возникновение протекания тока через вал и подшипники.



Рисунок 4. Подшипники с керамическими телами качения

Подводя итог, можно сказать, что асинхронные двигатели для частотного регулирования пусть и не кардинально, но отличаются от общепромышленных. Использование общепромышленных двигателей в паре с частотным преобразователем во многих случаях является недопустимым и может привести к разрушению двигателя.

Список литературы:

1. Чем частотно-регулируемые асинхронные двигатели должны отличаться от общепромышленных: [сайт]. – 2023. – URL: https://privod.ru/articles/what-frequency-controlled-asynchronous-motors-should-be-different-from-the-general-industry%3F/?ysclid=lotqn51z3b418079420 (дата обращения: 07.11.2023). – Текст: электронный.
2. Беспалов, А. В. Проектирование асинхронного двигателя общего назначения с короткозамкнутым ротором: учебное пособие / А. В. Беспалов. – Нижневартовск: Издательство НГГУ, 2020. – 156 с. – Текст: непосредственный.
3. Евсиков, А. А. Автоматизированный электропривод с частотным управлением: учебное пособие/ А. А. Евсиков, В. А. Коковин, А. П. Леонов – Дубна: Типография Государственный университет «Дубна», 2020. – 124 с. – Текст: непосредственный.
4. Галушко, В. Н. Расчёт асинхронных двигателей: учебное пособие / В. Н. Галушко, И. С. Евсадев, В. А. Пацкевич, А. В. Дробов – Гомель: Типография БелГУТ, 2019. – 174 с. – Текст: непосредственный.
5. Керамические и гибридные подшипники: [сайт]. – 2023. – URL: https://themechanic.ru/keramicheskie-i-kombinirovannie-podshipniki/?ysclid=lou47bgret296486121 (дата обращения: 10.11.2023). – Текст: электронный.

© Мансуров Д. О., 2023

УДК 681.5

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ

студент **Дорофеева Ксения Игоревна,**
науч. руководитель: доцент **Горобченко Станислав Львович,**
Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Статья посвящена применению искусственного интеллекта (ИИ) в системах автоматизации производства. Описаны преимущества и потенциал таких средств, включая повышение эффективности, улучшение качества, сокращение времени процессов и снижение затрат. Рассмотрены такие аспекты, как автоматическое управление и регулирование параметров, адаптивность и самообучение систем, функции диагностики и мониторинга, а также возможности передачи и обработки данных в реальном времени.

Ключевые слова: интеллектуальные средства автоматизации, искусственные нейронные сети, интеллектуальные датчики, нечеткие системы, АРС-система, интеллектуальные SCADA-системы.

FUNCTIONAL CAPABILITIES OF MODERN INTELLIGENT AUTOMATION TOOLS

Student **Dorofeeva Ksenia Igorevna,**
Academic Advisor: Associate Professor **Gorobchenko Stanislav L'vovich,**
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint-Petersburg, Russian Federation

Abstract. The article is devoted to the application of artificial intelligence (AI) in manufacturing automation systems. The advantages and potential of such tools are described, including increased efficiency, improved quality, shorter process times and lower costs. Such aspects as automatic control and regulation of parameters, adaptability and self-learning of systems, diagnostic and monitoring functions, as well as real-time data transmission and processing capabilities are considered.

Keywords: intelligent automation, artificial neural networks, intelligent sensors, fuzzy systems, APC-system, intelligent SCADA-systems.

На сегодняшний день развитие науки и техники достигло такого уровня, когда становится уже реальным создание искусственного интеллекта, а именно – моделирование (имитация) возможностей и способностей человека, а также решение указанных основных задач с помощью программных и аппаратных

средств. Системы Искусственного интеллекта (ИИ) должны воспроизводить функции естественного интеллекта. Поэтому изучению систем ИИ должно предшествовать рассмотрение основных свойств и особенностей естественного интеллекта для того, чтобы понять и использовать свойства биологических систем для решения технических проблем. Кибернетическое изучение живого помогает раскрыть как общие законы функционирования сложных систем, так и частные свойства отдельных органов и организма в целом с точки зрения происходящих в живых существах информационных процессов и процессов управления.

Интеллектуальными компонентами систем управления являются промышленные компьютеры и контроллеры, а также датчики, исполнительные механизмы и клапаны.

Термин «интеллектуальные» употребляют в узком смысле по отношению к устройствам, которые за счет использования в них обработки информации приобретают новые функциональные возможности. Интеллект у датчиков и исполнительных устройств, как и у людей, проявляется в самых различных формах. Задача специалиста по автоматизированным системам — выбрать нужное «умное» устройство [1, 2].

Сравнительно недавно появилось и стремительно развивается новое поколение датчиков, исполнительных устройств и клапанов, в которых имеются встроенные контролеры, осуществляющие необходимые преобразования сигнала. Так, например, интеллектуальный датчик сам становится элементом вычислительной сети, поддерживающим сетевой протокол и передающим данные в цифровой форме. Часто в контроллере интеллектуального датчика производится предварительная цифровая обработка сигнала, например, коррекция систематической погрешности преобразователя, предварительная фильтрация случайных помех, а также контроль работоспособности. Все больше технических средств систем автоматизированного управления становятся цифровыми, в которых преобразования данных происходит непосредственно в цифровую форму, подготовленную к передаче по каналу связи.

Основная область применения интеллектуальных датчиков является промышленная автоматизация. Они играют важную роль в управлении и контроле процессов в промышленности, обеспечивая повышение производительности и эффективности работы.

Одним из основных преимуществ использования интеллектуальных датчиков в промышленной автоматизации является возможность получения точной и надежной информации о текущем состоянии оборудования и процессах. Это позволяет операторам и инженерам быстро реагировать на изменения и принимать соответствующие меры по оптимизации процессов.

Другим важным преимуществом является возможность использования интеллектуальных датчиков для мониторинга и предсказания состояния оборудования. Они могут анализировать данные и выявлять предпосылки к отказам и поломкам, что позволяет проводить профилактический ремонт и предотвращать простои.

Умные датчики также способствуют оптимизации энергопотребления в промышленности. Они могут контролировать и анализировать энергетические потоки, выявлять потребление энергии в различных процессах и оптимизировать его.

Применение интеллектуальных датчиков в промышленной автоматизации позволяет значительно улучшить безопасность работников и оборудования. Они могут контролировать параметры, такие как температура, давление и вибрация, и предупреждать о возможных опасных ситуациях.

Интеллектуальные датчики также обладают гибкостью и масштабируемостью, что позволяет их использовать в различных отраслях промышленности. Они могут быть настроены и программируемы в соответствии с потребностями конкретного процесса или оборудования.

Среди промышленных средств автоматизации получили применение интеллектуальные датчики температуры, давления и перепада давлений, уровня, плотности и др.

Интеллектуальные датчики температуры серии STT 3000 (рисунок 1) включают датчики STT-170, STT-250, STT-350, в которых реализованы следующие дополнительные к основным функции: возможности программирования и настройки с ПК, использование обширной библиотеки HCX датчиков температуры и интерфейсов промышленных шин FF и HART, дистанционная диагностика и обмен данными с удаленными устройствами, дистанционная настройка рабочего диапазона.



Рисунок 1. Интеллектуальные датчики температуры серии STT 3000

Интеллектуальные датчики давления компании Honeywell (рисунок 2) включают высоконадежные модульные датчики давления SmartLine. К числу дополнительных функций датчиков дифференциального, абсолютного и избыточного давлений серии ST 700 и ST 800 относятся: компенсация статического давления и температуры, электрические соединения без учета полярности, сертификация по стандартам SIL2/SIL3, удаленный дистанционный контроль и диагностика с пакетом Smart Connection Suite.



Рисунок 2. Интеллектуальные датчики давления компании Honeywell

Интеллектуальные датчики давления и уровня LD200 компании Smar (рисунок 3) обладают дополнительными функциями: термокомпенсация показаний, дистанционная корректировка нуля и диапазона измерений, цифровая связь по протоколам HART/FF/Profibus PA, повышенная надежность (степень защиты IP68, наработка на отказ 240 лет) [3].



Рисунок 3. Интеллектуальные датчики давления и уровня LD200 компании Smar

Интеллектуальными в системах автоматизированного управления могут быть и другие аппаратные компоненты – исполнительные клапаны.

Интеллектуальные клапаны, также известные как умные клапаны, представляют собой новое поколение управляемых устройств, которые обладают возможностью автоматического регулирования потока вещества (жидкости или газа) через трубопроводы или каналы. Они являются частью интеллектуальной автоматизации систем контроля и управления процессами.

Интеллектуальные клапаны оснащены датчиками, которые постоянно контролируют параметры потока и обеспечивают обратную связь с системой управления. Это позволяет автоматически регулировать расход вещества в соответствии с заданными параметрами или требованиями процесса. Они способны принимать решения и выполнять действия без участия оператора, что повышает эффективность и точность управления.

Одной из основных особенностей интеллектуальных клапанов является их способность адаптироваться к изменяющимся условиям работы. Они могут автоматически компенсировать изменения давления или температуры в системе, регулировать поток вещества в режиме реального времени и предотвращать возникновение аварийных ситуаций.

Умные клапаны (рисунок 4) также обладают функциями самодиагностики и самообслуживания. Они могут контролировать свое состояние, выявлять и предотвращать неисправности, а также предупреждать об их возможном возникновении. Это позволяет улучшить надежность и долговечность клапанов, а также снизить время простоя и затраты на обслуживание [4].

Более того, такие клапаны могут быть интегрированы в централизованные системы управления, что позволяет осуществлять контроль и мониторинг нескольких клапанов одновременно, а также оперативно анализировать данные и принимать соответствующие меры.

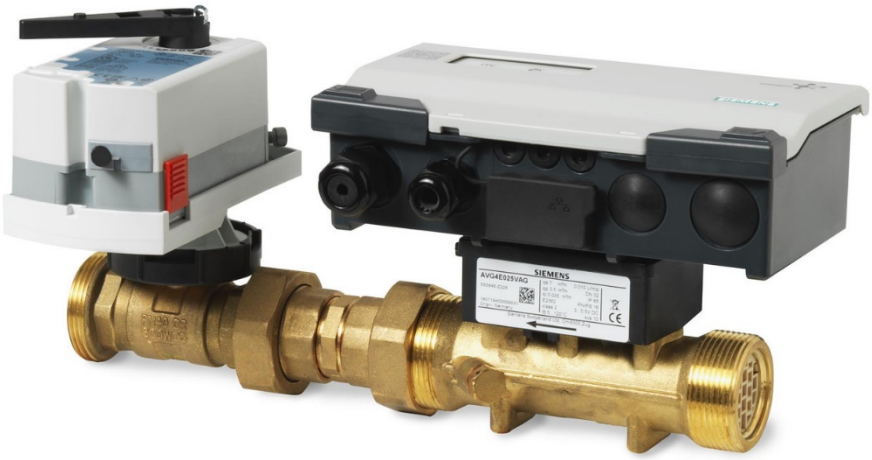


Рисунок 4. Интеллектуальный клапан

Особое место среди интеллектуальных средств автоматизации занимают интеллектуальные SCADA-системы и интеллектуальные информационно-измерительные системы (ИИИС). Компонентами интеллектуальных SCADA-систем (рисунок 5) являются: логико-лингвинистическая модель ситуации, нечеткая продукционная модель диагностирования, модель прогнозирования последствий развития аномальных ситуаций, модель оценки управляющих действий оператора. Помимо традиционных функций, интеллектуальные SCADA-системы выполняют дополнительные функции, а именно: ситуационный анализ состояния системы управления; логический анализ

аномальных ситуаций; диагностика состояния оборудования; прогноз поведения технологического процесса; выработка правомерных действий оператора. Функции ИИИС включают управляющие, вычислительные и сервисные функции. Управляющие функции предполагают управление переключением каналов и диапазонов измерения, управление вычислительными ресурсами, регистраторами, внешней памятью, средствами общения с оператором. Вычислительные функции включают распределенную обработку данных: калибровка, масштабирование, фильтрация, статистическая обработка и др. Сервисные функции предполагают обнаружение и локализацию неисправностей [5].



Рисунок 5. SCADA-система

В интеллектуальных системах управления используются языки и модели представления знаний: логические модели, семантические или когнитивные сети, фреймы и продукционные правила. Интеллектуализация системы заключается в алгоритмизации синтеза управляющих воздействий в режиме реального времени с учетом энергетических и качественных критериев управления.

Среди новых алгоритмов качественного критерия управления существует алгоритм APC-системы, под которым подразумевают комплекс математических методов и моделей, а также программного обеспечения, направленных на повышение эффективности управления. В систему управления входит регулятор с предсказанием на базе модели объекта (predict controller). Алгоритмы APC (MPC)-систем базируются на клиент-серверной системе передачи данных от APCрегулятора, находящегося в памяти сервера или удаленного компьютера и являющегося ведущим устройством, к ведомым ПИД-регуляторам, расположенным в памяти ПЛК. Регулятор с предсказанием поведения объекта на базе модели объекта (Predict Controller) работает как с линейными, так и с нелинейными объектами.

APC система устанавливается на ПК, связывается с ПЛК по OPC-серверу и таким образом представляет собой каскадную многомерную систему

управления, в которой АРС выступает как ведущий регулятор, а встроенные в ПЛК ПИД-регуляторы – как ведомые, а также с объектами с запаздыванием [6].

Таким образом, интеллектуальные приборы и системы управления, сформировавшие в последние годы отдельный класс средств автоматизации, базируются как на результатах обработки количественных данных традиционными методами, так и присущих интеллекту оператора-технолога с использованием алгоритмов экспертных систем, что придает им способность выполнения дополнительных функций. Интеллектуальные системы управления используют более совершенные алгоритмы управления, к числу которых относят алгоритмы адаптивного ПИД-регулирования одномерных и многомерных систем, нейросетевые и алгоритмы нечеткой логики, генетические алгоритмы, а также алгоритмы АРС-систем усовершенствованного управления (Advanced Process Control).

Список литературы:

1. Иванов, А. И. Применение искусственного интеллекта в современных системах автоматизации производства / А. И. Иванов // Информационные технологии и системы, 2019. – С. 43-49. – Текст: непосредственный.
2. ГОСТ Р 8.673-2009. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Основные термины и определения: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 декабря 2009 г. № 1098-ст: дата введения 2010-12-01. – М.: Стандартинформ, 2012. – 17 с. – Текст: непосредственный.
3. Завьялов, А. Интеллектуальные средства автоматизации и управления технологическими процессами / А. Завьялов, М. Удалов. – М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. – 86 с. Текст: непосредственный.
4. Константинов, С. В. Применение нейросетей в системах автоматизации производства / С. В. Константинов // Вестник машиностроения и техносферной безопасности, 2017. – С. 48-55. – Текст: непосредственный.
5. Петров, Д. Н. Интеллектуальные системы управления технологическими процессами / Д. Н. Петров // Технологии и технические средства автоматизации, 2016. – С. 59-60. – Текст: непосредственный.
6. Галушкина, Н. А. Искусственный интеллект в системах контроля и управления технологическими процессами / Н. А. Галушкина // Автоматизация проектирования и управления производством, 2015. С. – 89-95. Текст: непосредственный.

© Дорофеева К. И., 2023

УДК 681.5

АНАЛИЗ РОССИЙСКОГО РЫНКА КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

магистрант **Запылихина Алина Ринатовна**,
науч. руководитель: канд. тех. наук, доцент **Юсупова Ильвина Гамировна,**
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Институт нефтепереработки и нефтехимии,
г. Салават, Российская Федерация

Аннотация. Отечественный рынок контрольно-измерительных приборов в настоящее время очень изменчив, спрос растет, а основные поставщики приборов ушли в связи с санкциями и программой импортозамещения. В данной работе проведен анализ отечественного рынка контрольно-измерительных приборов в условиях импортозамещения, произведен сопоставительный анализ отечественных и зарубежных контрольно-измерительных приборов, а также рассмотрены основные проблемы при реализации программы импортозамещения.

Ключевые слова: рынок контрольно-измерительных приборов, импортозамещение, импортонезависимость, датчики давления, датчики температуры.

ANALYSIS OF THE RUSSIAN MARKET OF CONTROL-MEASURING DEVICES UNDER THE CONDITIONS OF IMPORT SUBSTITUTION

Master Student **Zapylikhina Alina Rinatovna,**
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor
Yusupova Ilvina Gamirovna,
Ufa State Petroleum Technological University,
Institute of Oil Refining and Petrochemistry,
Salavat, Russian Federation

Abstract. the domestic market of instrumentation is currently very volatile, demand is growing, and the main suppliers of instrumentation have left, due to sanctions and import substitution program. This paper analyzes the domestic market of instrumentation under the conditions of import substitution, made a comparative analysis of domestic and foreign instrumentation, and considered the main problems in the implementation of the import substitution program.

Keywords: market of control and measuring instruments, import substitution, import-independence, pressure sensors, temperature sensors.

Рынок контрольно-измерительных приборов (КИП) последние десятилетия активно развивается, внедряются новые технологии, заметен явный научно-технологический прогресс. С каждым годом количество промышленных

предприятий увеличивается, и большинство из них строятся по так называемым базовым проектам (БП). В данных проектах всегда есть рекомендуемое оборудование, в том числе и контрольно-измерительные приборы. Чаще всего БП принадлежат зарубежным компаниям, а следовательно, и рекомендуемое оборудование также является зарубежным.

В последние несколько лет, при уходе зарубежных компаний с российского рынка, стал актуальным вопрос об анализе отечественного рынка приборов КИП.

Основным из имеющихся исследований рынка контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИПиА) является исследование, проведенное маркетинговым агентством Роиф Эксперт.

По результатам данного исследования, в период 2022 года объем рынка КИПиА увеличился на 23 миллиарда рублей [1]. Данные показатели являются рекордными для отечественного рынка.

Этот показатель складывается из таких составляющих, как:

- уход иностранных компаний с российского рынка;
- большой объем закупки иностранного оборудования компаниями-представителями на склады отечественных производителей (компаний партнеров).

Опираясь на эти показатели, можно сделать вывод, что объем рынка также продолжит расти в ближайшее время.

Но, несмотря на положительный рост рынка, вопрос импортозамещения стоит одним из первых, при проектировании, ремонте и модернизации нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. Согласно политике импортозамещения, часть компаний не может использовать иностранные приборы КИПиА (при строительстве / модернизации производства), им необходимо обеспечить определённый процент приборов отечественного производителя. Поэтому им нужно подбирать отечественные аналоги. На данный момент подобрать отечественный прибор, отвечающий всем необходимым требованиям, остается сложной задачей [2].

Одним из главных преимуществ зарубежного оборудования является качество, проверенное временем. Многие иностранные производители активно работают на российском рынке на протяжении нескольких десятилетий, и в большинстве случаев работа их приборов (оборудования) была без нареканий [3].

При этом объем российского рынка контрольно-измерительного оборудования ежегодно рос на 3–4 %. Основными поставщиками являлись компании из Европы, Японии и США. На них приходилось около 80 % поставок

Российский рынок КИПиА занимал около 1,5 % мирового рынка приборов (рисунок 1) [4]. Поэтому санкции на российские компании не сильно отразились на зарубежных заказчиках. А вот обратная ситуация уже более сложная: огромный процент на российском рынке занимали зарубежные производители, и теперь требуется закрывать данный «пробел» отечественным оборудованием.

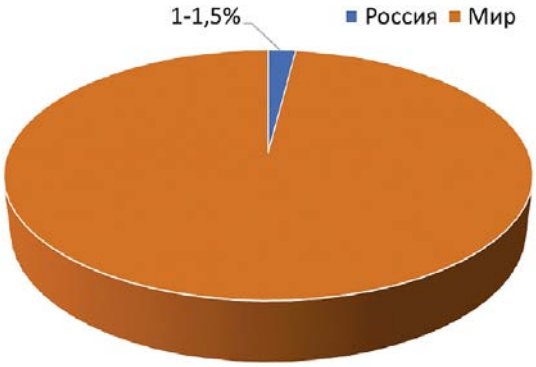


Рисунок 1. Рынок контрольно-измерительного оборудования в России

В данный момент азиатские компании уже заняли более трети рынка с явной тенденцией к росту. При этом доля поставок по параллельному импорту достаточно высока и сопоставима с долей азиатских вендоров. Это связано в первую очередь с тем, что заказчики не понимают всю сложность работы по параллельному импорту, не видят рисков. А риски высоки: поставки могут прекратиться в любой момент.

С меньшей скоростью развивается российское производство, на данный момент отечественные приборы могут закрыть 10–15 % спроса. При этом остаётся проблема в виде «незакрытого спроса» – 20–25 %. Это высокотехнологичные задачи, решаемые сложным дорогостоящим оборудованием (рис. 2) [4].

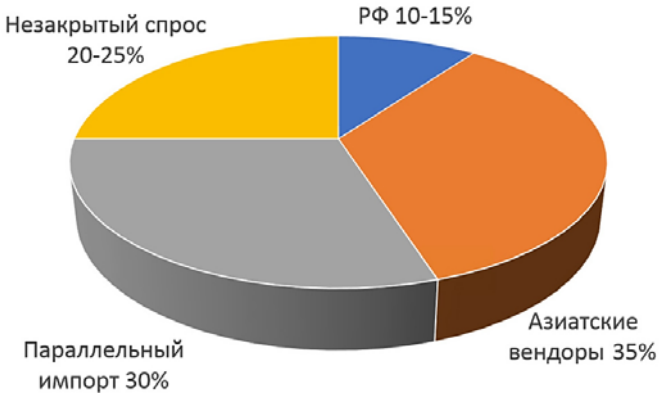


Рисунок 2. Структура российского рынка контрольно-измерительного оборудования на данный момент

Но несмотря на высокий «незакрытый спрос», многие отечественные компании поддерживают программу импортозамещения, внедряются новые технологии и предлагают свое оборудование, отвечающее всем необходимым характеристикам, взамен импортным.

Так, например, уже были проведены несколько исследований по изучению используемых датчиков температуры и давления в химической и нефтяной промышленностях. В ходе опроса нескольких компаний были составлены несколько рейтингов. В таблице 1 рассмотрены рейтинги датчиков давления в данных отраслях [5].

В связи с политикой импортонезависимости, отечественные производители датчиков давления занимают более устойчивые позиции по количеству установленных приборов.

В заключение проведенных анализов отечественного и зарубежных рынков можно сказать о том, что на данном этапе полное импортозамещение практически невозможно. Но на сегодняшний день простые приборы (манометры, термометры и т. п.) подобрать и заменить не составит труда, а политика импортонезависимости эффективна для достижения реализации разработки и проектирования сложного, аналитического оборудования в России. Необходимо лишь время для наладки процессов и увеличения объемов производства.

Список литературы:

1. Маркетинговое Агентство ROIF EXPERT // Рынок КИПиА в России (с видами), влияние санкций: исследование и прогноз до 2027 г. [сайт]. – URL: https://roif-expert.ru/mashinostroenie/raznoe-oborudovanie/rynok-kipia/rynok-kipia-v-rossii-obzor-i-prognoz.html (дата обращения: 05.04.2023).
2. Бикбулатов, М. М. Обзор российских компаний разработчиков программного обеспечения систем усовершенствованного управления технологическим процессом / М. М. Бикбулатов, М. Г. Баширов, Р. Г. Вильданов, И. Г. Юсупова // Наука. Технология. Производство – 2023: Материалы Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 75-летию ООО «Газпром нефтехим Салават». – 2023. – С. 149-151.
3. Медиаплатформа SBlogs [сайт]. – URL: https://www.sostav.ru/blogs/32702/33886 (дата обращения 01.04.3023).
4. Тюкаев Р. Р. Рынок контрольно-измерительного оборудования в России: работа в условиях жестких ограничений // Современная электроника. – 2023. – №4. – С. 58-63.
5. Обзорное исследование качества контрольно-измерительной аппаратуры по мнению потребителей // Союз нефтегазопромышленников России. Экспертно-аналитический центр [сайт]: URL: https://sngpr.ru (дата обращения: 05.04.2023).

© Запылихина А. Р., 2023

УДК 537.3

ЦИФРОВОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО: НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ПЕРЕДАЧУ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

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

Аннотация. Цифровое электричество является новым направлением в области энергетики, которое объединяет преимущества информационных технологий и электроэнергетики. В данной статье анализируются современные вызовы и проблемы, связанные с традиционным способом передачи электричества, а также предлагается цифровое электричество в качестве инновационной альтернативы.

Ключевые слова: цифровое электричество, электроэнергия, энергетика, передача данных, мощность, сети.

DIGITAL ELECTRICITY: A NEW LOOK AT ELECTRIC CURRENT TRANSMISSION

Student **Mazyarkin Dmitry Vladimirovich,**
Academic Advisor: Assistant **Ershov Kirill Konstantinovich,**
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint-Petersburg, Russian Federation

Abstract. Digital electricity is a new direction in the field of energy, which combines the advantages of information technology and electricity. This article analyzes the current challenges and problems associated with the traditional method of transmitting electricity, and also proposes digital electricity as an innovative alternative.

Keywords: digital electricity, electricity, energy, data transmission, power, grids.

На данный момент в мире используется два вида передачи электроэнергии: на постоянном токе и переменном. Однако прогресс не стоит на месте, и появляются всё новые разработки в области энергетики. Новым направлением, которое объединяет такие сферы, как информационные технологии и электроэнергетика, может послужить новый тип передачи электроэнергии – цифровое электричество (Digital Electricity).

Цифровое электричество означает интеграцию цифровых технологий в производство, то есть передачу и распределение электроэнергии. В отличие от традиционного электричества, которое основано на аналоговых методах, цифровое электричество использует цифровые сигналы для более эффективного и результативного распределения энергии.

Цифровая электроэнергия или цифровое электричество – это концепция, в которой передача и управление электроэнергией основаны на использовании цифровой информации. Цифровое электричество можно охарактеризовать как любой формат мощности, в котором электроэнергия распределяется в дискретных, контролируемых единицах энергии. Этот отличительный фактор цифровой системы передачи энергии по сравнению с традиционными аналоговыми энергосистемами позволяет электрической и отдельным единицам энергии быть связанными с аналоговой и/или цифровой информацией, которую можно использовать в целях оптимизации безопасности, эффективности, отказоустойчивости, управления или маршрутизации [1].

В феврале 2023 года была опубликована новая редакция Национального электротехнического кодекса (NEC). В новой статье (статья 726) представлены энергосистемы класса 4. Впервые за более чем 45 лет в книгу был добавлен новый класс мощности (класс 3 был добавлен в 1978 году).

Класс мощности 4 (CL4), также известный как системы питания с управлением при отказе. Данный класс применяется к энергосистемам, которые могут безопасно распределять мощность до 450 Вт, используя при этом методы, аналогичные методам прокладки низковольтной проводки. Передатчик, используемый в энергосистемах класса 4, ограничивает поток тока только на основе заранее определенных условий неисправности. Передатчик собирает и декодирует информацию о цепи в режиме реального времени и прерывает подачу энергии при возникновении любого из следующих состояний неисправности:

- В системе обнаружено аномальное состояние, такое как ненормальное напряжение, ток, форма сигнала или состояние нагрузки.
- Короткое замыкание
- Контакт с кожей человека на частях, находящихся под напряжением
- Состояние замыкания на землю
- Состояние перегрузки по току
- Преднамеренное замыкание линии на приемном или передающем конце с целью принудительного обесточивания в целях технического обслуживания или ремонта.

Электрики, инженеры, управляющие зданиями и даже домовладельцы в прошлом сталкивались с общей проблемой. Использование традиционного источника переменного тока и проводки может быть опасным. Затем появилось низковольтное решение, такое как Power over Ethernet (PoE). Но оно может быть очень дорогостоящим и непрактичным, когда для одной нагрузки требуется мощность более 100 Вт.

Power over Ethernet позволяет передавать электрическую энергию и данные по одному Ethernet-кабелю, используя стандартные сетевые порты. Она

предоставляет удобство и гибкость при подключении устройств к сети, особенно в местах, где доступ к электрической розетке ограничен или неудобен.

Основной принцип работы PoE состоит в том, что передача электричества осуществляется по средним проводникам Ethernet-кабеля, не затрагивая пары для передачи данных. Это значит, что в коммутаторе или инжекторе питания происходит инъекция энергии в сетевой кабель, а на стороне устройства она разделяется и преобразуется в требуемое напряжение. Данная технология работает на мощности до 100 Вт, а расстояние, на которое можно передавать энергию, не превышает 100 метров.

Работающее в соответствии с классом мощности 4, цифровое электричество объединяет данные и питание постоянным током в пакеты, которые передаются и принимаются аналогично тому, как пакеты данных передаются по корпоративным сетям. Он передает высокие уровни мощности по кабелю, не являющемуся силовым. Для полноценной системы требуются передатчики и приемники. Данная технология позволяет передавать мощности до 2000 Вт на расстояние до 2000 метров, что существенно больше, чем у предшествующей технологии PoE [2].

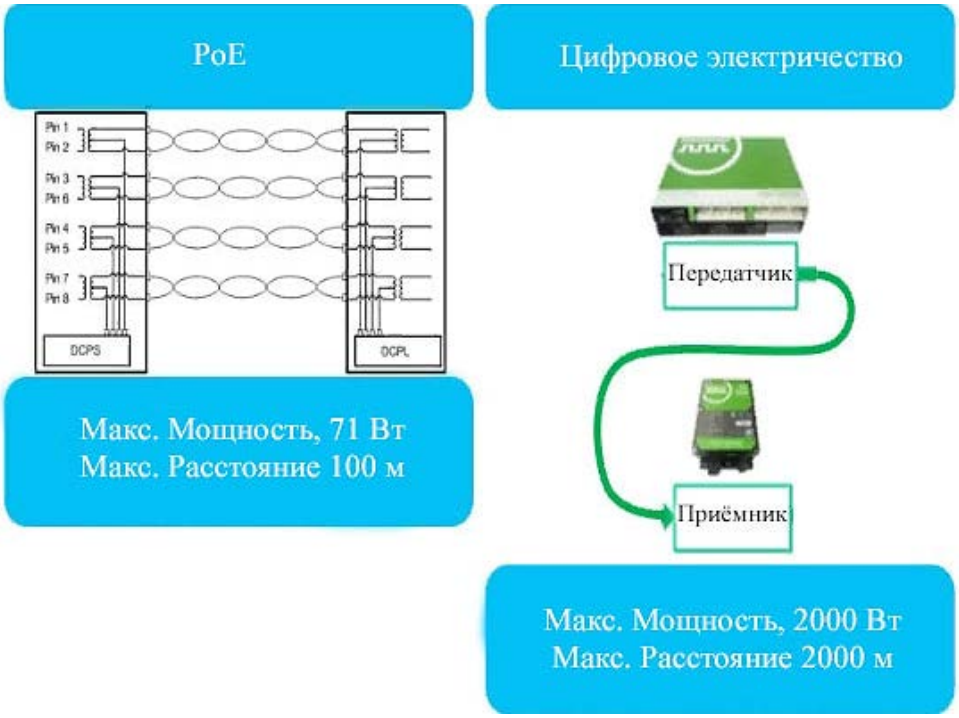


Рисунок 1. Сравнение PoE и Цифрового электричества

Передача состоит из передатчика, который преобразует аналоговый переменный или постоянный ток в цифровую электроэнергию. Далее цифровые пакеты электроэнергии передаются по недорогой структурированной кабельной системе (СКС). После, приемники преобразуют цифровое электричество обратно в аналоговое переменное или постоянное, которое в свою очередь уходит на нагрузку. То есть технология разбивает энергию на пакеты и передает сотни пакетов каждую секунду от передатчика к приемнику. Безопасность постоянно контролируется после каждого пакета, и при возникновении неисправностей,

таких как неправильная проводка, короткое замыкание или прикосновение человека к линиям передачи, передатчик распознает это состояние за миллисекунды и останавливает передачу пакетов. Результатом является безопасная передача электроэнергии на высоких уровнях мощности и неотъемлемая способность цифрового управления множеством современных электронных устройств, подключенных к системе распределения [3].

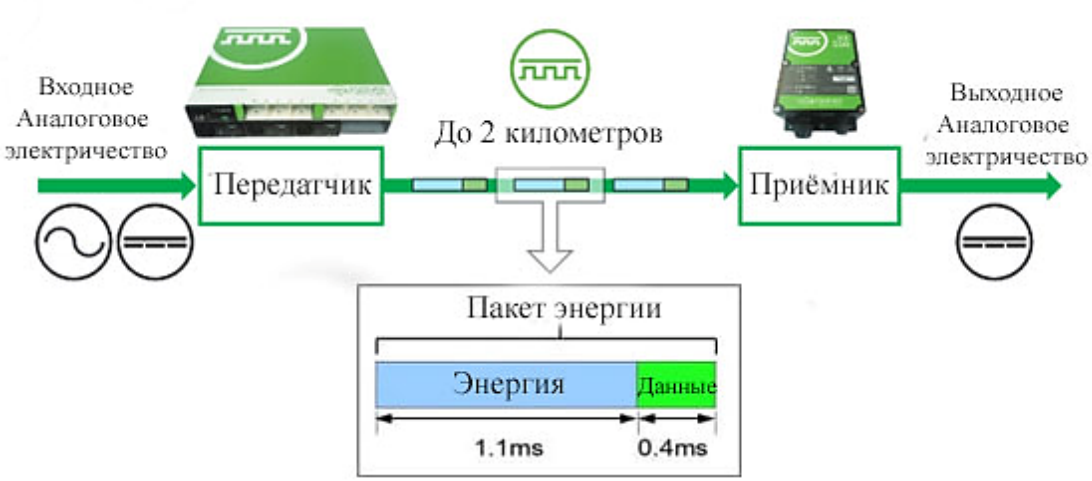


Рисунок 2. Общая схема передачи тока

Система «цифрового электричества» передает около 700 энергетических импульсов в секунду, одновременно отслеживая на линии любые аномальные условия, которые требуют почти мгновенного отключения. Три четверти каждого пакета отправляют небольшое количество энергии, затем оставшаяся четверть того же пакета используется для «проверки безопасности». Во время этой проверки безопасности передатчику отправляется сообщение, подтверждающее правильность отправки и получения пакета. Поскольку в каждом пакете присутствует лишь небольшое количество энергии, для системы цифрового электричества обычно требуется только низковольтная проводка. Мощность каждого пакета накапливается в приемнике, благодаря чему нагрузки получают необходимую им мощность [4].

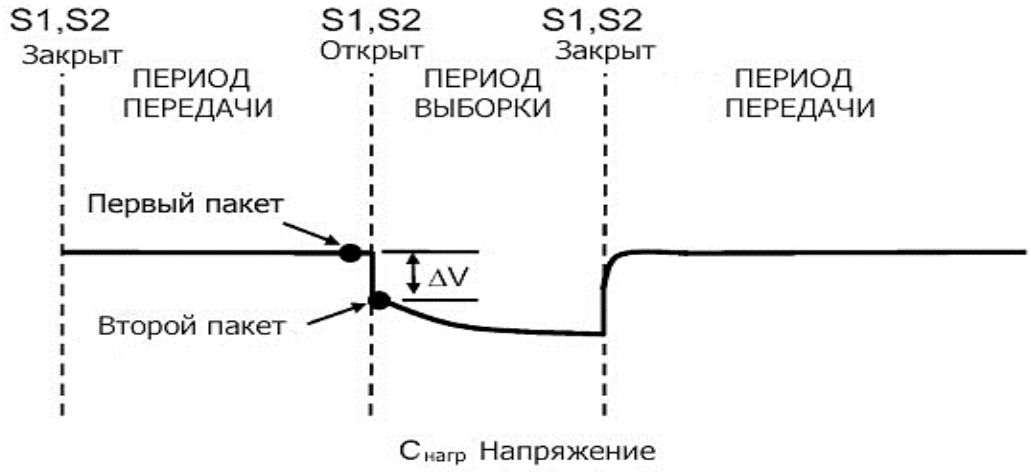


Рисунок 3. Пакетная передача энергии

В технологии цифрового электричества применяют технические решения, такие как интеллектуальные сети (smart grid), интернет вещей (Internet of Things) и микро-сети (microgrids). Они играют важную роль в реализации цифрового электричества.

Интеллектуальные сети представляют сетевую инфраструктуру, которая использует передовые технологии для интеграции и управления производством, распределением и потреблением электроэнергии. Они объединяют системы учета энергии, контроль нагрузок, системы автоматического управления и связи для обеспечения более эффективной и устойчивой работы энергетической сети. Интеллектуальные сети играют решающую роль в цифровом электричестве. Они включают в себя цифровые датчики, сети связи, расширенную аналитику и системы управления для повышения эффективности, надежности и отказоустойчивости распределения электроэнергии. Также интеллектуальные сети позволяют отслеживать параметры электроэнергии в режиме реального времени, позволяя коммунальным предприятиям удаленно контролировать и оптимизировать поток электроэнергии [5].

Интернет вещей (IoT) в контексте цифрового электричества относится к связанным между собой устройствам и системам, которые обмениваются информацией и управляют потреблением энергии. Умные счетчики, смарт-дома, устройства энергетического мониторинга – все они являются частью интернета вещей и играют важную роль в оптимизации и управлении расходом электроэнергии [6].

Микро-сети – это небольшие локальные сети, которые могут работать как от сети, так и автономно. Они объединяют системы генерации энергии (солнечные батареи, ветрогенераторы), системы хранения энергии (аккумуляторы) и системы управления, чтобы обеспечить надежность и эффективность поставки электроэнергии в определенной зоне или сооружении.

Таким образом, цифровое электричество представляет собой новую и инновационную концепцию энергоснабжения, открывающую широкие перспективы для улучшения эффективности и управляемости энергетических систем. Однако внедрение цифрового электричества требует сотрудничества разных звеньев энергетической отрасли и государственных органов [7]. Необходимо разработать и внедрить единые стандарты и нормы, а также обеспечить совместимость и безопасность цифровых систем. Цифровое электричество – большая перспектива в области электроэнергетики и энергобезопасности, но на данный момент ещё является недостаточно развитым для применения в крупных масштабах.

Список литературы:

1. Патент США на цифровую систему передачи энергии [сайт]. – URL: https://patents.google.com/patent/CA2964802C/en (дата обращения: 10.10.2023).
2. Цифровое электричество (Digital Electricity). Что важно знать? [сайт]: URL: https://dzen.ru/a/ZNAe0CtKUm7-Qyxf (дата обращения: 15.10.2023).

3. Цифровое электричество и цифровой ток: в чем разница? [сайт]. – URL: https://www.cencepower.com/blog-posts/what-is-digital-electricity-class-4-power (дата обращения: 15.10.2023).
4. Что такое технология цифрового электричества? [сайт]. – URL: https://voltserver.com/digital-electricity/what-is-it/ (дата обращения: 20.10.2023).
5. Интеллектуальная энергетическая сеть, Smart grid, умная сеть электроснабжения: [сайт]: URL: https://electricalschool.info/main/elsnabg/2483-smart-grid-umnaya-set.html (дата обращения 22.10.2023).
6. Что такое интернет вещей и как он устроен? [сайт]. – URL: https://trends.rbc.ru/trends/industry/5db96f769a7947561444f118 (дата обращения: 24.10.2023).
7. Ковалев, Д. А. Автоматизация технологических процессов систем солнечных коллекторов и кондиционирования воздуха / Д. А. Ковалев, А. А. Бобух // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2013. – № 7(113). – С. 2-6. – EDN SELGYV. – Текст: электронный.

© Мазяркин Д. В., 2023

УДК 620.9

ИНТЕГРАЦИЯ ВЕТРЯНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЧАСТНОГО ДОМА

студент **Кащеев Кирилл Олегович,**
науч. руководитель: ассистент **Ширяев Александр Дмитриевич,**
Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В данной статье рассматривается потенциал использования ветряных электростанций для обеспечения энергией частных домов, особенно в контексте теплоснабжения. Анализируются технические и экономические аспекты интеграции ветряных установок, предоставляя обзор возможных систем, их эффективности, а также преимущества и недостатки, с которыми сталкиваются владельцы частных домов при внедрении таких технологий. Кроме того, статья подчеркивает важность устойчивости и экологической целесообразности данного подхода в рамках современных требований к энергетике.

Ключевые слова: энергетика, возобновляемые источники энергии, системы теплоснабжения, ветряные электростанции, тепловая нагрузка.

INTEGRATION OF WIND POWER PLANTS IN THE HEAT SUPPLY SYSTEMS OF A PRIVATE HOUSE

Student **Kascheev Kirill Olegovich,**
Academic Advisor: Assistant **Shiryaev Alexander Dmitrievich,**
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. This article examines the potential of using wind farms to power private homes, especially in the context of heating. The technical and economic aspects of wind turbine integration are analyzed, providing an overview of possible systems, their effectiveness, and the advantages and disadvantages faced by private home owners when implementing such technologies. In addition, the article highlights the importance of sustainability and environmental feasibility of this approach within the framework of modern energy requirements.

Keywords: energy, renewable energy sources, heat supply systems, wind power plants, heat load.

Теплоснабжение домов является ключевым аспектом обеспечения комфортных условий проживания. Оно представляет собой систему по поставке

тепловой энергии для обогрева помещений, горячего водоснабжения и других бытовых нужд. В зависимости от региона и климатических особенностей, методы теплоснабжения могут варьироваться. Одним из наиболее распространенных методов является централизованное теплоснабжение.

Централизованная система отопления – это эффективный метод обогрева, где тепло генерируется на тепловой электростанции или котельной и поставляется через сеть трубопроводов к различным домам и зданиям [1]. Эта система состоит из нескольких ключевых компонентов. Первым элементом является источник. Здесь происходит производство тепловой энергии, используя различные источники энергии, такие как газ, уголь, мазут, электрическая энергия или возобновляемые ресурсы. Тепло, полученное на станции, направляется по трубопроводам к зданиям, переносясь через специальные изолированные трубопроводы, чтобы минимизировать потери тепловой энергии во время передачи. Внутри каждого здания устанавливаются радиаторы или другие теплообменники. Они принимают тепло из централизованной системы и распределяют его по помещениям, обеспечивая комфортную температуру для жильцов. Преимущества централизованных систем отопления включают экономическую эффективность за счет обслуживания множества домов из одного источника, удобство обслуживания благодаря стандартизированному подходу к техническому обслуживанию и повышенную безопасность, так как уменьшается риск возникновения проблем внутри отдельных зданий [2]. Однако, несмотря на преимущества, централизованные системы отопления могут иметь недостатки. В частности, они могут быть менее гибкими по сравнению с децентрализованными системами, так как не всегда предоставляют возможность выбора источника тепловой энергии и могут быть более подвержены сбоям в случае проблем на источники или в трубопроводах.

Другой подход – децентрализованное или автономное теплоснабжение. Децентрализованная система отопления представляет собой метод обогрева, где каждое здание или дом имеет свой источник тепловой энергии. Это подходит для использования различных источников тепла, включая традиционное топливо, электрическую энергию, солнечную энергию, геотермальные и другие возобновляемые источники. В отличие от централизованных систем, децентрализованная отопительная система предоставляет большую гибкость выбора источника тепла для каждого конкретного здания или дома. Это позволяет адаптировать систему отопления под особенности и потребности конкретного объекта. Кроме того, децентрализованные системы отопления обычно обладают более высокой эффективностью, так как тепло производится ближе к месту его использования, минимизируя потери при передаче через трубопроводы. Они также могут быть более устойчивыми, так как сбой в одной системе не влияет на работу других объектов. Однако децентрализованные системы отопления также могут иметь недостатки. Они требуют больших инвестиций в установку и обслуживание отдельных систем для каждого объекта, а также могут быть менее удобными в управлении, особенно при необходимости координации различных источников энергии. Тем не менее, эти системы становятся все более популярными из-за своей гибкости, эффективности и

способности к использованию разнообразных источников тепловой энергии в зависимости от местных условий и предпочтений пользователей.

При строительстве частного дома, выбор метода теплоснабжения чаще всего ограничен в силу отсутствия централизованных систем вблизи объекта строительства. Существует множество способов отопления частного дома, например, можно отапливать дом дровами, мазутом, газом, дизелем, природными возобновляемыми ресурсами и др. Наиболее популярными методами теплоснабжения являются: дизельный, электрический, воздушный и с использованием энергии Солнца и ветра. Все методы абсолютно разные, но их объединяет одна составляющая – котельная. Водогрейная котельная – энергетический объект, который осуществляет нагрев жидкости, как правило, воды, для системы отопления. Котельная соединяется с потребителем трубопроводами, основным элементом которой является котел. По типу используемого топлива котельные бывают [3]:

1. Газовые котельные считаются самыми популярными и наиболее часто используемыми на сегодняшний день, так как природный газ – один из самых дешевых типов топлива, к тому же он экологичен.

2. Жидкотопливные. Работают на мазуте, дизельном топливе, или нефти.

3. Твердотопливные котельные работают на угле, древесных брикетах или дровах.

4. Комбинированные котельные могут работать поочередно, либо одновременно на нескольких видах топлива. Как правило, работают они на газовом, дизельном, твердом топливе либо от электрической энергии.

В современных условиях активно развиваются технологии, направленные на улучшение энергоэффективности систем теплоснабжения, внедрение возобновляемых источников энергии, а также на создание умных систем управления, которые позволяют оптимизировать потребление тепла в домах с учетом индивидуальных потребностей и особенностей. Теплоснабжение домов становится все более важной областью с точки зрения экологической устойчивости и энергоэффективности, требующей инновационных подходов и развития новых технологий для обеспечения комфортных условий жизни при минимальных негативных воздействиях на окружающую среду.

Отопление электрической энергии – это один из самых безопасных способов обеспечить дом тепловой энергией, так как для данного метода не требуется дополнительное помещение для размещения электрического котла, что для небольших домов является преимуществом, система автоматизирована, и не требуется присмотра за ней. Электрические системы отопления в частных домах имеют высокий уровень КПД, что делает систему еще более привлекательной. За счет высокого КПД можно в холодный период отопить дом гораздо быстрее электрическим методом, нежели другими. Любое электрическое оборудование имеет специальную систему, позволяющую регулировать температуру отдельно в каждой комнате, что позволяет поддерживать оптимальный баланс.

В условиях растущего интереса к диверсификации энергетической системы страны вопрос интеграции ветряных электростанций в системы

теплоснабжения частных домов остается значимым. Ветроэнергетика представляет собой многообещающий источник возобновляемой энергии, обладающий потенциалом не только для генерации электроэнергии, но и для обеспечения тепла в бытовых условиях. Интеграция ветряных электростанций в системы теплоснабжения частных домов представляет собой многоаспектную проблему, требующую комплексного подхода и решения технических, экономических и экологических вопросов [4]. Несмотря на преимущества, такие как низкие эксплуатационные расходы и относительная экологическая чистота, этот процесс включает в себя ряд проблем, связанных с эффективным использованием полученной энергии, ее хранением и превращением в тепло.

Энергия ветра – неисчерпаемая, экологически чистая энергия. Для преобразования ветра в электрическую энергию необходимы ветряные электростанции. Ветряные турбины преобразовывают кинетическую энергию ветра в механическую, которая трансформируется в электрическую с помощью генератора. При обдувании ветром лопасти турбины образуется разница давления воздуха между сторонами лопатки, создавая подъемную силу и силу сопротивления. Так как подъемная сила больше, лопатки приводят во вращение ротор. Как правило, башни ветряных турбин изготавливаются из стали в виде секций и собираются на месте. Анемометр необходим для измерения скорости ветра, гондола представляет из себя корпус, в котором находятся генератор, коробка передач, трансмиссия и тормозной узел. Размер турбин зависит от необходимой вырабатываемой мощности, самым большим ветрогенератором на 2022 год была турбина с мощностью 15 МВт, диаметр ротора составлял 236 метров. Высота башни также зависит от мощности, так как с увеличением высоты скорость ветра возрастает и, следовательно, происходит нарастание мощности. Лопасти ветряных турбин изготавливаются в основном из армированных волокном полимеров, стекловолокон, древесно-эпоксидной смолы. Средний срок службы лопаток из стекловолокна составляет 20 лет и после эксплуатации они складируются или захораниваются. Это являлось большой проблемой, но в 2020 году появился способ переработки лопастей в гранулы, которые могут использоваться в строительстве зданий. К недостаткам ветряной энергетики относится нестабильность работы, так как зависит от силы ветряного потока, и шум, который образуется в большей мере при взаимодействии ветра с лопастями турбины, поэтому располагаются ветряные станции минимум в 300-350 метрах от жилых поселений. На таком расстоянии уровень шума в среднем достигает 45 дБ, что не превышает допустимых значений для человека. Создаваемые турбинами колебания и вибрации также негативно влияют на окружающий мир, но на расстоянии от 300 метров отрицательное воздействие уже отсутствует. Значимым недостатком ВЭС является вред, наносимый животным. Лидером по применению ветроэнергетики является Китай. В 2020 году его совокупная установленная мощность составила 289 ГВт, что является больше 25 % от доли мировых мощностей ветряной энергетики [5].

Ветроэлектростанции будут экономически эффективны, если в регионе стабильный ветер и много ветряных дней в году; на участке достаточно места

для установки оборудования; разрешена установка ветроэлектростанции местными властями. Использование энергии ветра для теплоснабжения дома осуществляется через ветряные электростанции. Эти станции генерируют электроэнергию из ветрового потока. По сути, это первоначальная стадия процесса (рисунок 1).

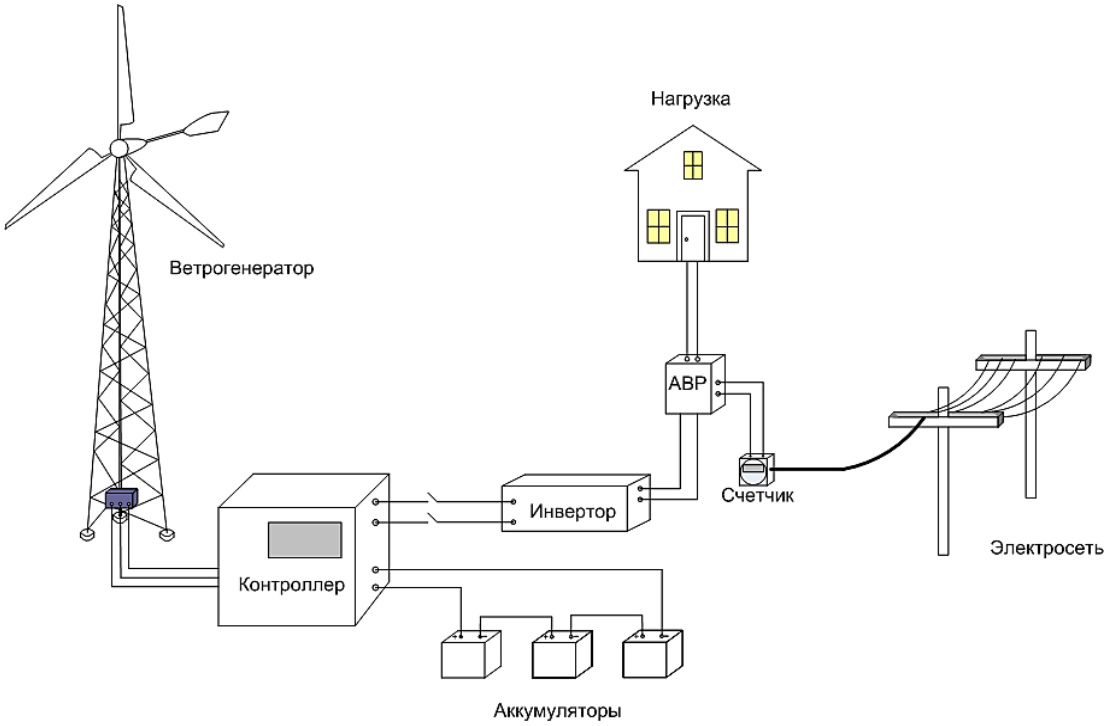


Рисунок 1. Схема подключения ветрогенератора с электросетью и потребителем

Для преобразования этой электроэнергии в тепло для дома есть несколько способов:

1. Тепловые насосы: Полученная электроэнергия может быть направлена на работу тепловых насосов. Они используют электричество для извлечения тепла из окружающей среды (например, воздуха, почвы или воды) и повышения его температуры для обогрева дома. Это эффективный способ использования электроэнергии ветра для нагрева помещений.

2. Другой способ – использование электрических котлов. Эти устройства преобразуют электроэнергию в тепловую непосредственно внутри дома, обеспечивая обогрев воды или помещений.

Оба метода позволяют эффективно использовать электроэнергию, сгенерированную ветряной электростанцией, для обеспечения тепла в доме. Они предоставляют экологически чистый источник тепла, так как энергия происходит из возобновляемого источника – ветра, что способствует снижению выбросов углерода и зависимости от традиционных источников энергии.

Для оценки экономической эффективности применения ветряных электростанций был произведен анализ рынка российского энергетического оборудования. Территориально объектом размещения частного дома выбрана Ленинградская область. Климат умеренный и влажный, переходный от

умеренно-континентального к умеренно-морскому. Для территории характерна частая смена воздушных масс, в летний период наблюдаются западные и северо-западные ветра, а в зимний – западные и юго-западные. Среднегодовая температура воздуха +4,3℃, самым холодным месяцем является февраль со средней температурой -7,9℃, а самым теплым является июль со средней температурой +17,8℃. По данным meteoblue, средняя годовая скорость ветра находится в диапазоне от 1,5 м/с до 5,5 м/с. Наибольшее количество часов в год ветер является умеренно-слабым по шкале Бофорта и имеет скорость 1,7-5,5 м/с, а именно 4241 ч/год [6].

В Ленинградской области достаточно большое количество ветряных дней. По статистике гидрометцентра Санкт-Петербурга, среднее количество ветреных дней в году в отопительный сезон составляет 155, средняя годовая скорость ветра 2,6 м/с. Однако есть вероятность, что в отопительный сезон ветра может не быть, поэтому следует установить резервную систему теплоснабжения. По тепловому расчету частного дома, тепловая нагрузка на отопление составляет 23 кВт, с учетом резерва, оборудование подбиралось мощностью 30 кВт. Стоимость электрического котла, данной мощности - 75000 руб., затраты на трубопроводы, запорную арматуру и прочие элементы системы теплоснабжения дома составляют 400000 руб. [7].

1 кВт электрической энергии в Ленинградской области по состоянию на 2022 год составляет 4,94 руб./кВт·ч. Для поддержания оптимальной температуры в 23℃, достаточно 16 часов работы котла в день, в остальное время будет происходить поддержание температурного режима, то есть расчет ведется на автоматизированный котел.

Потребитель в день затратит: 4,94·16·23 = 1817,92 руб.

За отопительный период согласно СП 131.13330.2020 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология» [8] годовые затраты на отопление: 211·1817,92 = 383581,12 руб.

Затраты в первый год с учетом стоимости оборудования составят: 383581,12 + 75000 + 400000 = 858581,12 руб.

Стоимость одного ветрогенератора с дополнительным оборудованием мощностью 30 кВт составляет 1790000 руб.

Мощность ветроустановки при средней годовой скорости ветра за отопительный период согласно рисунку 2 составляет 2 кВт. Остаток мощности будет покрываться электрическим котлом и затраты в год составят: 4,94·16·21·211 + 75000 + 400000 = 825226,24 руб. Затраты в первый год на ветрогенератор и электрический котел со всем необходимым оборудованием с учетом покупки электрической энергии – 2615226,24 руб.

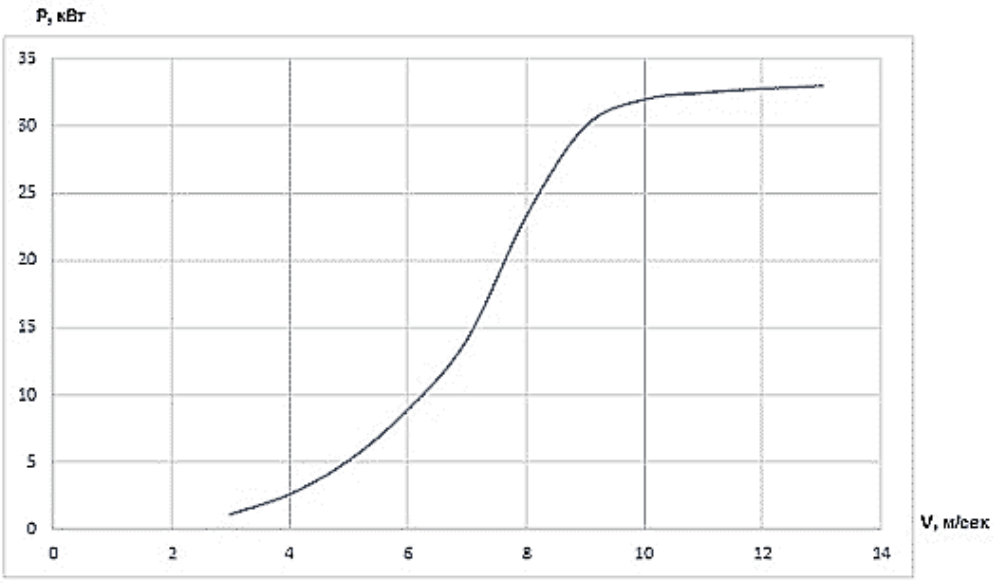


Рисунок 2. График зависимости мощности от скорости ветра Condor Air 30 [9]

Несмотря на то, что энергия ветра бесплатная, затраты на оборудование ветрогенератора являются большими в соотношении с его вырабатываемой электрической энергии. Альтернативный источник энергии сможет покрывать только часть электрической нагрузки на отопление. Ветряные турбины требуют постоянного доступа к сильным и стабильным ветрам. Это ограничивает их установку в Ленинградской области. Изменчивость скорости ветра может привести к непостоянству производства энергии. Это создает проблемы для обеспечения стабильности энергоснабжения в сети и приводит к еще большим затратам в силу необходимости резервного источника электрической энергии.

Список литературы:

1. Гладышев, Н. Н. Источники тепловой и электрической энергии: учеб. пособие / Н. Н. Гладышев, М. И. Куколев, Г. А. Морозов, И. С. Базулин. – М-во науки и высшего образования РФ, С.-Петерб. ун-т пром. технологий и дизайна, Высш. шк. технологии и энергетики С.-Петерб. политехн. ун-т. – Санкт-Петербург: ВШТЭ СПбГУПТД, 2022 – 133 с. – Текст: электронный (дата обращения: 20.10.2023).
2. Ашихмина, И. А. Автоматизированная система управления технологическим процессом Юго-Западной ТЭЦ / И. А. Ашихмина, М. О. Слюта // Теория и практика современной науки: взгляд молодежи: Материалы Всероссийской научно-практической конференции на английском языке. В 2-х частях, Санкт-Петербург, 25 ноября 2021 года. Часть II. – Санкт-Петербург: Высшая школа технологии и энергетики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», 2022. – С. 176-180. – EDN VTQJPF (дата обращения: 20.10.2023).
3. Смородин, С. Н. Производственные котельные: учебно-методическое пособие / С. Н. Смородин, В. Н. Белоусов, А. Н. Иванов, К. Г. Мисютина. – М-во науки и высшего образования РФ, С.-Петерб. гос. ун-т пром. технологий и дизайна,

Высш. шк. технологии и энергетики. – Санкт-Петербург: ВШТЭ СПбГУПТД, 2022. – 127с. – Текст: электронный (дата обращения: 21.10.2023).
4. Ширяев, А. Д. Целесообразность развития возобновляемой энергетики в городе Санкт-Петербурге / А. Д. Ширяев, К. А. Крюков // Оригинальные исследования. – 2022. – Т. 12, № 10. – С. 253-258. – EDN ELKGLK (дата обращения: 21.10.2023).
5. Ширяев, А. Д. Оценка экономической эффективности работы ветроэнергетических установок на территории Санкт-Петербурга / А. Д. Ширяев // Энергетика, управление и автоматизация: инновационные решения проблем: Материалы II Всероссийской научно-практической конференции обучающихся и преподавателей. – Научное издание, Санкт-Петербург, 22 декабря 2022 года /. – Санкт-Петербург: ВШТЭ СПбГУПТД, 2023. – С. 27-33. – EDN GNFVYZ (дата обращения: 21.10.2023).
6. Климат Санкт-Петербург: [сайт]. – 2023. – URL: https://www.meteoblue.com/ru (дата обращения: 21.10.2023). – Текст: электронный.
7. Электрические котлы 30 кВт: [сайт]. – 2023. – URL: https://mircli.ru/elektricheskie-kotly/30-kvt/ (дата обращения: 21.10.2023). – Текст: электронный.
8. СП 131.13330.2020 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология»: [сайт]. – 2023. – URL: https://docs.cntd.ru/document/573659358 (дата обращения: 21.10.2023). – Текст: электронный.
9. Ветрогенератор 30 кВт для дома, Condor Air 30: [сайт]. – 2023. – URL: https://greentec-group.ru/catalog/vetrogeneratory/vetrogeneratory-condor-air/vetrogenerator-30-kvt/ (дата обращения: 21.10.2023). – Текст: электронный.

© Кащеев К. О., 2023

УДК 620.9:62-729

СИСТЕМА МАСЛОСНАБЖЕНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ТАТАРСТАНА

магистрант **Абдрахманов Данис Радикович,**
канд. техн. наук, доцент **Борисова Ольга Владимировна,**
науч. руководитель: доктор техн. наук, проф. **Гильфанов Камиль Хабибович,**
Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. В данной статье рассматривается применение системы маслоснабжения ветроэнергетической установки на территории Татарстана. Проводится анализ климатической обстановки Татарстана. На основе полученных данных конструируется автоматическая система управления системой маслоснабжения ветроэнергетической установки. Обосновывается выбор средств автоматизации. Предлагается адаптивная система управления аппаратом воздушного охлаждения.

Ключевые слова: ветроэнергетическая установка, возобновляемая энергия, энергия ветра, автономное электроснабжение, маслоснабжение, ветропотенциал.

OIL SUPPLY SYSTEM OF A WIND POWER PLANT IN THE CLIMATIC CONDITIONS OF THE TATARSTAN

Master Student **Abdrakhmanov Danis Radikovich,**
PhD in Technology, Associate Professor **Borisova Olga Vladimirovna,**
Academic Advisor: Doctor of Technical Sciences **Gilfanov Kamil Khabibovich,**
Kazan, Russian Federation

Abstract. This article discusses the application of the oil supply system of a wind power plant on the territory of Tatarstan. The analysis of the climatic situation of Tatarstan is carried out. Based on the data obtained, an automatic control system for the oil supply system of a wind power plant is being constructed. The choice of automation tools is justified. An adaptive control system for the air cooling unit is proposed.

Keywords: wind power plant, renewable energy, wind energy, autonomous power supply, oil supply, wind potential.

Наиважнейшей частью изучаемого технологического процесса неизменно является система маслоснабжения. От системы циркуляции масла зависит надежность и безаварийность процесса в целом. Система маслообеспечения реализует работу системы смазки подшипников электрогенератора и редуктора, отвод тепла в летний сезон и подогрев в зимний. Помимо этого, устройство маслоснабжения значительно влияет на пожаробезопасность агрегата.

Для выявления целесообразности размещения ветроэнергетической установки (ВЭУ) на территории Татарстана необходимо провести анализ ветряных ресурсов. Изучив соответствующие материалы, можно сказать следующее: наибольшая среднемесячная скорость метра на территории РТ – 5 м/с. Ветер достигает данной скорости только в зимний период. На основании данных была построена карта ветров (рис. 1).

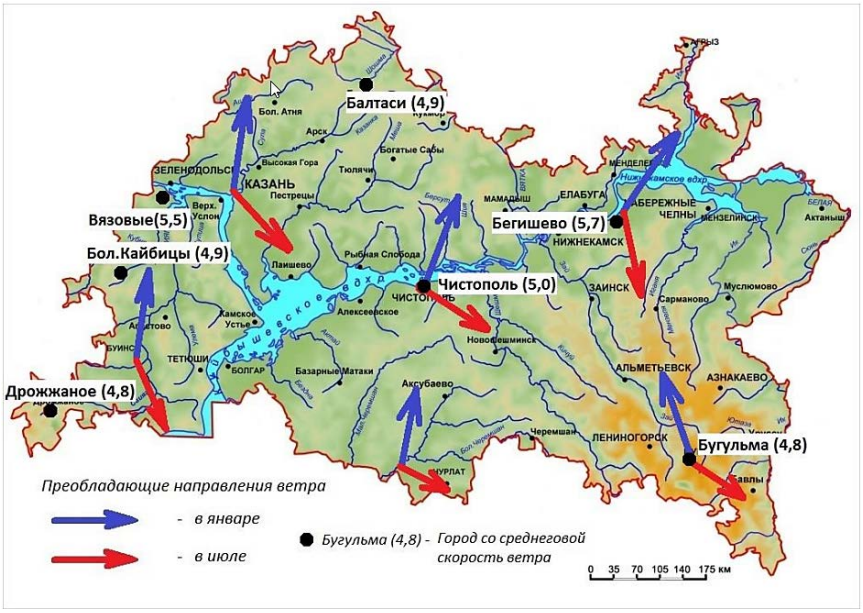


Рисунок 1. Карта ветров РТ

Самой мощной по энергопотенциалу является площадка в Спасском районе. В близи села Измери можно установить ветроэнергетическую установку до 150 МВт [2].

На основе изученных данных о погоде за 2023 год можно сказать, что максимальная низкая температуры в январе (-35°С), а самая высокая температуры была в июле (+37°С). По сравнению с прошлым годом, диапазон температур стал больше [3]. В связи с этим появляется необходимость внедрения в автоматизированную систему маслоснабжения ветроэнергетической установки обогревательных элементов для зимнего периода и охлаждающих агрегатов для летнего периода.

Ниже представлена технологическая схема системы маслоснабжения ветроэнергетической установки (рис. 2).

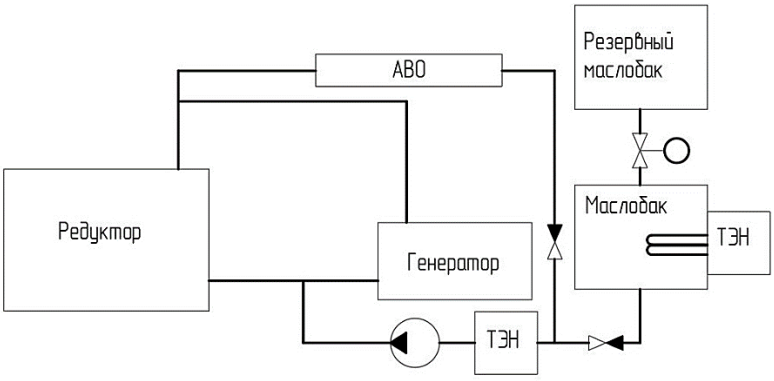


Рисунок 2. Технологическая схема маслоснабжения ВЭУ

Система регулирует температуру масла в диапазоне 70-80 °С для сохранения её свойств. ТЭН – нагревательный элемент, предназначенный для подогрева масла в маслобаке и в самом цикле. АВО – аппарат воздушного охлаждения, активируется при превышении оптимального уровня температуры. Недостатком АВО является увеличение длительности периода подготовки аппарата к работе в условиях низких температур, но это не сильно влияет на работу системы в целом, поскольку в зимний период нет необходимости в охлаждении масла [4].

При достаточно высоких температурах в летний период АВО является незаменимым звеном в системе маслоснабжения. Если углубиться в тему функционирования аппарата воздушного охлаждения, то можно сказать, что его работа происходит по принципу передачи излишнего тепла масла окружающей среде при его движении по трубе. Масло отдает теплоту окружающему ее проводнику, который и охлаждается потоком холодного воздуха. Процессы тепломассопереноса, протекающие в теплообменном аппарате, описываются системой нелинейных уравнений Фурье [5].

Для управления предлагается установить адаптивную систему. Преимущество данной системы в том, что она обеспечивает работу без перенастройки регуляторов.

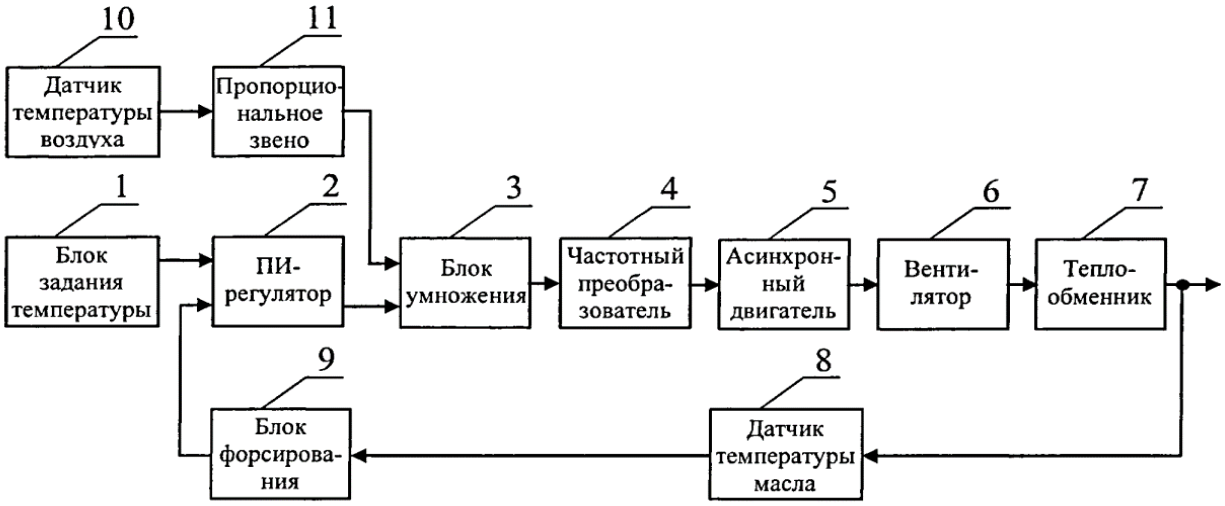


Рисунок 3. Функциональная схема адаптивной системы

Адаптивная система управления АВО масла содержит блок 1 задания температуры, пропорционально-интегральный регулятор 2, блок 3 умножения, частотный преобразователь 4, асинхронный двигатель 5, вентилятор 6, теплообменник 7, датчик 8 температуры масла, блок 9 форсирования, датчик 10 температуры воздуха, пропорциональное звено 11 (рис. 3).

Стоит отметить, что для нагрева теплоносителя вполне подходит нечеткий регулятор. Такой регулятор эффективно используют в неточных условиях системы. Он способен сформировать базовые правила системы нечеткого вывода на основе поступающих данных [6].

Данная система управления АВО способна обеспечить устойчивый режим работы системы управления и требуемую точность поддержания температуры масла на выходе вне зависимости от температуры окружающего воздуха [7].

Что касается поставки комплектующих ветроэнергетической установки, здесь все обстоит оптимистично. В России сейчас имеются заводы, которые производят комплектующие для ветряков промышленного класса по конструкторским чертежам импортных производителей [8].

В заключение можно сказать, что представленная система маслоснабжения удовлетворяет всем требованиям климатических условий территории РТ. Внедрение данной системы обеспечит эффективность смазки и теплоотвода, также повысит надежность технологического процесса, сводя к минимуму риск возгорания.

Список литературы:

1. Шарафутдинов А. С. и др. Потенциал развития ветроэнергетики на территории республики Татарстан //Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – №. 5. – С. 148-152.
2. Леухина О. В. и др. Перспективы развития ветроэнергетики на территории Республики Татарстан //Энергетика и энергосбережение: теория и практика. – 2018. – С. 1511-1513.
3. Метеоданные Татарстана за 2023 год [сайт]. Режим доступа: https://tatarstan-tukaevskiy-rayon-tatarstan.nuipogoda.ru/погода-2023.
4. Низамутдинов Р. М., Хабибуллин И. И., Кадыров Р. Г. Аппарат воздушного охлаждения масла. – 2019.
5. Кузнецов В. А. и др. Математическая модель процесса теплообмена в аппарате воздушного охлаждения масла // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия Физико-математические науки. – 2012. – №. 1 (26). – С. 166-174.
6. Липатов, М. С. Внедрение робототехнического контроля на котельных с целью их более эффективного функционирования / М. С. Липатов, Т. А. Ильяхунов // Дневник науки. – 2022. – № 3(63). – EDN VOSIYS.
7. Стариков А. В. Адаптивная система управления аппаратом воздушного охлаждения масла. – 2014.
8. Абрамушин, А. Л. Возможность использования ветрогенераторной установки в Северном регионе Российской Федерации / А. Л. Абрамушин, М. С. Липатов // Дневник науки. – 2023. – № 1(73). – EDN FEYPJX.

© Абдрахманов Д. Р., Борисова О. В., 2023

УДК 536.2

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЕН С ВЗАИМОСВЯЗАННЫМИ ПОРАМИ В КОМПАКТНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКАХ

студент **Николенко Ксения Владимировна,**
Воронежский государственный технический университет,
канд. техн. наук, научный сотрудник
Николенко Александр Владимирович,
Курсин Владислав Владимирович,
Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина»,
г. Воронеж, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматриваются особенности применения металлической пены с взаимосвязанными порами в компактных теплообменниках. Теплофизические свойства пористых металлов обеспечивают преимущества перед обычными металлами для изготовления теплообменников. Благодаря своим свойствам металлические пены с взаимосвязанными (открытыми) порами в настоящее время рассматриваются как весьма перспективный материал для изготовления эффективных компактных теплообменников.

Ключевые слова: металлическая пена, открытые поры, компактные теплообменные аппараты, теплоноситель, интенсификация теплообмена.

FEATURES OF THE USE OF METAL FOAMS WITH INTERCONNECTED PORES IN COMPACT HEAT EXCHANGERS

Student **Nikolenko Ksenia Vladimirovna,**
Voronezh State Technical University,
PhD in Technology, Researcher **Nikolenko Alexander Vladimirovich,**
Kursin Vladislav Vladimirovich,
Military Training and Research Center of the Air Force «Air Force Academy named after Prof. N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin»,
Voronezh, Russian Federation

Abstract. The article discusses the features of the use of metal foam with interconnected pores in compact heat exchangers. The thermophysical properties of porous metals provide advantages over conventional metals for the manufacture of heat exchangers. Due to its properties, metal foams with interconnected (open) pores are currently considered as a very promising material for the manufacture of efficient compact heat exchangers.

Keywords: metal foam, open pores, compact heat exchangers, heat carrier, heat exchange intensification.

Введение. В последние годы во многих отраслях техники, в том числе авиационной, ракетно-космической и лазерной, важной проблемой является создание компактных высокоэффективных теплообменных аппаратов различного назначения. При этом нагрев (охлаждение) компактных поверхностей может быть реализован при интенсификации процессов теплообмена. Одним из таких перспективных способов интенсификации теплообменных процессов является использование в теплообменных устройствах пористых материалов, в основном металлизированного или металлического состава, так как в этом случае достигается наибольшая величина тепловых потоков ввиду сравнительно больших значений коэффициентов теплопроводности металлов. В этом случае физической основой интенсификации является высокая интенсивность теплообмена между металлическим каркасом и протекающим сквозь него теплоносителем вследствие большой величины поверхности теплопередачи и условий смешения теплоносителя в межпоровом пространстве [1].

В настоящее время перечень пористых материалов достаточно велик, и в принципе появилось много технологических процессов, с помощью которых можно управлять не только интегральной пористостью, но и неоднородностью её распределения как по длине, так и в поперечном направлениях в пористом рекуперативном теплообменнике.

Перспективы. Металлическая пена – новый класс материалов с такими свойствами, которые можно применять в компактных теплообменных аппаратах с целью интенсификации теплообмена. Помимо этого, металлическая пена обеспечивает превосходные механические свойства и имеет небольшой вес, сохраняя при этом высокую прочность и жесткость. Она также обладает хорошими акустическими свойствами для звукопоглощения. Сложная геометрия металлической пены увеличивает площадь поверхности на единицу объема. Это идеальный параметр для интенсификации теплопередачи в компактных пористых теплообменниках. Варьируя характеристиками металлической пены, такими как проницаемость, размер пор, количество пор в единице объёма и т. д., можно обеспечить уникальное её взаимодействие с жидкостью, которая протекает через нее [2].

Существует два типа металлической пены: с закрытыми (изолированными) порами и с открытыми (взаимосвязанными) порами (рис. 1). Металлическая пена с закрытыми порами (рис. 1 а) состоит из сплошных клеточных стенок, которые отделяют одну ячейку от другой с образованием дискретного участка. Металлическая пена с открытыми порами (рис. 1 б) позволяет теплоносителю свободно перетекать из одной ячейки в другую, при этом поры не закрываются [3].

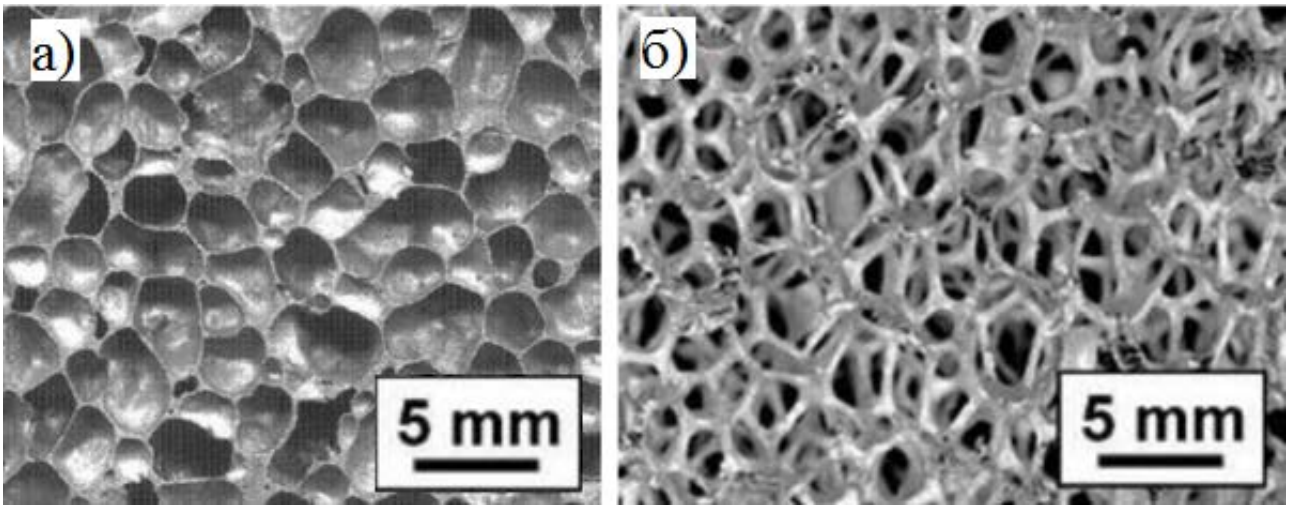


Рисунок 1. Металлическая пена:
а) закрытый тип пор; б) открытый тип пор

Металлическая пена с открытыми порами рассматривается как перспективный материал для изготовления компонентов топливных элементов, систем хранения тепловой энергии и компактных теплообменников в термодинамических системах благодаря большой удельной поверхности, высокой теплопроводности и расположению пор [4].

Металлические пены с взаимосвязанными порами обладают большим количеством механических и физических свойств [5-7], такими как:

- высокая удельная поверхность теплообмена (от 500 до 10 000 $м^2/м^3$);
- малый вес;
- высокая газопроницаемость в сочетании с высокой теплопроводностью;
- устойчивость к износу, тепловому удару, высокой температуре и влажности;
- хорошее поглощение энергии удара;
- высокая прочность и ударная вязкость, подходящие для условий высокого давления;
- высокая проницаемость;
- обильное перемешивание теплоносителя благодаря извилистому пути потока внутри;
- легкий контроль над морфологией материала;
- обрабатываемость и свариваемость, позволяющие изготавливать сложные детали.

Металлические пены с взаимосвязанными порами могут быть стохастического типа (имеют случайное распределение пор) и регулярного (имеют заданную структуру пор).

Теплообменники на основе металлических пен с открытыми порами широко применяются в системах энергосбережения, включая кондиционеры, холодильные системы, системы охлаждения электроники, тепловые трубки, топливные элементы и системы хранения тепловой энергии. На сегодняшний

день дальнейшее развитие получило применение металлической пены в компактных теплообменниках (включая испарители и конденсаторы), в системах топливных элементов и системах хранения тепловой энергии. При процессах плавления и затвердевания материалов с фазовым переходом металлические пены ускоряют фазовый переход и усиливают теплопередачу. Металлические пены с открытыми порами также используются в химической промышленности в качестве высокотемпературных фильтров. При конвекции воздуха, по сравнению с традиционными щелевыми ребрами, металлические пены могут обеспечить лучшие характеристики теплопередачи в условиях осушения [8].

Проблемы и выводы. По сравнению с теплообменниками, в которых применяются оребренные поверхности, теплообменные аппараты, созданные на основе металлических пен с открытыми порами, используются благодаря их компактной конструкции и более эффективными тепловыми характеристиками. Таким образом, существует потребность в применении высокоэффективных компактных теплообменников из металлической пены с взаимосвязанными порами для повышения теплопередачи и повышения эффективности энергосбережения.

Однако остается несколько проблем, связанных с изготовлением металлических пен, которые необходимо решить. В настоящее время отсутствует массовое производство металлических пен, что в свою очередь повышает стоимость продукции. Высокая стоимость производства металлических пен существенно ограничивает ее применение для передовых технологий, например, в аэрокосмической отрасли. Для снижения цен на эти материалы требуются надежные крупномасштабные производственные мощности. С точки зрения производства, переход к технологиям металлических пен с взаимосвязанными порами требует новых методов изготовления и сборки и новой конструкции компактных теплообменников. В настоящее время большинство изделий, созданных на основе металлических пен, имеют стохастическую конфигурацию, а производство с регулярной структурой менее развито.

По-прежнему необходимы дальнейшие работы по изучению теплогидравлических характеристик этих материалов и полномасштабные испытания новых изделий. Недостаточно изучено долгосрочное сопротивление загрязнению, коррозии и эрозии. Также необходимы исследования по прогнозированию и оптимизации теплообменных аппаратов с металлическими пенами на основе разработки обоснованных и апробированных математических моделей по расчету теплоотдачи и гидравлического сопротивления в каналах с пористыми интенсификаторами.

Список литературы:

1. Попов, И. А. Гидродинамика и теплообмен в пористых теплообменных элементах и аппаратах / И. А. Попов. – Казань: Центр инновационных технологий, 2007. – 240 с.
2. Tan, W.C., Saw, L.H., Thiam, H.S., Xuan, J., Cai, Z., Chian, M. (2018) Yew Overview of porous media/metal foam application in fuel cells and solar power

systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. № 96, 181-197.
3. Ashby, M.F., Evans, A., Fleck, N.A., Gibson L.J., Hutchinson J.W., Wadley, H.N.G. (2000) Metal foams: a design guide. *1st ed United State of America: Butterworth-Heinemann*, 181-188.
4. Hu, H., Zhao, Y., Li, Y. (2023) Research progress on flow and heat transfer characteristics of fluids in metal foams. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* Volume 171, 113010.
5. Tang, H., Liao, J., and Zhu, J. (2007) Porous Metals of Northwest Institute for Non-ferrous Metal Research. *Materials Science Forum*, vol. 534-536, 1281-1284.
6. Tuchinskiy, L., (2005) Novel Fabrication Technology for Metal Foam. *Journal of Advanced Materials*, vol. 37, 60-65.
7. Liu, P. S., and Liang, K. M. (2001) Functional Materials of Porous Metals Made by P/M, Electroplating and Some Other Techniques. *Journal of Materials Science*, vol. 36, 5059-5072.
8. Han, X.-H., Wang, Q., Park, Y.-G., T'Joen, C., Sommers, A., Jacobi, A. (2012) A Review of Metal Foam and Metal Matrix Composites for Heat Exchangers and Heat Sinks. *Heat Transfer Engineering*, № 33(12), 991-1009.

© Николенко К. В., Николенко А. В., Курсин В. В., 2023

УДК 621.314

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РАНЖИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ

студент **Аймалетдинов Рустам Маратович,**
студент **Воякин Никита Романович,**
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент **Кронгауз Дмитрий Эдуардович,**
Иркутский государственный университет путей сообщения,
Красноярский институт железнодорожного транспорта,
г. Красноярск, Российская Федерация

Аннотация. В статье приведены основные методы ранжирования, их непосредственное сравнение и критерии для его проведения. Проведен анализ и выявлены наиболее объективные методы ранжирования.

Ключевые слова: критерии ранжирования, электроприемники, ранжирование, техническое состояние, электроснабжение.

COMPARISON OF METHODS FOR RANKING ELECTRICAL CONSUMERS

Student **Aimaletdinov Rustam Maratovich,**
Student **Voyakin Nikita Romanovich,**
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor
Krongauz Dmitry Eduardovich,
Irkutsk State Transport University,
Krasnoyarsk Institute of Railway Transport,
Krasnoyarsk, Russian Federation

Abstract. The article presents the main ranking methods, their direct comparison and criteria for its implementation. An analysis was carried out and the most objective ranking methods were identified.

Keywords: ranking criteria, electrical receivers, ranking, technical condition, power supply.

В современном обществе потребители электроэнергии стали неотъемлемой частью нашей повседневной жизни. Они являются основными потребителями электроэнергии, начиная от бытовых приборов и заканчивая промышленным оборудованием. В связи с этим возникает необходимость в определении методов ранжирования потребителей электроэнергии, позволяющих оценить их эффективность и производительность.

Одним из основных критериев выбора метода ранжирования является точность и достоверность получаемых результатов. Существует несколько подходов к ранжированию электроприемников, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. В данной работе проводится сравнение различных

методов ранжирования и даются рекомендации по выбору наиболее подходящего метода для решения конкретной задачи.

Для начала рассмотрим основные методы ранжирования электроприёмников. Выбор оптимального оборудования электроснабжения требует сравнения и ранжирования потребителей электроэнергии. Помимо технического состояния, энергоэффективности, цены и других параметров, ранжирование может основываться на самых разных критериях [1].

Распространенным методом ранжирования является анализ на основе экономических показателей. В этом методе учитывается стоимость электроприемников и рассчитывается экономический эффект от его использования. Этот метод позволяет выявить наиболее экономически эффективные варианты [1].

Другим распространенным методом является анализ по техническим условиям. Здесь оцениваются производительность и надежность электроприемников. Учитываются такие параметры, как средняя наработка, производительность и долговечность оборудования [1].

Также существует метод ранжирования, основанный на потреблении электроэнергии. С помощью этого метода можно определить энергоэффективность потребителей электроэнергии и выбрать наиболее энергоэффективный вариант [1].

Однако при выборе метода ранжирования необходимо учитывать специфику конкретной ситуации. Например, если важным критерием является надежность электрической нагрузки, то предпочтение следует отдавать методам анализа, основанным на технических условиях.

Таким образом, сравнение и ранжирование покупателей – сложная задача, требующая учета различных критериев. Выбор наиболее подходящего метода ранжирования зависит от целей и требований заказчика.

Основные критерии, используемые при сравнении методов ранжирования электроприемников, являются важным фактором при выборе наиболее подходящего метода. В данном подразделе рассматриваются основные критерии, которые необходимо учитывать при сравнительном анализе различных методов ранжирования [2].

Первым и одним из наиболее важных критериев является техническое состояние электроприемника. В зависимости от того, в какой степени учитывается состояние оборудования, различные методы ранжирования могут быть или не быть более эффективными. Некоторые методы дают более точную информацию о работе электроприемника и позволяют своевременно обнаружить потенциальные проблемы [2].

Вторым важным критерием является надежность электроснабжения. Методы ранжирования должны учитывать аварийные ситуации и возможные перебои в электроснабжении. Различные методы могут иметь разную чувствительность к этому критерию, поэтому следует выбирать метод, который наилучшим образом учитывает надежность электроснабжения [2].

Третьим важным критерием является энергоэффективность. Методы ранжирования должны учитывать способность покупателя электроэнергии

оптимизировать ее потребление и использование. Различные методы дают разную информацию об энергопотреблении и позволяют принимать обоснованные решения по повышению эффективности [2].

Четвертым критерием являются экономические факторы. Методы ранжирования должны учитывать стоимость использования различных электроприемников и их потенциал по снижению эксплуатационных расходов. Различные методы могут иметь разную чувствительность к этому критерию, поэтому следует выбирать тот метод, который наилучшим образом сочетает высокую производительность и низкие эксплуатационные расходы [2].

В конечном итоге выбор метода ранжирования электроприемников должен основываться на тщательном анализе вышеперечисленных критериев с учетом специфических требований и условий эксплуатации конкретной системы.



Рисунок. Ранжирование по состоянию

Теперь, когда нам ясны основные критерии сравнения методов ранжирования, предлагаю проанализировать и сравнить некоторых методы ранжирования. Широко распространенным методом ранжирования для определения важности и энергопотребления электроприемников является метод электрической нагрузки. Этот метод основан на анализе технического состояния и энергопотребления каждого электроприемника [3].

Критериями ранжирования для данного метода являются:

1. Энергопотребление: данный критерий оценивает количество энергии, потребляемой каждой единицей оборудования. Чем выше потребление, тем важнее оно для системы.

2. Время работы: этот критерий учитывает время работы каждого устройства. Некоторые устройства могут работать дольше других и требуют более стабильного питания.

3. Техническое состояние: данный критерий оценивает производительность и состояние каждого устройства. Если техническое состояние оборудования неудовлетворительное или требует ремонта, то его значимость может быть изменена [3].

Применение данного метода позволяет выявить наиболее важное приемное оборудование в системе и принять меры по повышению эффективности электроснабжения. Однако необходимо учитывать и некоторые недостатки этого метода [3].

Одним из недостатков метода электрической нагрузки является то, что он ограничен только энергопотреблением и техническими условиями. Другие факторы, например, насколько важно устройство для безопасности и комфорта жизни людей, могут быть не учтены [3].

Следует также отметить, что применение этого метода может быть очень сложным, поскольку необходимо собирать данные о потреблении и техническом состоянии каждого отдельного устройства. Это требует специального оборудования и регулярного анализа.

В целом метод электрического заряда является одним из инструментов, используемых для ранжирования электроприемников по степени их важности и энергопотребления. Однако для более точного анализа следует использовать комбинацию различных методов ранжирования.

Сравнение электроприемников может проводиться по различным критериям, в том числе и по энергетическим характеристикам. Эти критерии оценивают, насколько эффективно используется энергия при работе прибора и как это влияет на общую нагрузку электросетями [4].

Один из способов ранжирования энергоэффективности основан на измерении потребляемой мощности приборов в различных режимах работы. Чем ниже потребляемая мощность, тем эффективнее используется энергия и тем выше оценка эффективности [4].

Другой метод основан на анализе технического состояния прибора. Этот метод учитывает такие факторы, как возраст и состояние компонентов, износ и вмешательство в техническое обслуживание. Чем лучше техническое состояние устройства, тем выше считается его эффективность [4].

Возможно также использование метода сравнительного анализа данных о потреблении электроэнергии, полученных от различных моделей устройств. Для этого необходимо провести эксперименты по измерению энергопотребления различных приборов при их работе в одинаковых условиях. Затем полученные данные можно сравнить для определения наиболее эффективной модели [4].

Сравнивая методы ранжирования энергоэффективности, можно выявить приборы, потребляющие меньше энергии и отвечающие требованиям эффективного использования ресурсов. Это позволяет повысить качество электроснабжения и снизить нагрузку на систему [4].

Результаты и обсуждение сравнительного анализа методов ранжирования электроприёмников. Критерии ранжирования электроприёмников представляют собой совокупность параметров, позволяющих оценить техническое состояние и эффективность этих устройств. В данной главе представлены результаты сравнительного анализа нескольких методов ранжирования электроприёмников [5].

Первый метод основан на мнениях экспертов в области электроснабжения. Они оценивают каждый критерий ранжирования по шкале от 1 до 10. Затем полученные данные подвергаются математической обработке для расчета среднего значения каждого критерия для каждого покупателя. Этот метод очень прост в реализации, но его недостатком является субъективность суждений экспертов [5].

Второй метод основан на использовании статистических данных о работе электроприемников. Для каждого критерия ранжирования проводится статистический анализ структуры и параметров энергопотребления, а также данных о поломках и ремонтах. На основе полученных результатов производится ранжирование потребителей электроэнергии по каждому критерию. Этот метод позволяет учесть объективные данные о функционировании потребителей электроэнергии, однако его реализация требует большого объема знаний и времени [5].

Третий метод использует как мнение экспертов, так и статистические данные. Проводится сравнительный анализ результатов, полученных обоими методами, после чего определяется окончательное ранжирование рецепторов [5].

Результаты сравнительного анализа показывают, что каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки. Метод, основанный на экспертном мнении, позволяет учесть мнения опытных специалистов в области электроснабжения и быстро получить результаты ранжирования. Однако их субъективность может привести к ошибочным результатам [5].

Методы, основанные на статистических данных, учитывают реальную деятельность потребителей электроэнергии и могут дать более объективные результаты. Однако их анализ требует большого объема информации и времени [5].

Комбинированные методы сочетают в себе преимущества двух предыдущих методов и позволяют получить более точные результаты ранжирования. Однако их использование требует больших затрат времени и средств на сбор и анализ данных [5].

Таким образом, выбор метода ранжирования электроприёмников зависит от наличия информации, сроков проведения исследования и конкретных задач исследования.

Список литературы:

1. Ранжирование силовых трансформаторов по техническому состоянию [сайт]. – URL: https://energoboard.ru/post/488/ (дата обращения: 20.10.2023).
2. Ранжирование для построения рейтингов [сайт]. – URL: https://rybachusdetstva.ru/ranzirovanie-dlya-postroeniya-reitingov/ (дата обращения: 20.10.2023).
3. Краткосрочное прогнозирование электрической нагрузки на основе нечеткой нейронной сети и ее сравнение с другими методами [сайт]. – URL: https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/1345/1/bulletin_tpu-2006-309-6-36.pdf (дата обращения: 20.10.2023).
4. Пинч-анализ и оптимизация промышленных объектов [сайт]. – URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Zhulaev/Zhulaev1.pdf (дата обращения: 20.10.2023).
5. Сравнительный анализ методов ранжирования при их апаратных реализациях [сайт]. – URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Zhulaev/Zhulaev1.pdf (дата обращения: 20.10.2023).

© Аймалетдинов Р. М., Воякин Н. Р., 2023

УДК 621.31

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ НА БАЗЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ УМНЫХ СЕТЕЙ (SMART GRID)

студент **Поплавская Полина Сергеевна,**
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 анализируется эффективность использования интеллектуальных сетей в современных технических системах, включающих в себя автоматизированные электроприводы. Интеллектуальные сети (Smart Grid) – это инновационный подход к управлению электроснабжением, сочетающий в себе современные технологии и автоматизацию. Исследование основано на анализе данных о внедрении интеллектуальных сетей в различных отраслях.

Ключевые слова: умные сети, автоматизированный электропривод, энергоэффективность, современные технологии, управление электроэнергией, оптимизация.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF SYSTEMS BASED ON AUTOMATED ELECTRIC DRIVE BASED ON APPLICATIONS OF SMART NETWORKS (SMART GRID)

Student **Poplavskaya Polina Sergeevna,**
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 efficiency of the use of intelligent networks in modern technical systems, including automated electric drives. Smart Grid is an innovative approach to power supply management, combining modern technologies and automation. The study is based on the analysis of data on the implementation of intelligent networks in various industries.

Keywords: smart grids, automated electric drive, energy efficiency, modern technologies, power management, optimization.

Автоматизированные электроприводы широко используются в различных промышленных и коммерческих областях, это система, которая использует электродвигатели и другое электрооборудование для управления и автоматизации различных процессов и механизмов. Электроприводы могут выполнять различные функции, такие как открытие и закрытие клапанов, перемещение конвейеров, управление подъемом и опусканием лифтов и многие другие задачи. Точное и эффективное управление электроприводами имеет решающее значение для экономии энергии и повышения производительности. Оптимизация потребления электроэнергии стала одной из ключевых задач. В этом контексте концепция интеллектуальных сетей предлагает помощь в виде инновационных и эффективных инструментов для управления и распределения электроэнергии. Интеллектуальные сети – это совокупность передовых технологий и систем, которые делают систему электроснабжения более гибкой, устойчивой и экологичной. В связи с этим анализ возможностей улучшения характеристик электроприводов на базе применения интеллектуальных сетей является *актуальной научно-технической задачей.*

Объектом исследования в данной работе являются умные сети, представляющие собой интегрированную систему управления электроэнергией, включая сбор, анализ и оптимизацию данных.

Предмет данного исследования – способы применения умных сетей для автоматизированного электропривода в различных промышленных и бытовых сферах.

Цель исследования – оценка результативности и потенциала умных сетей для повышения энергоэффективности автоматизированного электропривода.

Для достижения поставленной цели в ходе работы необходимо было решить следующие задачи:

- провести анализ недостатков современных энергосистем с автоматизированными электроприводами;
- провести анализ сущности и характеристик современных технических решений типа «Smart Grid»;
- разработать предложения по внедрению умных сетей в технические системы на основе автоматизированного электропривода.

В ходе решения основных задач исследования получены следующие результаты.

Традиционная система распределения электроэнергии с централизованным управлением используется в течение длительного времени. Эти традиционные электросети ориентированы только на некоторые основные функции, такие как производство, распределение и контроль электроэнергии. Однако существующие системы обладают рядом недостатков:

- низкая эффективность, то есть высокие потери, неэффективное управление спросом и предложением;
- низкая надежность, то есть высокая вероятность частых перебоев в электроснабжении;
- ограниченная интеграция возобновляемых источников энергии;
- трудности интеграции солнечных и ветряных источников.

- отсутствие механизмов активного управления спросом.

Smart Grid (SG) или «интеллектуальные сети электроснабжения» – это модернизированные сети электроснабжения, которые используют информационно-коммуникационные сети и технологии для сбора информации о производстве и потреблении энергии, автоматически повышающая эффективность, надежность, экономическую выгоду, а также устойчивость производства и распределения электроэнергии. Это автоматизированные сети генерации, передачи и потребления электроэнергии. SG являются S.M.A.R.T. системами, то есть они могут осуществлять самоконтроль и предоставлять отчеты об участниках сети (их состоянии, потребностях и т. д.). Кроме того, SG может получать полную информацию обо всех аспектах производства и передачи электроэнергии, включая эффективность, потери и экономические выгоды [1, 137].

SG также повышает надежность сети, обеспечивая незаметное для потребителя переключение на другой источник при отказе основного. Поскольку надежность отдельных сетей электроснабжения уже достигает 99.97%, использование SG способно гарантировать бесперебойное электроснабжение в режиме 24/7 [2, 75]. SG оптимизируют распределение нагрузки за счет снижения потерь в проводах и создания эффективных (более коротких) маршрутов подключения для крупных потребителей, тем самым повышая общую «производительность» сети [3, 92].

Для предварительной оценки возможных системных эффектов при построении «умной» электроэнергетики в ЕЭС России были использованы данные о результатах пилотных проектов в разных странах, свидетельствующие о безусловной перспективности внедрения SG-систем.

Применение таких инновационных подходов к уже отлаженным процессам открывает огромные долгосрочные перспективы для российской электроэнергетики. Применение технологии SG в автоматизированном электроприводе может иметь значительный потенциал и выгоду для различных сторон, включая потребителей электроэнергии, энергетические компании и общество в целом. Вот некоторые из основных преимуществ и оценка потенциала [4, 46]:

- эффективность энергопотребления за счет снижения потерь электроэнергии в трансформаторах, линиях передачи и дистрибуции благодаря оптимизации работы сети и балансировке нагрузки;

- возможность управления мощностью и регулирования напряжения, что позволяет более эффективно использовать доступные ресурсы;

- интеграция возобновляемых источников энергии (солнечных, ветряных и т. д.), что позволяет увеличить долю чистой энергии в общей мощности [5];

- возможность удаленного управления нагрузками и электроприводами, что позволяет сглаживать пиковые нагрузки и снижать нагрузку в периоды пикового потребления;

- увеличение надежности за счет того, что умная сеть способствует быстрому обнаружению и изоляции сбоев, уменьшая временные перерывы в электроснабжении;

- энергосбережение за счет того, что пользователи могут получать информацию о своем потреблении и в реальном времени оптимизировать его, что приводит к снижению затрат;

- увеличение безопасности с помощью мониторинга сети и обнаружения аномалий, что позволяет предотвратить несчастные случаи и вмешательство в работу сети.

Структура энергосистемы предприятия, включающая в себя SG, показана на рисунке.

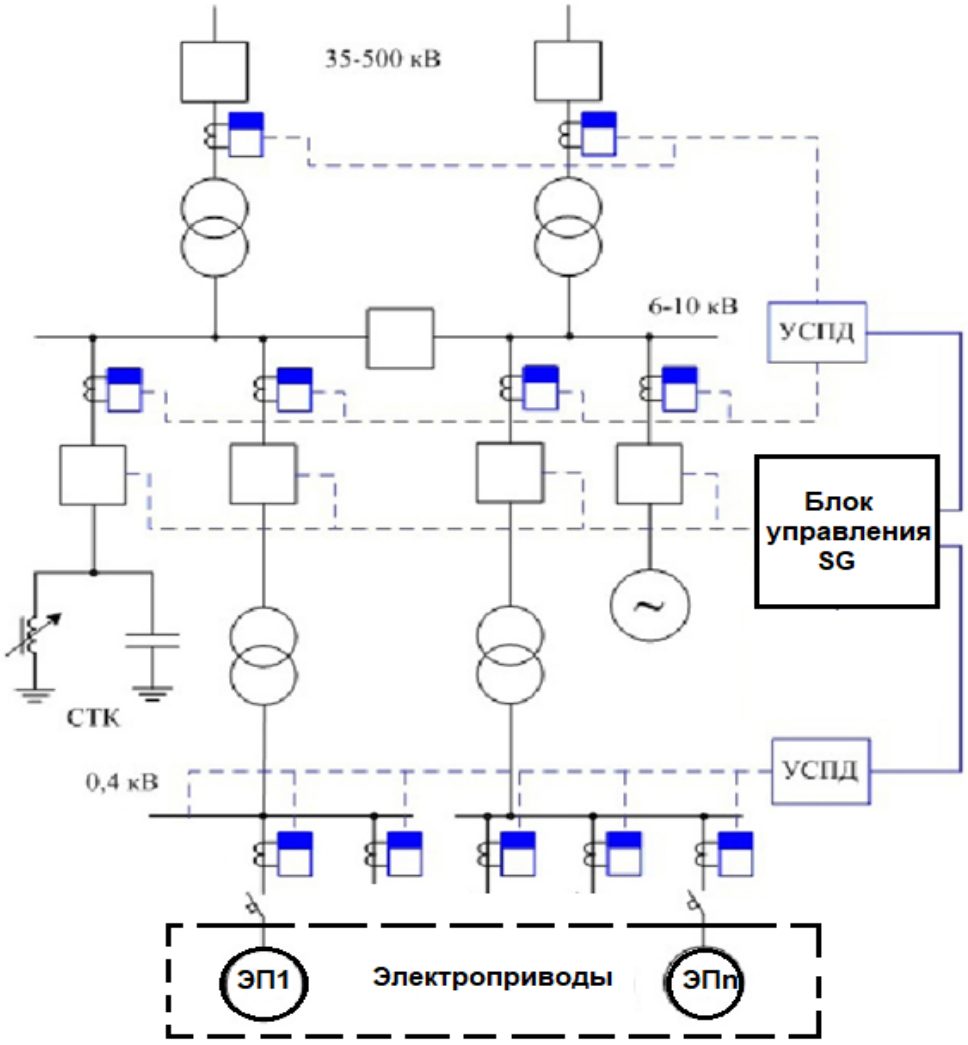


Рисунок. Схема электроснабжения предприятия

Системы Smart Grid представляют собой программно-аппаратные комплексы, включающие в себя следующие подсистемы: интеллектуальные счетчики (Smart Metering), динамическое управление системой электроснабжения (Dynamic Grid Management), регулирование нагрузки (Demand Response).

Система Smart Grid позволяет собирать информацию о работе системы электроснабжения предприятия. Интеллектуальные счетчики, являющиеся одним из низкоуровневых звеньев этой системы, позволяют осуществлять технический учет электропотребления в реальном времени и с высокой

точностью, и передавать данные учета в центральный модуль системы. Существенными преимуществами нейронных сетей являются:

- адаптивность, то есть способность динамически приспосабливаться к изменяющимся условиям, что является одним из ключевых элементов при построении модуля прогнозирования в составе Smart Grid;

- хорошие обобщающие способности, позволяющие выявлять и учитывать сложные нелинейные зависимости между одной величиной и другой, например, зависимость потребления электроэнергии и расхода электроэнергии на единицу продукции от различных влияющих факторов (в основном, от объема производства).

Таким образом, сети SG – это инновационный подход к развитию энергетических систем, обеспечивающий ряд значительных преимуществ. Однако успешная реализация SG требует тщательного анализа и планирования, а также инвестиций в соответствующую инфраструктуру и обучение персонала. С учетом быстрого технологического развития и потребности в устойчивой энергетике дальнейшие исследования и внедрение SG обещают значительные выгоды как для энергетических компаний, так и для общества в целом.

Список литературы:

1. Osama B. M., Muhammad Z., Tallal M. B. (2021) Recent advancement in smart grid technology: Future prospects in the electrical power network. *Ain Shams Engineering Journal*. Pakistan. Germany. 2(4), 126-132.

2, Радионов, А. А. Использование мощных электроприводов на базе активных двунаправленных преобразователей в составе промышленной Smart Grid системы / А. А Радионов. – Текст: непосредственный. – Екатеринбург: ЮУГУ, 2015 – С. 74–81.

3. Зайцев А. И. Развитие электроэнергетических систем на базе концепции SmartGrid/ Зайцев А. И. – Текст: непосредственный // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2013. – № 1. – С. 90–93.

4. Кобец, Б. Б. Smart Grid как концепция инновационного развития электроэнергетики за рубежом / Б. Б. Кобец. – Текст: непосредственный // Энергоэксперт. – 2010. – № 2. – С. 44-48.

5. Буланенков В. А. Умная сеть электроснабжения / Буланенков В. А. – Текст: электронный // Журнал «Научный лидер». Вып. 29 (127). – 2023 – URL: https: //scilead.ru/article/4850-umnaya-set-elektrosnabzheniya.

© Поплавская П. С., 2023

УДК 621.874.2

РАЗРАБОТКА РАСЧЁТНОЙ СХЕМЫ КОЛЕБАНИЙ ГРУЗА ПРИ ДВИЖЕНИИ МОСТОВОГО КРАНА

студент **Мансуров Даниил Олегович,**
науч. руководитель: ст. преподаватель **Королёв Владимир Иванович,**
Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассматривается необходимость и способы модернизации привода горизонтального перемещения мостового крана. Основными проблемами в работе мостового крана являются перекос балки и раскачивание груза. Раскачивание груза может быть устранено путем внедрения в привод системы компенсации раскачки груза при его перемещении.

Ключевые слова: мостовой кран, кран-балка, система противораскачивания, горизонтальное перемещение балки, борьба с раскачиванием.

DEVELOPMENT OF A DESIGN SCHEME OF LOAD FLUCTUATIONS DURING THE MOVEMENT OF A BRIDGE CRANE

Student **Mansurov Daniil Olegovich,**
Academic Advisor: Senior Lecturer **Korolev Vladimir Ivanovich,**
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. The paper considers the need and ways to modernize the drive of horizontal movement of the bridge crane. The main problems in the operation of the bridge crane are the misalignment of the beam and the swinging of the load. The rocking of the load can be eliminated by introducing a load rocking compensation system into the drive when it is moved.

Keywords: bridge crane, beam crane, anti-rocking system, horizontal beam movement, anti-rocking.

Работу современного промышленного или складского помещения сложно представить без мостового крана. Мостовой кран – это один из наиболее востребованных видов грузоподъемного оборудования, которое используется при подъеме и транспортировке грузов различного тоннажа, а также для осуществления погрузочно-разгрузочных работ [1]. Из-за своей компактности мостовой кран незаменим, когда работа выполняется в узких пролетах и труднодоступных для других видов кранового грузоподъёмного оборудования

местах. Внедрение в системы мостовых кранов двигателей переменного тока в паре с частотным преобразователем значительно повышает производительность таких систем.

Конструкция мостового крана состоит из двух основных частей: моста и тележки с механизмом вертикального перемещения груза. Мост расположен по ширине используемого помещения, так чтобы тележка, передвигающаяся по мосту, могла свободно перемещаться от края до края помещения. Ходовыми колесами механизма балка опирается на крановые рельсы, закрепленные на стены вдоль цеха. Крановые рельсы для усиления конструкции закреплены на подкрановых балках, которые установлены вдоль колонн здания. Ходовые колёса, расположенные по краям балки, приводятся в движение двумя электродвигателями через передаточные механизмы. На крановой балке закреплены рельсы, по которым осуществляет своё передвижение тележка. Тележка перемещается по балке с помощью собственного привода. На раме тележки размещен механизм подъёма груза, состоящий из крюковой подвески, канатного полиспаста, барабана, передаточного механизма, тормоза и электродвигателя. В настоящее время управление механизмами крана осуществляется пультом дистанционного управления, что обеспечивает наилучший обзор и безопасность работы [2].

Во время работы мостового крана направления движения крана, тележки и крюка постоянно чередуются. Цикл работы механизма вертикального перемещения состоят из времени подъёмов груза, времени перемещения груза механизмами передвижения балки и тележки (неподвижное состояние работы механизма вертикального перемещения груза), времени опускания груза и аналогичные процессы без закрепленного груза. Периоды работы механизма перемещения тележки и перемещения крановой балки также состоят из времени горизонтального перемещения груза (работает один из механизмов в зависимости от необходимого направления движения) и времени работы механизма вертикального перемещения груза, когда механизмы горизонтального перемещения находятся в неподвижном состоянии [3].

Для увеличения производительности крана используется совмещение операций, в зависимости от требуемого перемещения груза могут работать все три механизма единовременно.

Раскачивание груза значительно влияет на процесс работы мостового крана, увеличивается время перемещения груза за счёт необходимого времени на остановку раскачивания, возрастает возможность перекоса балки, что приведет к выходу оборудования из строя [4].

Для решения задачи демпфирования раскачивания груза необходимо составить расчётную схему колебания груза при движении крана (рис. 1), на которой $m_г$ – масса подвешенного груза; L – длина троса; α – угол отклонения груза; dS – расстояние отклонения груза; $V_б$ – скорость движения балки; $F_{нат.тр}$ – силам натяжения троса; $V_{гр.г}$ – скорость груза горизонтальная; $V_{гр.в}$ – скорость груза вертикальная; $V_{гр.окр}$ – скорость груза окружная; $F_{да}$ – сила движущая; $m_г g$ – сила тяжести груза.

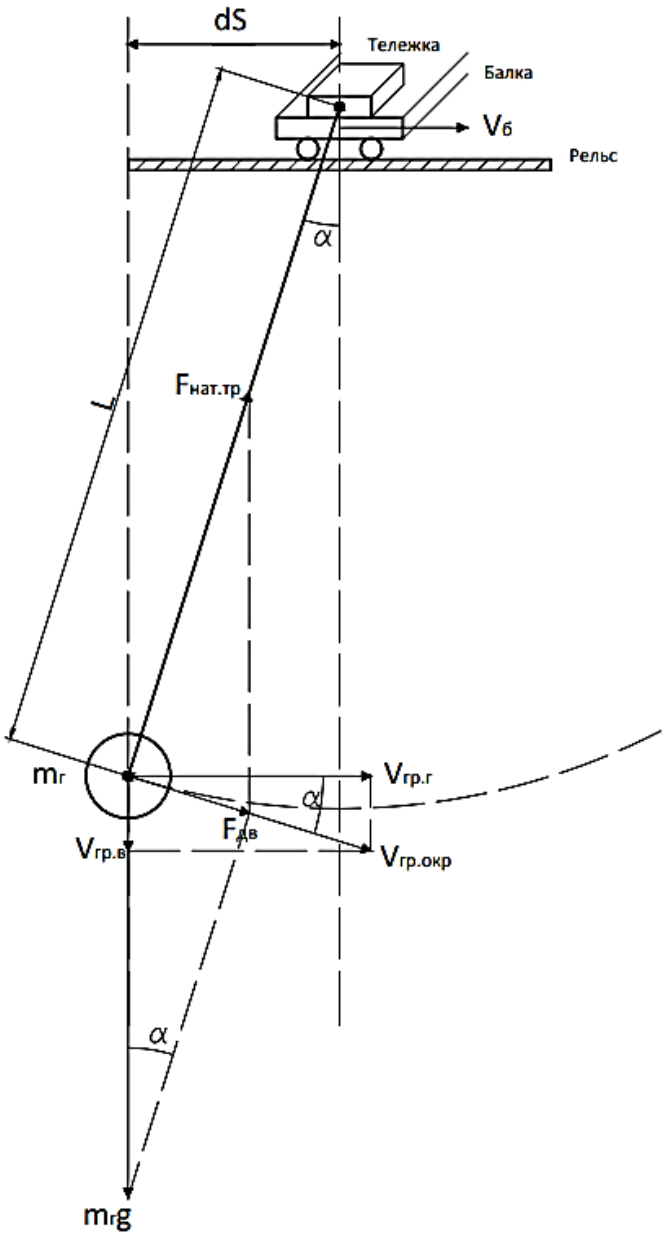


Рисунок 1. Расчётная схема колебания груза при движении крана

На основе схемы (рисунок 1) были составлены формулы, необходимые для анализа процесса раскачивания груза:

1. $\sin \alpha = (S_б - S_{гр.г})/L = (\int V_б*dt - \int V_{гр.г}*dt)/L$

При $t \to 0$; $S_{гр.г} \to 0$; $V_{гр.г} \to 0$;

2. $F_{дв}=m_г*g* \sin \alpha$

При $\alpha \to 0$;

3 $a_{гр.окр.} = F_{дв}/ m_г$

4. $V_{гр.окр}= \int F_{дв}/m*dt = \int a_{гр.окр}*dt$

5. $V_{гр.г}= V_{гр.окр}* \cos \alpha$

6.$S_{гр.г}=\int V_{гр.г}*dt$

На основе составленных формул создана структурная схема динамической модели балки крана с подвешенным грузом в среде MATLAB & Simulink (рис. 2).

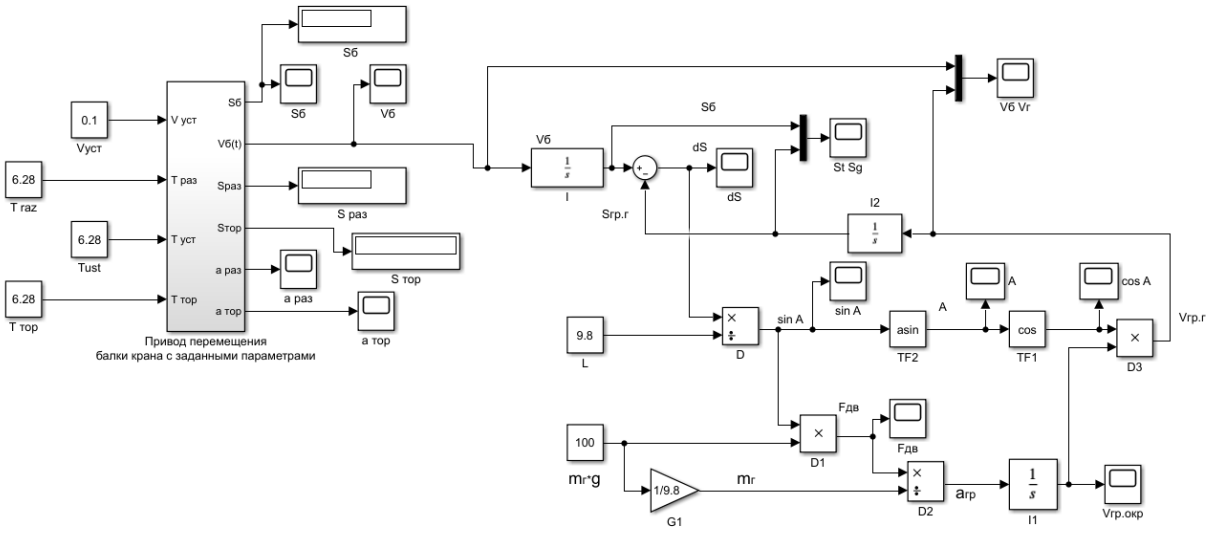


Рисунок 2. Структурная схема динамической модели балки крана с подвешенным грузом

Для анализа раскачивания груза необходимо использование осциллограмм, на которых изображаются графики отклонения груза dS; графики пути тележки и груза S_t S_g; графики скорости балки и груза $V_б$ $V_г$. В левой части модели создан суб-блок, который представляет из себя привод перемещения балки крана с заданными параметрами, выходом которого является сигнал на задание скорости балки, в качестве входных переменных данного суб-блока используются скорость балки в установившемся режиме $V_{уст}$; время разгона балки $T_{раз}$; время работы на установившейся скорости $T_{уст}$; время торможения балки $T_{тор}$.

Частота и период колебания груза, должны соответствовать приведённым ниже выражениям [5]:

$$\omega = \sqrt{g/L},$$

$$T = 2\pi\sqrt{L/g},$$

где ω – частота колебаний; g – ускорение свободного падения; L – длина троса; T – период колебаний. То есть частота и период колебаний зависят только от длины троса.

Графики пути балки и груза, полученные при использовании структурной схемы, представлены ниже (рисунок 3). При этом было принято: время разгона – 6.28 сек; время работы на установившейся скорости – 12.56 сек; время торможения – 6.28 сек; масса груза – 10 тонн; длина троса – L = 12 метров.

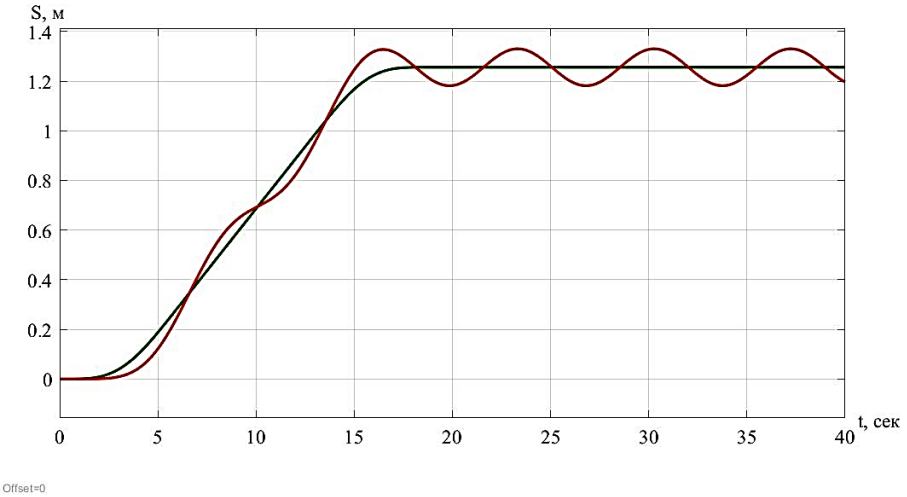


Рисунок 3. Графики пути балки – зеленая линия и груза – красная линия без компенсации раскачивания

Анализ графика (рисунок 3) подтверждает, что период и частота колебаний груза соответствуют приведенным выше формулам.

Проведенные эксперименты показали, что наиболее просто избежать колебаний груза после разгона и останова привода балки можно, согласовав время разгона и замедления с периодом колебания груза. В качестве примера принята длина троса будет L = 9.8 метров (период колебания груза составляет T = 6.28 сек), отсюда были взяты: время разгона – 6.28 сек; время работы на установившейся скорости – 12.56 сек; время торможения – 6.28 сек, кратные периоду, который в свою очередь является функцией длины.

В результате был получен график пути груза и балки (рисунок 4) при условии согласования времени разгона и замедления с периодом колебания груза. На графике можно заметить, что колебания груза во время движения присутствуют, но в момент остановки движения балки колебания груза прекращаются и груз становится неподвижен.

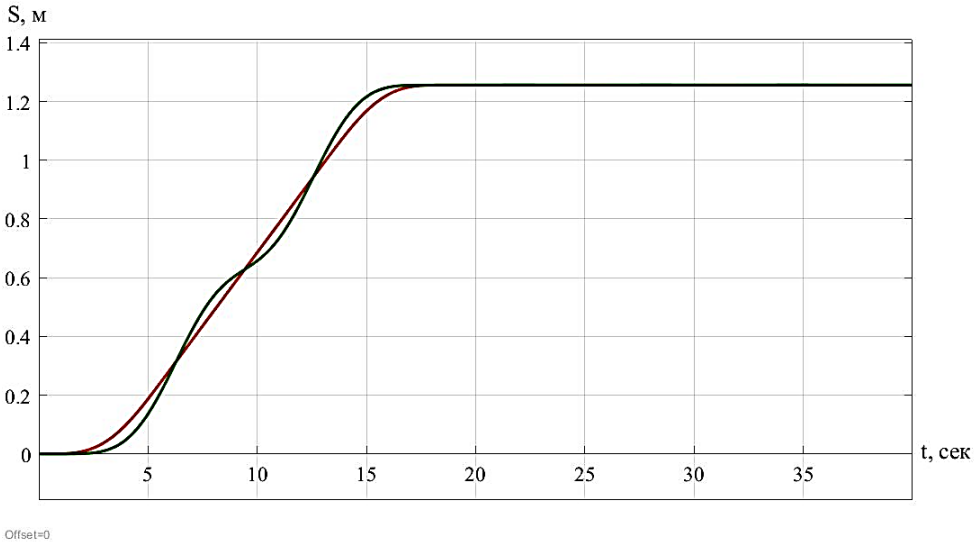


Рисунок 4. Графики пути тележки – зеленая линия и груза – красная линия при компенсации раскачивания

В то время как без стабилизации колебания, то есть без подбора времени разгона, работы на установившейся скорости и торможения в соответствии с периодом колебания груза, были заметные колебания груза как во время передвижения балки, так и после остановки движения балки (рисунок 3).

Анализируя работу систем с помощь графиков перемещения балки и груза, было выявлено, что система со стабилизацией груза путём формирования сигнала задания скорости движения балки в соответствии с длиной троса позволяет устранить раскачивания груза по завершении перемещения.

Подводя итог, можно сделать вывод, что раскачивание может быть компенсировано, если время разгона груза, время работы на установившейся скорости и время торможения будут кратны периоду колебания груза. То есть для компенсации раскачивания груза требуется знать длину троса, на который подвешен груз, и в соответствии с этой длиной подобрать время разгона, работы на установившейся скорости и торможения.

Список литературы:

1. Онищенко, Г. Б. Теория электропривода: учебник / Г. Б. Онищенко. – Москва: Инфра-М, 2023. – 294 с. – Текст: непосредственный.
2. Горемыкин, Е. В. Электрооборудование промышленности: учебное пособие / Е. В. Горемыкин. – Таганрог: Издательство ТРТУ, 2020. – 288 с. – Текст: непосредственный.
3. Енин, С. С. Совершенствование системы управления электроприводами мостового крана для демпфирования колебаний подвешенного груза: диссертация / С. С. Енин. – Магнитогорск: Издательство ФГАОУ ВО «Ю-УГФУ им. Ельцина», 2020. – 19 с. – Текст: непосредственный.
4. Коврыжкин, А. А. Система управления мостовым краном, построенная с учётом систем демпфирования колебаний груза и ограничения перекоса моста: автореферат / А.А. Коврыжкин. – Воронеж: Издательство НОУ ВПО «Международный институт компьютерных технологий», 2021. – 19 с. – Текст: непосредственный.
5. Поликарпов, Ю. В. Моделирование свободного движения четырехколесных кранов мостового типа с раздельным приводом. Часть первая -- установившееся движение / Ю. В. Поликарпов. – Москва: Многопрофильный учебный центр «Лик», 2021. – 31 с. – Текст: непосредственный.

© Мансуров Д. О., 2023

УДК 681.3

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЯ ПЕРЕДАЧА АУДИОСИГНАЛА ПО ТЕХНОЛОГИИ BLUETOOTH НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ESP32 И МИКРОСХЕМЫ PCM5102A

магистрант **Пономарев Артур Анатольевич,**
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент
Соловьев Денис Сергеевич,
Тамбовский государственный университет имени Г. Р. Державина,
г. Тамбов, Российская Федерация

Аннотация. В статье исследуется возможность разработки прототипа устройства на базе микроконтроллера ESP32 и цифро-аналогового преобразователя на основе микросхемы PCM5102A для высококачественной передачи аудиосигнала по технологии Bluetooth с целью дальнейшей оценки в ПО RightMark Audio Analyzer. Аудиосигнал будет передаваться по профилю A2DP и кодеку SBC до микроконтроллера в цифровом виде по технологии Bluetooth. От микроконтроллера с помощью подключенной к нему микросхемы звук будет преобразовываться в аналоговый сигнал и по AUX-проводу передаваться к конечному устройству.

Ключевые слова: ESP32, PCM5102A, Bluetooth, A2DP, RMAA, микроконтроллер, ЦАП, аудиосистема.

HIGH-QUALITY AUDIO SIGNAL TRANSMISSION USING BLUETOOTH TECHNOLOGY BASED ON ESP32 MICROCONTROLLER AND PCM5102A CHIP

Master Student **Ponomarev Artur Anatolyevich,**
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor
Solovjev Denis Sergeevich,
Tambov State University named after G.R. Derzhavin,
Tambov, Russian Federation

Abstract. The article explores the possibility of developing a prototype device based on the ESP32 microcontroller and a digital-to-analog converter based on the PCM5102A chip for high-quality audio signal transmission via Bluetooth technology for the purpose of further research in RightMark Audio Analyzer software. The audio signal will be transmitted via the A2DP profile and SBC codec to the microcontroller digitally via Bluetooth technology. From the microcontroller, using a microcircuit connected to it, the sound will be converted into a regular signal and transmitted via the AUX wire to a traditional device.

Keywords: ESP32, PCM5102A, Bluetooth, A2DP, RMAA, microcontroller, DAC, audio system.

В последние десятилетия способы беспроводной передачи аудиосигналов обретают всё большую популярность и постепенно вытесняет проводные способы. При использовании мощного оборудования для воспроизведения звука, которое зачастую использует только проводное подключение, нередко возникают ситуации, когда возможность использования провода либо ограничена, либо вовсе отсутствуют. Для решения этой проблемы в основном используют Bluetooth аудио адаптеры. При автоматизации процессов передачи звука в областях музыкального искусства требуется высокое качество связи, потому использование бюджетного устройства не дает гарантий стабильности соединения и высокого качества передачи аудиосигнала, а премиальные устройства имеют высокую стоимость и доступны не каждому.

Для решения проблемы доступности таких устройств в исследовании разрабатывается устройство, на базе бюджетного микропроцессора (микроконтроллера) ESP32, от компании Espressif Systems, так как из статьи [1] стало очевидно, что в основе подобных устройств обязательно должен быть микроконтроллер. Представленный микропроцессор используется в доступных платах для разработки ESP32-DevKitC (рисунок 1), средняя цена которых составляет 300 рублей за штуку (на момент написания статьи). Выбор ESP32 для базы разрабатываемого устройства будет отличным решением, так как он имеет высокопроизводительный 32-разрядный двуядерный процессор с тактовой частотой 240 МГц, а также Bluetooth-модуль версии v4.2 с поддержкой профиля A2DP (Advanced Audio Distribution Profile) для приема и передачи звука [2, 3]. В статье [4] автор приводит факт, что наличие помех в частотном диапазоне Bluetooth снижает скорость передачи данных, что может становиться причиной нестабильности. Так как производитель модуль ESP32-WROOM-32UE, который обладает разъемом типа IPEX для подключения антенны, платы разработки, использующие его, являются предпочтительным выбором. Использование антенны на частоте 2.4 ГГц должно значительно улучшить стабильность соединения и расстояние передачи аудиосигнала.

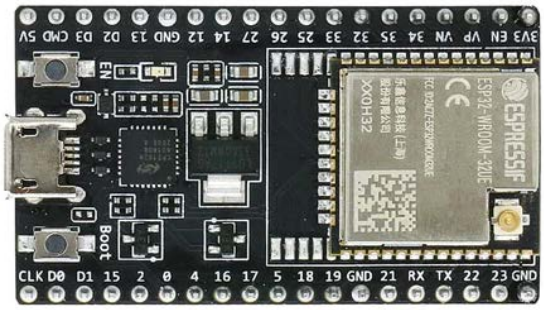


Рисунок 1. Плата разработки на базе модуля ESP32-WROOM-32UE

В книге [5] автор приводит примеры использования микроконтроллера ESP32 в работе с цифровыми аудиоданными с помощью интерфейса I2S. Чтобы преобразовать цифровой аудиосигнал к аналоговому, для дальнейшей передачи по проводу к системам воспроизведения звука необходим цифро-аналоговый

преобразователь (ЦАП). Бюджетным выбором ЦАПА может являться микросхема PCM5102A, которая устанавливается на платы декодеров I2S (рисунок 2), цена которых составляет 200 рублей за штуку (на момент написания статьи). Выбор данной микросхемы будет являться отличным решением, так как они применяются даже в профессиональных звуковых картах, таких как Steinberg UR-RT4, Steinberg UR816C, PreSonus Studio 26, и обладает хорошим отношением сигнал шум – 112 дБ, а также относительно низкими искажениями около -93 дБ (0,002%) [6]. В статье [7] приводится пример системы на базе микроконтроллера ESP32 в связке с микросхемой PCM5102A, что подтверждает возможность их совместного использования для разработки высококачественного Bluetooth аудио модуля. Для подключения платы цифро-аналогового преобразователя к микроконтроллеру потребуется 5 проводов, два из которых будет отвечать за питание (VIN и GND) и три – за передачу данных (BCK, DIN, LCK) [5].

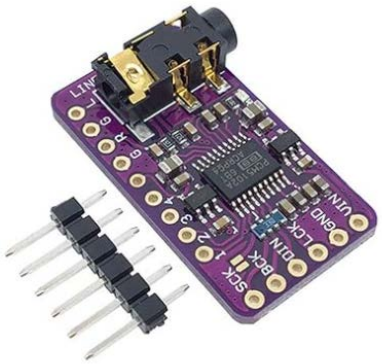


Рисунок 2. Плата декодера I2S PCM5102A

Для обеспечения возможности получения аудиоданных микроконтроллером по профилю A2DP в свободном доступе была обнаружена библиотека ESP32-A2DP [8], которая позволяет гибко сконфигурировать микроконтроллер ESP32 как в роли приемника, так в роли отправителя аудиоданных, а также полностью реализует передачу данных на I2S устройство. Программирование микроконтроллера производилось в среде разработки Arduino, в которую была установлена библиотека ESP32-A2DP. Пример кода запуска Bluetooth приемника был взят из библиотеки, скомпилирован в среде разработки и загружен на устройство по USB кабелю [3]. Подключение PCM5102A было произведено по инструкции из книги [5] и библиотеки [8].

Для проведения процесса тестирования собранного прототипа он был подключен к блоку питания смартфона XIAOMI Power Adapter (Model: MDY-08-EO), так как система оказалась достаточно чувствительна к помехам возникающих в источниках питания. С помощью AUX-кабеля плата с микросхемой PCM5102A была соединена с ноутбуком (встроенная звуковая карта на базе ALC 3246) в режиме линейного входа, ноутбук и микроконтроллер также были соединены по технологии Bluetooth. Из статьи [9], было выявлена

ПО RightMark Audio Analyzer, которое оказалось способно проводить не только анализ спектра, но и тестировать аудиосистемы по множеству других показателей. В программном обеспечении RightMark Audio Analyzer 6.4.5 был сконфигурирован уровень громкости и запущено полное тестирование, результаты которого приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты тестирования программы RMAA при частоте дискретизации 44.1 КГц и разрешении 16 бит

Показатель	Результат	Оценка
Неравномерность АЧХ (в диапазоне 40 Гц - 15 кГц), дБ	-0.07, -0.46	Очень хорошо
Уровень шума, дБ (А)	-90.1	Очень хорошо
Динамические диапазон, дБ (А)	86.9	Хорошо
Гармонические искажения, %	0.013	Хорошо
Гармонические искажения + шум, дБ(А)	-69.2	Средне
Интермодуляционные искажения + шум, %	0.031	Хорошо
Взаимопроникновение каналов, дБ	-67.4	Хорошо
Интермодуляции на 10 кГц, %	0.041	Хорошо

Неравномерность амплитудно-частотной характеристики – один из основных показателей при оценке аудиосистемы. По результатам тестирования неравномерность АЧХ в прототипе устройства оказалась крайне низкой (рисунок 3), программа выставила отличную оценку, как и показателю уровня шума.

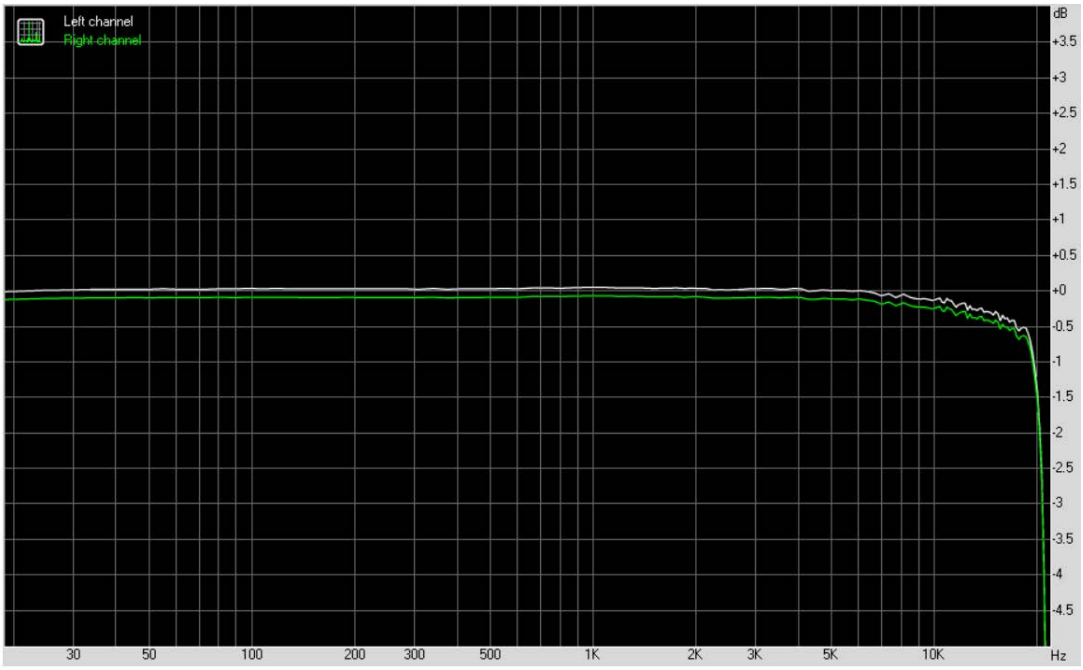


Рисунок 3. График амплитудно-частотной характеристики системы

Однако оценка гармонических искажений с шумом оказалась удовлетворительной (рисунок 4), что в целом является неплохим результатом,

хоть и самым низким среди остальных показателей. Наличие гармонических искажений является также важным показателем качества аудиосистем, их появление, по одному из предположений, может быть связано с использование встроенной звуковой карты ноутбука, которая не является профессиональной и могла внести собственные помехи при оцифровке аудиосигнала, полученного от микросхемы PCM5102A.

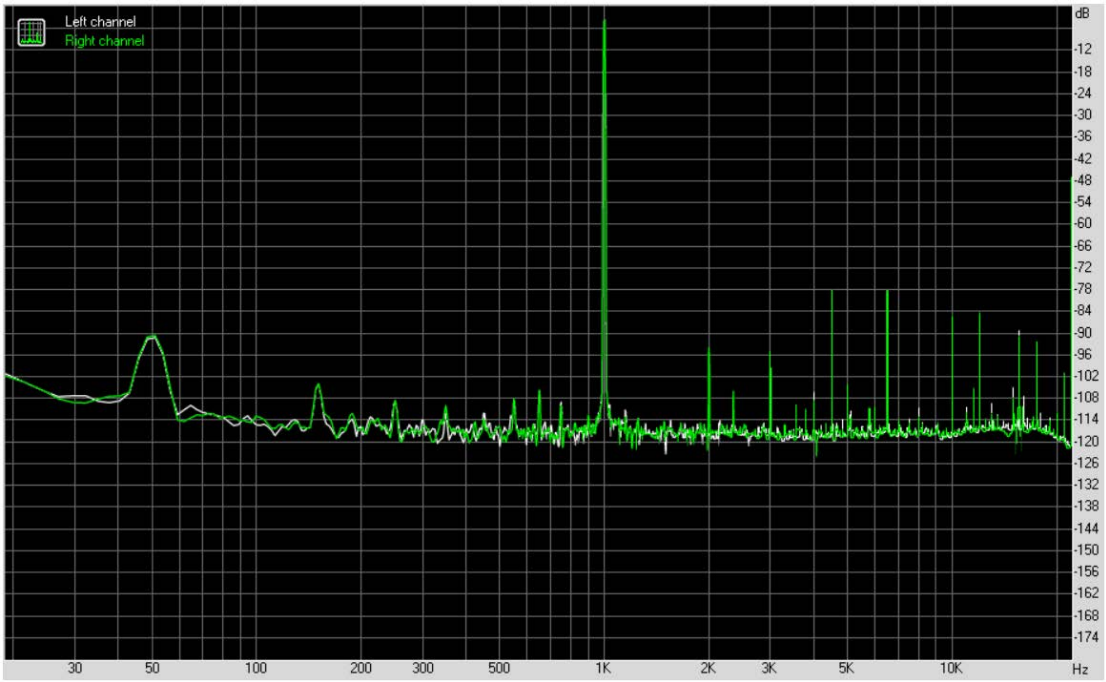


Рисунок 4. График гармонических искажений + шум (-3 дБ)

Суммарные затраты на разработку платы ESP32-DevKitC, ЦАП PCM5102A и Bluetooth антенну составили менее 1000 рублей (на момент публикации статьи), а тестирование показало очень хорошие результаты. Прототип обеспечивал стабильную передачу звука на расстоянии 15 м в прямой видимости с высоким уровнем качества передачи данных. Результаты исследования могут быть полезны при разработке бюджетных Bluetooth аудио адаптеров, с высоким показателем качества передаваемых данных, а также гибкой настройкой из-за использования свободной библиотеки ESP32-A2DP.

Список литературы:

1. Таубер К. О. Беспроводная Bluetooth-колонка с автономным источником питания // Открытая городская научно-практическая конференция «Инженеры будущего». – 2020. – С. 230-231. – Текст: электронный.
2. Захарова А. А. Передача стереосигнала по протоколу Bluetooth //Научное и техническое творчество молодежи. – 2023. – С. 65-69. – Текст: электронный.
3. Cameron N. ESP32 Microcontroller // ESP32 Formats and Communication: Application of Communication Protocols with ESP32 Microcontroller. – Berkeley, CA: Apress, 2023. – С. 1-54. – Текст: непосредственный.
4. Крапивной С. Д. Проблема передачи аудио высокого разрешения посредством технологии Bluetooth // Коммуникационные технологии: социально-

экономические и информационные аспекты. – 2021. – С. 26-28. – Текст: электронный.
5. Cameron N. I2S Audio //ESP32 Formats and Communication: Application of Communication Protocols with ESP32 Microcontroller. – Berkeley, CA: Apress, 2023. – С. 55-122. – Текст: непосредственный.
6. Техническая спецификация PCM5102A [сайт]. – 2015. URL: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/pcm5101a.pdf (дата обращения: 30.11.2023). – Текст: электронный.
7. Kodera T. Adaptive antenna system by ESP32-PICO-D4 and its application to web radio system //HardwareX. – 2018. – Т. 3. – С. 91-99. – Текст: электронный.
8. ESP32-A2DP [сайт]. – 2020. URL: https://github.com/pschatzmann/ESP32-A2DP (дата обращения: 30.11.2023). – Текст: электронный.
9. Алексеева А. В., Бородулина В. М. Организация системы обработки измерительной информации частотно-цифровых средств измерений //REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. – 2019. – Т. 9. – №. 4. – С. 11-14. – Текст: электронный.

© Пономарев А. А., 2023

УДК 330.15

РОЛЬ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В УСТОЙЧИВОМ РАЗВИТИИ РЕГИОНАЛЬНОГО СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

аспирант **Босе Упасак,**
науч. руководитель: доктор экон. наук, профессор
Кузменко Юлия Геннадьевна,
Южно-Уральский государственный университет,
г. Челябинск, Российская Федерация

Аннотация. В данной статье автор оценил уровень использования альтернативных источников энергии и их роль в устойчивом развитии Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ). Статья разделена на две части. В первой части анализируется развитие и внедрение возобновляемых и альтернативных источников энергии в целом в АЗРФ, а также их виды, преимущества и недостатки. Во второй части приведены некоторые ключевые проекты, связанные с возобновляемыми источниками энергии, с учетом каждого субъекта АЗРФ в отдельности. Автор попытался оценить текущую ситуацию в АЗРФ в отношении возобновляемых источников энергии.

Ключевые слова: Арктическая зона Российской Федерации, сценарий использования возобновляемых источников энергии в АЗРФ, развитие возобновляемой энергетики в субъектах АЗРФ, использование возобновляемых источников энергии в АЗРФ, энергетическая устойчивость, экологический баланс.

THE ROLE OF ALTERNATIVE ENERGY IN THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE REGIONAL SOCIO-ECONOMIC POTENTIAL OF THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION

Postgraduate student **Bose Upasak,**
Academic Advisor: Doctor of Economic Sciences, Professor
Kuzmenko Julia Gennadievna,
South Ural State University,
Chelyabinsk, Russian Federation

Abstract. In this article, the author assessed the level of use of alternative energy sources and their role in the sustainable development of Arctic Zone of Russian Federation (AZRF). The article is divided into two parts. The first part analyzes the development and implementation of renewable and alternative energy sources in general in AZRF, as well as their types, advantages and disadvantages. The second part presents some key projects related to renewable energy sources, taking into account

each subject of AZRF separately. The author tried to assess the current situation in AZRF regarding renewable energy sources.

Keywords: arctic zone of the Russian Federation, Scenario for the use of renewable energy sources in the Russian Arctic, Development of renewable energy in the constituent entities of the Russian Arctic, Use of renewable energy sources in the Russian Arctic, Energy sustainability, environmental balance.

Введение

АЗРФ содержит примерно 30 % мировых запасов газа и 13 % запасов нефти. Хотя субъекты АЗРФ богаты природными ресурсами, они существенно различаются по потенциалу развития в энергетическом секторе, особенно в сфере возобновляемых и альтернативных источников энергии. В соответствии с современными мировыми тенденциями использование зеленой энергии, современные экологически чистые технологии, инновации в энергетическом секторе и усилия по снижению глобального потепления являются ключевыми понятиями в любой отрасли или программах регионального развития, и тот же вектор применим даже к АЗРФ. Поставка и распределение зеленой и устойчивой энергии необходимы не только для сельских и городских населенных пунктов, но и для развития потенциала АЗРФ в сфере промышленных предприятий, фермерских хозяйств и создания туристической инфраструктуры [1]. Несмотря на то, что АЗРФ является регионом, имеющим значительный потенциал в развитии и внедрении возобновляемых видов энергетики, территорией, лишенной централизованной энергетической инфраструктуры из-за неоднородной и разнообразной модели развития. Экстремальные и неблагоприятные климатические условия усугубляют проблемы эффективного использования энергетических ресурсов.

Сценарий использования возобновляемых источников энергии в АЗРФ

Энергетический сценарий в АЗРФ характеризуется низкой интенсивностью, высоким износом техники и высокими потерями при передаче. Транспорт и логистика являются основным препятствием, которое увеличивает конечную цену энергии в 2-3 раза, это выше, чем в среднем по миру [2]. Вместе с тем низкая плотность населения, удаленность от экономических и торговых центров и удаленность населенных пунктов друг от друга еще больше затрудняют строительство энергетических объектов. Общий низкий КПД генерации приводит к высоким затратам, порядка 80–120 рублей за кВт/час. Финансовые аспекты также играют очень важную роль в энергетической экономике АЗРФ. Из-за недостаточного количества потребителей и отсутствия необходимой инфраструктуры инвесторы обычно не заинтересованы в инвестировании в зеленую энергетику в регионе, особенно потому, что первоначальные капитальные вложения в проекты зеленой энергетики высоки [3]. Нестабильная окружающая среда региона делает установку исключительно возобновляемых источников энергии сложной и невыгодной. Решением этой проблемы являются проекты когенерации, которые позволили бы

максимизировать интеграцию возобновляемых источников энергии без ущерба для энергетической безопасности, а также обеспечить необходимый резерв для генерации возобновляемых источников энергии. Возобновляемые источники энергии имеют еще одно уникальное преимущество в АЗРФ, поскольку они могут обеспечить бесперебойное электроснабжение рассредоточенных и изолированных населенных пунктов с низкими затратами на доставку [4]. В этом отношении эффективными могут оказаться малый местный бизнес и модели государственно-частного партнерства (ГЧП). В связи с этим необходимо ввести новые правовые и экономические нормы для принятия законодательных изменений, направленных на развитие новых форм государственно-частного партнерства, которые позволят государствам приобретать построенные активы, построенные инвесторами, с использованием частных кредитов, которые будут погашаться в рассрочку в процессе. эксплуатации объекта. Такой метод будет стимулировать привлечение инвестиций в развитие и модернизацию производства, гарантируя предоставление инвесторам отраслевых льгот и преференций, а также создавая стабильные условия для ведения бизнеса. Некоторые другие преимущества, которые модель ГЧП может принести в энергетический сектор, включают [5]: 1) унификацию источников проектного финансирования; 2) распределение и снижение рисков, поскольку проекты, связанные с альтернативной и возобновляемой энергетикой, предполагают высокие первоначальные затраты и риски; 3) привлечение дополнительных частных инвестиций, в том числе малого бизнеса; 4) обеспечение доступности для клиентов, а также повышение качества предоставляемых услуг; 5) создание новых рабочих мест, особенно для местного коренного населения АЗРФ; 6) взаимовыгодное сотрудничество государства и частного бизнеса; 7) продвижение технологических инноваций и предпринимательства; 8) участие государства в проектах обеспечивает гарантии мелким частным инвесторам, а также обеспечивает внимание и поддержку как муниципальным властям, так и местному населению. Может быть создан «Фонд развития Арктики», который будет оказывать помощь малому бизнесу, заинтересованному в секторе возобновляемых источников энергии, а также поддерживать научно-исследовательскую деятельность (НИОКР) в этой области. Этот «Фонд развития Арктики» может быть разделен между государством и частными инвесторами. Наряду с традиционными преимуществами, будет поддержка местных проектов, льготное финансирование, субсидированные процентные ставки, четко определенное правовое регулирование, а также защита интересов местного коренного населения, что будет выгодно для всех заинтересованных сторон.

Однако использование возобновляемых видов энергии имеет первостепенное значение в АЗРФ по многим причинам, таким как: 1) проблемы с транспортировкой нефти и газа; 2) высокие затраты на хранение и транспортировку; 3) загрязнение окружающей среды, которое приводит к таянию вечной мерзлоты и другим негативным воздействиям. В последние годы использование возобновляемых источников энергии значительно возросло во

всем мире, и его последствия можно увидеть и в АЗРФ [6]. Например, дочерняя компания «РАО ЭС Востока» «Сахаэнерго» работает над проектами по внедрению технологий возобновляемой энергетики на Дальнем Востоке и в АЗРФ [7]. Регион обладает огромным потенциалом для развития возобновляемых источников энергии, уровень потребления которого примерно в 15 раз выше, чем по всей стране. Наиболее распространенными формами возобновляемой энергетики в АЗРФ являются проекты, связанные с солнечной, ветровой, гидроэнергетикой и биотопливной энергетикой в районе Новой Земли и острова Франца-Иосифа, а также Белого и Баренцева морей. Несмотря на то, что перспективы ядерной энергетики все еще невелики, предпринимаются усилия для постепенного перехода к водородной энергетике в дополнение к гибридным видам энергии ветра, солнца, СПГ и гидроэнергетики [8].

Холодный ветер, имеющий более высокую плотность, чем теплый ветер, в свою очередь, повышает эффективность ветроэнергетических установок. В АЗРФ все активнее строятся ветроэнергетические установки, такие как экспериментальная ветроэлектростанция в Лабытнанги, проект «Поларис» в Ямало-Ненецком автономном округе, состоящий из четырех ветроэлектростанций, и экспериментальная ветроэлектростанция «Быков Мыс» в поселке Тикси с тремя ветряными турбинами мощностью 0,94 МВт. Тикси – полигон по изучению возобновляемых источников энергии, энергосбережения, включая изучение совместной работы ветряных турбин, солнечных электростанций и мини-ГЭС для обеспечения тепло- и электроэнергией. В 2019 году в Мурманской области начали строить Кольскую ВЭС мощностью 201 МВт. В Чукотском автономном округе уже работает Анадырская ветроэлектростанция мощностью 2,5 МВт с 10 ветрогенераторами. В настоящее время общая мощность ветроэлектростанций в АЗРФ составляет 210 МВт, при этом уже установлено 57 ветроэлектростанций [9]. Стоимость энергии, вырабатываемой ветровыми источниками, составляет около 15-20 руб/кВтч. Однако в АЗРФ существует огромный барьер для использования энергии ветра из-за заморозков в долгие зимы, которые могут снизить эффективность практически до нуля. Ветроэлектростанции в АЗРФ работают либо автономно, либо в дополнение к солнечным батареям вместе с механизмом распыления горячей воды для таяния льда с поверхности лопастей. Но этот метод предотвращения замерзания является дорогостоящим и увеличивает конечную стоимость энергии.

Солнечная энергетика более распространена в восточных субарктических регионах Республики Саха (Якутия) и в Чукотском автономном округе. Потенциал производства солнечной энергии выше в холодном климате. Однако одним из препятствий являются различия в продолжительности светового дня в разные сезоны года на территории АЗРФ. Среднегодовая суточная поставка солнечной энергии варьируется от 2 до 5 кВтч/м^2 в сутки [10]. Однако в ясные дни подача увеличивается до 6–8 кВтч/м^2 в день. Различия в поставках можно компенсировать соответствующей инфраструктурой для устройств хранения

энергии. В проекте задействовано много российских компаний из-за локализованных потребностей этого сектора. Например, в 2017 году в поселке Мыс Каменный Новопортовского месторождения (ООО «Газпромнефть-Ямал») прошли опытно-промышленные испытания комбинированной ветро-солнечной электростанции «Юрта». Электростанция состоит из двух ветрогенераторов, 30 солнечных панелей и аккумуляторной батареи. Стоимость электроэнергии, вырабатываемой с помощью солнечной энергии, составляет около 5-8 руб./кВт*час, что значительно ниже, чем на дизельных электростанциях. Примером реализации солнечной энергетики является национальный парк «Русская Арктика» — первая по величине особо охраняемая природная территория в России, расположенная в арктическом регионе. Его площадь составляет 8,8 млн га и включает в себя северную часть острова Северного архипелага Новая Земля и весь архипелаг Земля Франца-Иосифа. Здесь в летние месяцы с мая по октябрь использование солнечной энергии позволит ежегодно экономить до 2,5-3 тонн топлива [11].

Водород – еще одна форма возобновляемой энергии, которая приобретает все большее значение в АЗРФ. Рассматриваются два источника водорода [12]: 1) централизованный водород из неиспользуемых АЭС; 2) локализованное производство для использования в регионах, удаленных от экономических центров. Транспортировка водорода проще по сравнению с традиционной энергией, но не в газообразной или жидкой форме, а только в связанной форме (аммиак, метанол и т. д.), которую впоследствии можно легко преобразовать в газообразный водород без выбросов углеродных соединений в атмосферу и, таким образом, снизить загрязнение. Это также делает водород экспортным товаром из АЗРФ, и его можно легко производить рядом с солнечными или ветряными электростанциями. «НОВАТЭК» модернизирует одну из восьми газовых турбин на электростанции, снабжающей электроэнергией завод по сжижению природного газа «Ямал СПГ», чтобы снизить выбросы углекислого газа. Этот процесс реализован для частичного использования водорода в качестве топлива. Ожидается, что доля использования водорода может увеличиться до 60 % [13].

Биотопливо – еще одно направление в секторе возобновляемых источников энергии, которое импровизируется в АЗРФ. Сюда входит перевод котельных на биотопливо. Это поможет защитить окружающую среду и улучшить населенные пункты за счет переработки древесных отходов и оптимизации затрат на потребление дорогостоящего импортного топлива. Это также обеспечит снижение стоимости производства электроэнергии, повышение надежности энергоснабжения местных потребителей и улучшение качества жизни местного населения [14].

Использование возобновляемых источников энергии в АЗРФ имеет множество явных преимуществ и недостатков. К преимуществам относятся: 1) снижение транспортных расходов до арктических населенных пунктов; 2) относительно низкая себестоимость продукции; 3) низкое воздействие на

окружающую среду; 4) может использоваться совместно с традиционными источниками энергии; 5) снижение общих тарифов; 6) выгоден для использования клиентами в небольших и изолированных населенных пунктах, где транспортная доступность является серьезным препятствием. Однако в то же время имеются и недостатки, к которым относятся: 1) зависимость от региональных климатических условий; 2) вырабатываемая мощность имеет относительно низкий потенциал; 3) высокие первоначальные затраты на монтаж и длительный срок окупаемости; 4) зависимость от импортного оборудования для установок; 5) невозможность бесперебойного электроснабжения без резервных источников питания; 6) отсутствие конкретной правовой среды и отсутствие субсидий.

Развитие возобновляемой энергетики в субъектах АЗРФ

Региональным властям предоставлена значительная автономия в планировании и реализации проектов с учетом региональных и местных требований. Например, в Ненецком автономном округе внедрена программа развития когенерационных станций, состоящих преимущественно из ветровых и дизельных источников, а в Мурманской области активно ведется развитие возобновляемых источников энергии со строительством ветропарка мощностью мощностью 200,97 МВт. Некоторые проекты в отдельных субъектах АЗРФ по возобновляемой энергетике анализируются следующим образом:

По данным [15], в начале 1970-х годов в Архангельской области действовало 60 малых ГЭС мощностью от 6,5 до 107 кВт. Но сейчас ситуация кардинально изменилась. По программе «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в Архангельской области на 2010-2021 гг.» построено 13 котельных на биотопливе, закрыты 22 устаревших и нерентабельных котельных. За период с 2021 по 2025 годы 14 котлов, работающих на угле, будут заменены на древесное топливо. Эти меры в случае успешной реализации позволят сэкономить 7121 тонну угля и 10502 тысячи рублей в год. В Архангельской области наиболее перспективными регионами для выработки ветровой энергии являются Мезеньский, Онежский и Приморский районы, расположенные вблизи побережья Белого моря. В соответствии с проектом «Концепция развития локального теплоснабжения на территории Архангельской области до 2030 года», природный газ и биотопливо займут максимальную долю энергетики и заменят использование угля до 2 %.

В Ненецком автономном округе скорость ветра относительно высокая с низким коэффициентом вариации, что делает регион перспективным для ветроэнергетики. С 2012 по 2014 год в рамках международного проекта «Коларктик» Россия, Финляндия, Норвегия и Швеция реализовали проект «Полярный ветер», в рамках которого проводились научно-исследовательские работы по модернизации 4 дизельных электростанций, улучшению условий жизни людей, разработке 3D модели ветровых нагрузок и определение благоприятных мест для установки экологически чистых ветряных электростанций. В рамках проекта «Возобновляемые источники энергии

Заполярья: независимое энергосбережение – ПОЛЯРИС» дизельная электростанция мощностью 200 кВт заменена на ветроэлектростанции. В 2020 году ветряные электростанции установили еще в четырех населенных пунктах. Данные действия позволили снизить энергоэффективность региона за счет использования возобновляемых источников энергии и тем самым повысить надежность, снизить затраты на топливо и благотворно повлиять на экологию региона.

В Ямало-Ненецком автономном округе внедрена отечественная технология производства фотоэлектрических элементов, эффективно работающих как при экстремально низких, так и при высоких температурах до 23 %. В области созданы малые гидроэлектростанции и объекты микрогенерации единичной мощностью от 5 кВт до 1 МВт. Существуют планы по расширению развития ветроэнергетики в регионе.

В Мурманской области существует высокий потенциал прибрежной ветроэнергетики, но нет централизованной инфраструктуры для добычи газа, и поэтому она в основном зависит от дизельной энергетики. Для обеспечения электроэнергией отдаленных районов имеются ветряные турбины мощностью от 5 до 500 кВт, а также ветродизельные и ветросолнечные установки. Солнечные установки сталкиваются с проблемами из-за погодных условий, но тем не менее солнечные панели используются для обеспечения энергией более 120 маяков Кольского полуострова, каждый из которых имеет фотоэлементы мощностью от 0,05 до 0,5 кВт. Потенциал внедрения возобновляемых источников энергии в этом регионе огромен, но его масштабное развитие еще не началось в полной мере.

В Республике Карелия имеется множество малых ГЭС мощностью менее 25 МВт, но возрастом более 60 лет, инфраструктура которых устарела и требует замены и модернизации. В 2021 году планировалось ввести в эксплуатацию две малые ГЭС: «Белопорожская ГЭС-1» и «Белопорожская ГЭС-2» ООО «НГБП» общей мощностью 49,8 МВт. Вновь в 2022 году планировалось построить Сегозерскую МГЭС установленной мощностью 8,1 МВт. Республика Карелия лишена ветроэнергетического потенциала по сравнению с другими субъектами АЗРФ, такими как Мурманская область. Согласно прошлым федеральным и региональным программам, планировалось построить четыре ВЭС: Валаамскую (мощностью 1 МВт), ВЭС в поселке Валдай (1,2 МВт), Беломорскую (10 МВт) и Морскую ВЭС вблизи с. г. Кемь (8 МВт). Однако ни один из этих планов не был реализован из-за отсутствия интереса со стороны инвесторов.

Республика Саха (Якутия) уникальна своей огромной протяженностью и децентрализованной структурой промышленности, что делает невыгодным строительство крупных электростанций, прежде всего из-за больших расстояний между населенными пунктами. Таким образом, инвестиции в возобновляемые источники энергии значительно меньше по сравнению с другими субъектами АЗРФ, где доля возобновляемых источников энергии составляет лишь 1,3 % от общего объема источников энергии. На конец 2020 года в эксплуатации

находилось 23 источника возобновляемой энергии общей мощностью 2602 кВт, из них 21 — солнечные электростанции общей мощностью 1662 кВт и 2 – ветряные электростанции общей мощностью 940 кВт. В 2021 году компании ПАО «РусГидро» и ООО «Якутская генерирующая компания» планировали построить возобновляемые источники энергии, в том числе 6 солнечных электростанций общей мощностью 3343 кВт и 2 солнечные электростанции общей мощностью 125 кВт. Для внедрения возобновляемых источников энергии в рамках «РАО ЭС Востока» построено 13 солнечных станций. В 2015 году в поселке Батагай Верхоянского района начала работу крупнейшая солнечная электростанция за Полярным кругом мощностью 1 МВт [13].

В Чукотском автономном округе прилагаются усилия по увеличению объемов потребления природного газа в 3 раза и снижению стоимости природного газа на 15–30 %. Это позволит снизить тарифы на электроэнергию и снизить затраты на топливо в год на 150 миллионов рублей. Плавучий энергоблок проекта 20870 «Академик Ломоносов» построен в составе плавучей атомной теплоэлектростанции, имеет максимальную электрическую мощность 80 МВт и включает в себя два реакторных блока КЛТ-40С. Это уникальный проект, и Россия является пионером в его реализации во всем мире.

Красноярский край характеризуется экстремальными и суровыми климатическими условиями с низкими температурами в течение всего года, сильными ветрами и длинными полярными ночами. Плотность населения крайне низкая при высокой дисперсии расселения. Это затрудняет транспортировку энергии между различными населенными пунктами. Эти факторы, дополненные неразвитой инфраструктурой, высокими затратами на топливо, сложными логистическими цепочками и высокими эксплуатационными расходами, делают цены на энергоносители высокими. Этих проблем можно в значительной степени избежать за счет использования возобновляемых источников энергии, поэтому данная тема АЗРФ является перспективной с точки зрения развития возобновляемой энергетики. Северная часть обладает наибольшим ветроэнергетическим потенциалом. В результате подписания энергетического соглашения между ООО «Хевел Энергосервис» и ПМ ЭМР «Илимпийские электрические сети» в поселке Тура ведется строительство автономной гибридной электростанции. Установленная мощность составит 14,1 МВт, в том числе: дизельная мощность 11,6 МВт, солнечная энергия 2,5 МВт и емкость накопителей энергии 500 кВтч. Среднегодовая выработка энергии солнечной установкой составит 2,56 млн кВтч.

Заключение

Энергетическая устойчивость и экологический баланс являются важнейшими аспектами АЗРФ, и российские компании, работающие в регионе, уже начали предпринимать необходимые действия в этой области. Некоторые компании, такие как «Газпром», «НОВАТЭК» и «Газпромнефть», включают Цели устойчивого развития ООН в свои стратегии развития и определяют набор приоритетных целей в своей деятельности. Несмотря на ряд ограничивающих

факторов, таких как ресурсы, климат, логистика, персонал, окружающая среда, инфраструктура и технологии, использование технологий возобновляемой энергетики может стать одним из важнейших элементов адаптации к изменению климата в энергетическом секторе АЗРФ. Ограничивающие факторы могут быть в значительной степени уменьшены за счет применения инноваций и технологий. Это требует более активного государственного вмешательства в области продвижения, финансирования и субсидий технологических инноваций, а также создания инфраструктуры исследований и разработок. Важнейшим фактором в АЗРФ является балансирование экономической деятельности с экологической устойчивостью, поскольку это оказывает непосредственное влияние на жизнедеятельность и жизнь коренного населения. АЗРФ – уникальная территория, которая создает благоприятные условия для развития возобновляемой энергетики с использованием местных энергоресурсов, дает возможность развивать принципы децентрализованного энергоснабжения и внедрять интеллектуальные энергетические сети. Данные направления развития ТЭК полностью отвечают задачам обеспечения энергетической безопасности и энергетической независимости не только АЗРФ, но и России как страны.

Список литературы:

1. КЭФ: альтернативная энергетика в Арктике нуждается в господдержке // АО «РОСБИЗНЕСКОНСАЛТИНГ» URL: https://presscentr.rbc.ru/tpost/sm192irtn1-kef-alternativnaya-energetika-v-arktike (дата обращения: 29.11.2023).
2. Грицан Е. Д. Развитие ВИЭ в Арктике: перспективы и ограничивающие факторы / Грицан Е. Д. // Мировые цивилизации. – 2021. – №1. – С. 1-5.
3. Зеленая энергетика в Арктике // Энергия единой сети URL: https://xn-----glcfccctdci4bhow0as6psb.xn--p1ai/novosti/zelenaya-energetika-v-arktike/ (дата обращения: 29.11.2023).
4. Гадаль С., Игнатьева В. И. Альтернативные источники энергии как составляющая устойчивого развития Арктических регионов // HAL. – 2020. – С. 732-742.
5. Потравный И. М., Яшалова Н. Н., Бороухин Д. С., Толстоухова М. П. Использование возобновляемых источников энергии в Арктике: роль государственно-частного партнерства // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2020. – №1. – С. 144-159.
6. Альтернативная энергетика в Арктике: Перспективы использования возобновляемых источников энергии на Крайнем Севере // Goarctic URL: https://goarctic.ru/work/alternativnaya-energetika-v-arktike/ (дата обращения: 29.11.2023).
7. Альтернативная энергия Арктики // Pro-Arctic URL: https://pro-arctic.ru/16/12/2016/resources/24569 (дата обращения: 29.11.2023).
8. Стоцкий А. И., Никоноров С. М., Воротников А. М., Сергеев Д. А. Технологическое обоснование внедрения возобновляемых источников энергии в Арктике // Арктика 2035. – 2022. – №4.

9. «Зеленая» энергетика белоснежных просторов // Arctic-Russia URL: https://arctic-russia.ru/article/zelenaya-energetika-belosnezhnykh-prostorov/ (дата обращения: 29.11.2023).
10. Лебедева М. А. Особенности развития северных регионов на основе использования альтернативной энергетики // Научный результат. – 2021. – №2.
11. Альтернативная энергетика в «Русской Арктике» // Национальное информационное агентство «Экология» URL: https://nia.eco/2020/04/27/2196/ (дата обращения: 30.11.2023).
12. Какой может стать новая энергетика Арктики? // Кислород.ЛАЙФ URL: https://kislorod.life/opinions/kakoy_mozhet_stat_novaya_energetika_arktiki/ (дата обращения: 29.11.2023).
13. Энергетические инновации в условиях Арктики // Энергетическая политика URL: https://energypolicy.ru/energeticheskie-innovaczii-v-usloviyah-arktiki/neft/2021/13/15/ (дата обращения: 30.11.2023).
14. Чистяков А. Ю., Киселев С. Б., Рязанцева Д. С. Возможности использования возобновляемых источников энергии коренным населением Арктики // Кунсткамера. – 2020. – №1. – С. 19-23.
15. Иванов А. В., Складчиков А. А., Хренников А. Ю. Развитие электроэнергетики Арктических регионов Российской Федерации с учётом использования возобновляемых источников энергии // Российская Арктика. – 2021. – №2. – С. 62-80.

© Босе У., 2023

УДК 62-83

ОПТИМАЛЬНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА РЕОСТАТНЫМ СПОСОБОМ

студент **Таранухин Алексей Сергеевич,**
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент
Мезенцева Антонина Викторовна,
Нижневартовский государственный университет,
г. Нижневартовск, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассматривается реостатный способ регулирования электрического привода. В работе проведено исследование закона изменения сопротивления в роторе, обеспечивающего наилучшие результаты работы электрического привода. В результате анализа определено наиболее оптимальное, с точки зрения нагрева и потерь мощности, соотношение изменения сопротивления в цепи ротора в необходимом диапазоне с требуемой нагрузкой на валу.

Ключевые слова: момент, потери мощности, реостатное регулирование, сопротивление, электродвигатель, электрический привод.

OPTIMAL CONTROL OF THE ELECTRIC DRIVE BY RHEOSTATIC METHOD

Student **Taranukhin Alexey Sergeevich,**
Academic Advisor: PhD of Technical Sciences, Associate Professor
Mezentseva Antonina Viktorovna,
Nizhnevartovsk State University,
Nizhnevartovsk, Russian Federation

Abstract. The paper considers a rheostatic method of regulating an electric drive. In this work, a study was conducted to find the law of resistance change in the rotor, which provides the best results of the electric drive operation. As a result of the analysis, the most optimal, in terms of heating and power loss, ratio of resistance changes in the rotor circuit in the required range with the required shaft load was determined.

Keywords: torque, power loss, rheostatic regulation, resistance, electric motor, electric drive.

На сегодняшний день предложено много различных способов управления электрическим приводом, но вопрос оптимального управления вряд ли можно считать до конца исследованным и исчерпанным, несмотря на значительное количество исследований. Изменение параметров может быть осуществлено различным образом: простым реостатом в цепи ротора либо более сложными устройствами, с выпрямителями и инверторами, позволяющими изменять

частоту питающего напряжения или рекуперировать энергию скольжения обратно в сеть. Наблюдаемыми и измеряемыми в асинхронном двигателе являются управляемые параметры: токи в каждой фазе, напряжение и скорость. При построении алгоритмов управления широко используется математическое описание и идентификация параметров асинхронной машины, при этом оценке подлежат активные сопротивления фаз обмоток статора и ротора, индуктивности или моменты [1, с. 88].

Двигателем с фазным ротором можно управлять путем изменения параметров роторной цепи за счет введения добавочного сопротивления. К статору асинхронного двигателя подводится напряжение, и двигатель включается в работу, при этом в цепь ротора включаются добавочные резисторы, сопротивления которых можно изменять, как показано на рисунке 1.

Возможность изменения сопротивления в роторе трехфазного асинхронного электродвигателя используется и для осуществления его плавного запуска в ход. При этом любой способ управления должен реализовывать наиболее оптимальные эксплуатационные возможности электропривода с наилучшими техническими показателями [2, с. 30]. Данная задача является непростой, так как оптимизация одних параметров, к примеру первоначальных затрат, за счет выбора более простых и менее затратных способов управления, таких как регулирование сопротивлением в цепи ротора, влечет за собой ухудшение других, например, увеличение потерь и т. п. В связи с чем для двигателя с фазным ротором задача оптимального управления заключается в отыскании закона изменения сопротивления в роторе, обеспечивающего наилучшие результаты работы электрического привода.

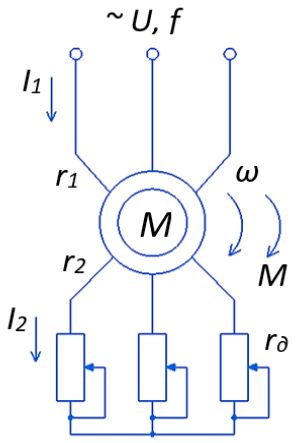


Рисунок 1. Схема АД с регулируемым сопротивлением в роторной цепи

Увеличение сопротивления в роторной цепи $r_д$ повышает скольжение электродвигателя и тем самым снижает его скорость, а в момент пуска позволяет уменьшить ток и увеличить пусковой момент до максимального значения. Для любого из возможных режимов в данном способе регулирования можно задать условие нагружения, состояния или управления. Координаты и параметры электропривода, в соответствии с рассматриваемой схемой управления, будут меняться в статическом режиме [3, с. 49].

Для выявления особенностей данного способа регулирования рассмотрим зависимость, связывающую вращающий момент и скольжение. Данная зависимость $M(s)$ определяется выражением:

$$M=C\Phi\frac{E_2 r_2}{r_2^2/s+sx_2^2}\ , \qquad (1)$$

где Φ – поток электродвигателя;

C – конструктивная постоянная;

E_2 – ЭДС ротора;

s – скольжение;

r_2, x_2 – активное и индуктивное сопротивления ротора.

Момент электродвигателя будет максимальный, если знаменатель достигнет своего минимального значения. Знаменатель состоит из двух слагаемых: первое при возрастании скольжения уменьшается, а второе, наоборот, возрастает. Экстремум функции $f(s)= r_2^2/s+sx_2^2$ будет найден, если производную от данного выражения приравнять к нулю, тогда получим, что скольжение, при котором момент двигателя будет иметь наибольшее значение, $s=r_2/x_2$.

То есть активное сопротивление напрямую влияет на величину скольжения, повышая его и сдвигая в сторону наибольших скольжений, снижая жесткость характеристик [4, с. 20]. При этом значение максимального момента при изменении активного сопротивления фазы ротора r_2 не меняется, изменяется только положение максимума кривой $M(s)$.

На рисунке 2 показаны механические характеристики при разных сопротивлениях роторной цепи, когда $r_д=0$ – естественная и $r_д\neq0$ – искусственные характеристики.

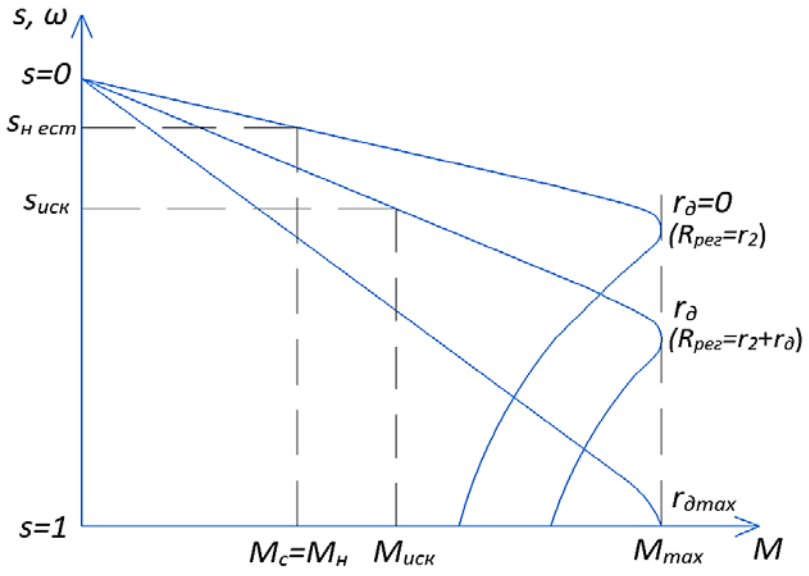


Рисунок 2. Механические характеристики асинхронного двигателя

Как видно из характеристик, скорость вращения при определенном моменте нагрузки на валу электродвигателя на каждой из них будет отличаться. Зная величину тока в каждый момент работы двигателя, можно произвести выбор реостата, который будет удовлетворять условию нагрева. Так как момент двигателя определяет величину тока роторной цепи, то при заданном неизменном моменте сопротивления M_c величина тока ротора остается постоянной и не зависит от величины дополнительного сопротивления роторной цепи.

В случае, если момент на валу и, соответственно, ток ротора изменяется, то необходимо установить такое добавочное сопротивление, чтобы потери в обмотке ротора не изменялись и были равны номинальным.

Электромагнитный момент, развиваемый двигателем, равен [5, с. 68]:

$$M = \frac{3I_2^2 r_2}{\omega_0 s} , \qquad (2)$$

где I_2^2 – ток в цепи ротора;

r_2 – сопротивление цепи ротора;

ω_0 – синхронная скорость магнитного поля;

s – скольжение.

Этот момент определяет его значение на естественной характеристике. Соответственно на искусственной характеристике с учетом $r_д$:

$$M_{иск} = \frac{3I_{2иск}^2 (r_2 + r_д)}{\omega_0 s_{иск}} . \qquad (3)$$

Потери в обмотке ротора пропорциональны скольжению и определяются как [3, с.25]:

$$P_{э2} = P_{эм} \cdot s , \qquad (4)$$

где $P_{эм}$ – электромагнитная мощность двигателя, которая равна:

$$P_{эм} = \frac{3I_2^2 r_2}{s} , \qquad (5)$$

тогда с учетом (5) и мощность электрических потерь:

$$P_{э2} = 3I_2^2 r_2 , \qquad (6)$$

$$P_{э2иск} = 3I_2^2 (r_2 + r_д) . \qquad (7)$$

Потери в цепи ротора при введении добавочного сопротивления распределяются между двигателем и введенным реостатом и при больших значениях $r_д$ выделяются в виде тепла на добавочном сопротивлении. Учитывая, что $P_{э2} = P_{э2иск}$, получим:

$$I^2_{2\text{иск}} = \frac{I_2^2 s}{s_{\text{иск}}}\ , \qquad (8)$$

где $s/s_{\text{иск}} = r_2/(r_2 + r_{\text{д}})$.

Подставим (8) в (3) получим:

$$M_{\text{иск}} = \frac{3I_2^2 s(r_2 + r_{\text{д}})}{\omega_0 s^2_{\text{иск}}}\ , \qquad (9)$$

откуда:

$$R_{\text{рег}} = \frac{M_{\text{иск}}\omega_0 s^2_{\text{иск}}}{3I_2^2 s}\ , \qquad (10)$$

где $R_{\text{рег}} = (r_2 + r_{\text{д}})$.

Согласно [6, с. 129] минимум потерь в обмотке ротора достигается в случае, если момент поддерживается на уровне:

$$M_{\text{иск}} = \frac{2\mu}{1+\mu^2}\ , \qquad (11)$$

где $\mu = M_{\text{с}}/M_{\text{ном}}$.

Подставив (11) в (10), получим:

$$R^{\text{опт}}_{\text{рег}} = \frac{2\mu}{1+\mu^2}\frac{\omega_0 s^2_{\text{иск}}}{3I_2^2 s} = a s^2_{\text{иск}}\ . \qquad (12)$$

Т. е. при рассматриваемом способе регулирования наиболее оптимальным с точки зрения нагрева и потерь мощности будет изменение сопротивления пропорционально квадрату скольжения.

Рассмотренный способ регулирования скорости изменением сопротивления роторной цепи возможно применять в электрических двигателях, имеющих фазный ротор. Скольжение в этом случает можно изменять разными способами, а условия регулирования определяются нагрузкой двигателя и заданным способом управления. Эти факторы в результате дают возможность определить наиболее эффективную систему управления для конкретного рассматриваемого электропривода. Выбранный способ регулирования посредством изменения величины сопротивления роторной цепи, несмотря на все присущие ему недостатки, позволяет осуществлять регулирование скорости двигателя в необходимом диапазоне с требуемой нагрузкой на валу. Данный способ наиболее эффективен в случае, когда общая доля потерь в расходах предприятия незначительна, а требования к пределам регулирования скорости невелики. При этом под понятием «эффективное оптимальное управление» следует понимать некоторое наилучшее соотношение между разными, порой противоречивыми факторами, определяемыми работой электропривода конкретной рассматриваемой машины. Но какой бы ни был выбран закон управления, оптимальным будет являться тот, который обеспечит минимум

потерь в процессе работы электропривода при наилучших регулировочных характеристиках и технико-экономических затратах.

Список литературы:

1. Макаров, В. Г. Идентификация параметров трехфазного асинхронного двигателя / В. Г. Макаров. – Текст: электронный // Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2010. – №3-4. – С. 88-101. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/identifikatsiya-parametrov-trehfaznogo-asinhronnogo-dvigatelya/viewer / (дата обращения: 27.11.2023).
2. Василенко, Д. В. Регулирование скорости электродвигателя изменением сопротивления в цепи ротора / Д. В. Василенко. – Текст: электронный // Научные исследования XXI века. – 2022. – № 6 (20). – С. 27-31. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_50013863_62286355.pdf / (дата обращения: 25.11.2023).
3. Мезенцева, А. В., Шалимов, М. С. Анализ условий эффективной работы электропривода в системе управления асинхронным двигателем / А. В. Мезенцева, М. С. Шалимов. – Текст: электронный// Энерго- и ресурсосбережение – XXI век. Материалы XV международной научно-практической интернет-конференции. – 2017. – С. 49-52. – URL: https://www.elibrary.ru/download/ elibrary_34945333_81163613.pdf / (дата обращения: 25.11.2023).
4. Масандилов, Л. Б., Москаленко, В. В. Регулирование частоты вращения двигателей / Л. Б. Масандилов, В. В. Москаленко. – М.: Энергия, 1978. – 96 с. – Текст: непосредственный.
5. Островлянчик, В. Ю., Поползин И. Ю. Математическая модель асинхронного двигателя для измерения электромагнитного момента / В. Ю. Островлянчик, И. Ю. Поползин. – Текст: электронный // Вестник Приамурского гос. университета им. Шолом-Алейхема. – 2016. – № 4(25). – С. 66-72. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskaya-model-asinhronnogo-dvigatelya-dlya-izmereniya-elektromagnitnogo-momenta/viewer / (дата обращения: 26.11. 2023).
6. Петров, Ю. П. Оптимальное управление электрическим приводом с учетом ограничений по нагреву / Ю. П. Петров. – Л: Энергия, 1971. – 143 с. – Текст: непосредственный.

© Таранухин А.С., 2023

УДК 622.276

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К БОРЬБЕ С КОРРОЗИЕЙ НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

студент **Федорова Ульяна Николаевна,**
студент **Апаев Станислав Владимирович,**
студент **Яндарханова Милана Загировна,**
науч. руководитель: канд. экон. наук, доцент **Янукян Арам Погосович,**
Филиал Тюменского индустриального университета в г. Сургуте
(Сургутский институт нефти и газа),
г. Сургут, Российская Федерация

Аннотация. В данной статье рассматривается вопрос защиты нефтегазопромыслового оборудования от коррозии в условиях месторождений Западной Сибири, определяются типичные виды коррозионных повреждений, приводятся отдельные методы борьбы с коррозией отдельных узлов погружного оборудования и конкретные решения, предлагаются меры комплексной защиты, оцениваются возможности их реализации и прогнозируемая эффективность.

Ключевые слова: борьба с коррозией, защитные покрытия, ингибиторы, коррозия, коррозия нефтегазопромыслового оборудования.

INTEGRATED APPROACH TO CORROSION CONTROL OF OIL AND GAS FIELD EQUIPMENT IN WESTERN SIBERIAN FIELDS

Student **Fedorova Ulyana Nikolaevna,**
Student **Apaev Stanislav Vladimirovich,**
Student **Yandarkhanova Milana Zagirovna,**
Academic Advisor: PhD in Economics, Associate Professor
Yanukyan Aram Poghosovich,
Branch of Tyumen Industrial University in Surgut (Surgut Institute of Oil and Gas),
Surgut, Russian Federation

Abstract. In this paper the question of protection of oil and gas field equipment from corrosion in conditions of Western Siberia fields is considered, typical types of corrosion damages are defined, separate methods of corrosion control of separate units of submersible equipment and specific solutions are given, measures of complex protection are offered, possibilities of their realization and predicted efficiency are estimated.

Keywords: corrosion control, protective coatings, inhibitors, corrosion, corrosion of oil and gas field equipment.

Проблема коррозии оборудования в нефтегазовой отрасли стоит достаточно остро и является источником больших материальных потерь.

Коррозионное разрушение снижает безопасность эксплуатации нефтегазопромыслового оборудования и служит осложняющим фактором при разработке месторождений. Его предотвращение требует комплексного подхода и зачастую оказывается достаточно сложной задачей. В условиях месторождений Западной Сибири, где обводненность превышает 90 %, вопрос защиты оборудования от коррозии приобретает особую актуальность.

Известно, что в зависимости от характера разрушения выделяют общую (сплошную, когда разрушение происходит по всей поверхности металла) и местную (локальную, когда скорость разрушения на отдельных конкретных участках может достигать величины, приводящей к возникновению сквозных повреждений в поверхности металла) коррозию [1]. Зачастую оборудование (как глубинно-насосное, так и поверхностное) подвергается одновременно общей и локальной коррозии. Однако на практике более часто встречаются местные повреждения (таблица 1), сопровождающиеся высокой скоростью разрушения отдельных участков с возможностью появления сквозных отверстий, поскольку разрушение происходит преимущественно вглубь металла [2].

Таблица 1 – Характеристика разновидностей местной коррозии оборудования

Вид повреждения	**Характеристика**
Язвы (рисунок 1)	Преимущественно сквозные повреждения, имеющие различную форму При интенсивном коррозионном воздействии возможно полное разрушение материала
Пятна	Отдельные повреждения на поверхности металла в виде пятен. Поражаемая площадь намного больше глубины проникновения, которая обычно невелика
Канавки	Продольные повреждения в форме канавок, образующиеся чаще всего в местах нарушения покрытия материала (сколы, царапины)
Плато	Плоские углубления различной формы (круглые, овальные либо рельефные). На границе плато отмечаются многочисленные язвенные повреждения. Локализуется в месте контакта корпуса погружного электродвигателя (ПЭД) с эксплуатационной колонной
Мейза-коррозия (рисунок 2)	Происходит распространение очага разрушения как в глубину, так и по площади, при этом поверхность металла приобретает характерный ребристый вид. Обычно возникает в средах с высоким содержанием CO_2

В условиях нефтепромыслов для определения природы повреждений подземного оборудования обычно выделяют три механизма коррозии – сероводородный (H_2S), кислородный (O_2) и углекислотный (CO_2). Все они обусловлены влиянием газа (сероводорода, кислорода или диоксида углерода), растворенного в пластовой воде. В условиях месторождений Западной Сибири, в пластовых жидкостях которых отсутствует сероводород, опасность представляет углекислотная коррозия с образованием язв и локальных очагов поражения большой глубины. При высоких пластовых температурах (более 100 °С) ее скорость может достигать 6–8 мм/год [3].



Рисунок 1. Язвенная коррозия корпуса ПЭД (с наличием канавок)



Рисунок 2. Мейза-коррозия корпуса ПЭД

В настоящее время существует множество эффективных методов выявления коррозии промыслового оборудования. К основным методам неразрушающего контроля относят: акустико-эмиссионный, магнитопорошковый (магнитный), вихретоковый, ультразвуковой (дефектоскопия и толщинометрия) и др. Эти методы позволяют с высокой точностью определить наличие и степень коррозионного разрушения. Защита оборудования также предусматривает разные подходы. Наиболее действенным считается комплексный подход, предлагающий комбинирование методов антикоррозионной защиты для достижения ее максимальной эффективности. Рассмотрим применяемые в условиях месторождений Западной Сибири средства защиты от коррозии.

Химические методы защиты основаны на закачке ингибиторов коррозии (таблица 2) для уменьшения скорости разрушения оборудования. Существуют ингибиторы комплексного действия, которые используются на скважинах, где совместно с коррозией возникает опасность солеотложения.

Таблица 2 – Характеристика некоторых ингибиторов коррозии

Ингибитор	**Область применения**	**Степень защиты**
«Викор-1»	Защита НГПО и трубопроводов в системах сбора обводненной нефти и ППД; подавление СВБ	85–90%
«ИНК-1»	Защита оборудования в высокоминерализованных средах, содержащих H_2S и CO_2 (преимущественно)	85–95%
«Амфикор»	Защита оборудования в высокоминерализованных средах, содержащих H_2S, CO_2 и O_2	85–95%
«Нефтехим-1»		95–98%

В России производство нефтепромысловых реагентов на 2023 г. осуществляет около 40 предприятий, наиболее крупные – ООО «Промхимсервис», АО «Опытный завод Нефтехим» (Башкортостан), ООО «Когалымский завод химреагентов» (ХМАО), ООО «Миррико» (Татарстан). Ингибиторы могут закачивать в затрубное пространство скважины либо использовать скважинные контейнеры (производства АО «Новомет-Пермь», «Л-Реагент» и др.) [4].

Широко известные физические методы защиты включают нанесение защитных покрытий (рисунок 3), изготовление оборудования из коррозионно-стойких материалов либо стеклопластика (рисунок 4) и катодную защиту (рисунок 5). Критическим недостатком защитных покрытий является полная утрата их эффективности при повреждении. В добывающих скважинах, в которые спущены НКТ с внутренними защитными покрытиями (ВЗП), технологические операции должны выполняться в соответствии с особыми инструкциями.

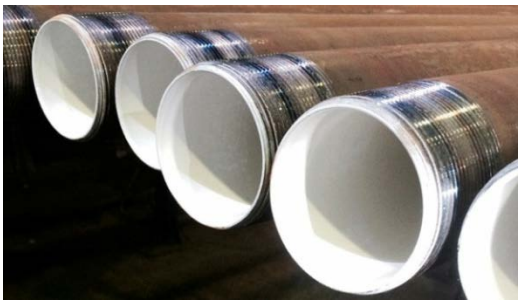


Рисунок 3. НКТ с ВЗП (покрытие силикатно-эмалевое)



Рисунок 4. Стеклопластиковые НКТ производства «УК «Промтехкомплект»

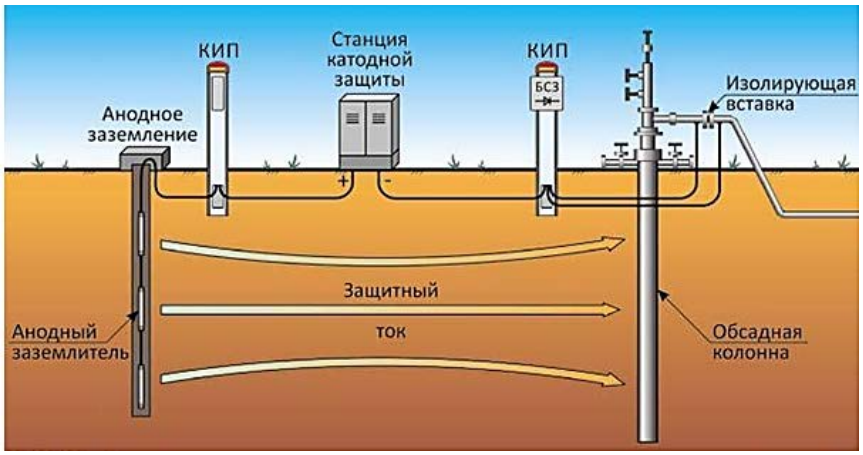


Рисунок 5. Схема катодной защиты скважины

Подбор комплекса защитных мероприятий для каждой конкретной скважины обязательно включает анализ текущих условий коррозии, который проводится в пять стадий.

На первой стадии уточняют локализацию повреждений, на второй – определяют их тип и природу коррозионного процесса. На третьей стадии подбирается комплекс мер, возможный к применению для защиты как можно большего числа узлов погружного оборудования (таблица 3). На четвертой стадии при помощи рассмотрения пограничных критериев применимости для данной скважины с учетом параметров ее работы определяют мероприятия, возможные к реализации в данных условиях.

Заключительный пятый этап предполагает сравнение отобранных технологий по ряду экономических (например, стоимость мероприятий за год) либо технико-экономических (снижение скорости коррозии вследствие реализации мероприятия, увеличение межремонтного периода работы

оборудования, прогнозируемая экономическая эффективность мероприятия) критериев.

Таблица 3 – Способы защиты узлов погружного оборудования от коррозии

№	Зона повреждения	Характер коррозии	Варианты технологий для защиты оборудования
1	Корпус ПЭД	Общая	Включение в компоновку погружного контейнера-дозатора с запасом ингибитора; Задавка ингибитора в пласт; Защитные покрытия ПЭД; Протекторная защита; Периодическая закачка ингибитора в затрубное пространство
		Локальная язвенная	
2	Ступени ЭЦН	Мейза-коррозия	
3	НКТ (снаружи)	Общая	Замена материала труб на коррозионно-стойкий / применение СНКТ; Защитные покрытия; Закачка ингибитора в затрубное пространство
		Локальная язвенная	
4	НКТ (внутри)	Мейза-коррозия	
5	Выкидная линия скважины	Общая внутренняя	Закачка ингибитора в затрубное пространство / в выкидную линию скважины; Применение ВЗП
		Локальная язвенная	
		Мейза-коррозия	

Различные методы в отдельности не способы защитить всю погружную установку, и лучшим решением является комбинирование технологий для обеспечения максимально возможной защиты (таблица 4). Ключевым фактором при выборе защитной технологии является зона покрытия оборудования. При комплексном подходе результат оценивается с учетом совокупных затрат на применение всех выбранных методов.

Таблица 4 – Охват погружного оборудования методами защиты от коррозии

№	Метод защиты	ЭК	НКТ (внут.)	НКТ (внеш.)	Броня кабеля	Резьбовые соединения труб	ПЭД	Секции насоса
1	Периодическая закачка ингибитора в затрубное пространство	+	+	+	+	+	–	+
2	Погружной контейнер-дозатор ингибитора в составе компоновки	–	+	–	–	+	+	+
3	Совместно 1 + 2	+	+	+	+	+	+	+
4	Протекторная защита	+	–	+	+	–	+	+
5	Применение НКТ в коррозионно-стойком исполнении	–	+	+	–	–	–	–
6	Изолирующее покрытие труб	–	+	+	–	–	–	–
7	ЭЦН и ПЭД в коррозионно-стойком исполнении	–	–	–	–	–	+	+
8	Кабель в коррозионно-стойком исполнении	–	–	–	+	–	–	–

Как отмечают специалисты, в условиях месторождений Западной Сибири наиболее часто встречается проблема коррозионных повреждений внутренней поверхности НКТ [5]. Проблема решается использованием НКТ в коррозионно-стойком исполнении или с ВЗП (либо стеклопластиковых) и дозированием ингибиторов в затрубное пространство (зачастую вручную с помощью переносного оборудования, реже – устьевыми дозаторами). Главным недостатком приведенных решений являются накладываемые ограничения на проведение технологических операций в скважинах.

В качестве комплексного решения дополнительно к указанным мероприятиям рекомендуется:

– применение НКТ с содержанием хрома 5 % (на поверхности трубы образуется пассивирующая пленка, не теряющая стабильность до температуры 120–150 °С, опробовано на Герасимовском и Чкаловском месторождениях);

– повышение качества очистки растворов глушения от мехпримесей;

– периодическая закачка ингибиторов в затрубное пространство при помощи блоков реагентного хозяйства (БРХ), для дозирования рекомендуются ингибиторы ServoDeldenLtd (показали высокую эффективность на Ван-Еганском месторождении).

Подводя итоги, важно отметить, что вопрос комплексного подхода к коррозионной защите нефтегазопромыслового оборудования не теряет актуальности, поскольку принятие отдельных мер часто не обеспечивает должной эффективности. В случае наличия нескольких источников коррозионного разрушения различной природы (например, дополнительная проблема биологической коррозии промысловых трубопроводов) комплексный подход остается единственным верным решением, обеспечивающим улучшение технико-экономических показателей работы нефтегазовых промыслов и увеличение срока службы промыслового оборудования.

Список литературы:

1. Савенок, О. В. Анализ коррозионно-механических разрушений конструкционных материалов нефтегазопромыслового оборудования / О. В. Савенок, А. Н. Горпинченко, П. П. Порывкин. – Текст: непосредственный // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2022. – № 3. – С. 133–147.

2. Савенок, О. В. Особенности эксплуатации нефтяных и газовых скважин в условиях высокой коррозионной агрессии / О. В. Савенок, А. Н. Горпинченко. – Текст: электронный // Науки о земле – 2022. – № 2. – URL: http://id-yug.com/images/id-yug/SET/2022/2/2022-2-155-170.pdf (дата обращения: 04.09.23).

3. Кашковский, Р. В. Некоторые аспекты углекислотной коррозии стального оборудования и трубопроводов нефтегазовых промыслов / Р. В. Кашковский, К. А. Ибатуллин. – Текст: непосредственный // Наука и техника в газовой промышленности. – 2016. – № 3 (67). – С. 71–91.

4. Обзор рынка ингибиторов коррозии в России. – Текст: электронный // Отчет ООО «Исследовательская группа «Инфомайн», 2-е изд., 2023 г. – URL: https://infomine.ru/files/catalog/588/file_588_eng.pdf (дата обращения: 07.09.23).
5. Даминов, А. А. Коррозионные поражения подземного оборудования добывающих скважин на месторождениях Западно-Сибирского региона. Исследование причин коррозии, разработка и применение мероприятий по снижению коррозионного воздействия / А. А. Даминов. – Текст: электронный // Инженерная практика. – 2010. – № 6. – URL: https://glavteh.ru/коррозионные-поражения-подземного-о/ (дата обращения: 12.09.23).

© Федорова У. Н., Апаев С. В., Яндарханова М. З., 2023

УДК 004.02

ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВИЗАЦИИ БЕРЕЖЛИВОГО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

студент **Маняхина Злата Александровна,**
студент **Черемухов Даниил Васильевич,**
науч. руководитель: преподаватель, начальник отдела развития профессиональных компетенций **Кривоносова Наталья Викторовна,**
ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В данной работе представлены новейшие технологии цифровизации, способствующие внедрению принципов «бережливого здравоохранения», что включает в себя улучшение качества и результативности медицинской помощи, снижение затрат и повышение удовлетворенности пациентов и медицинского персонала. Рассматриваются такие технологии, как телемедицина, электронная медицинская документация и применение искусственного интеллекта (ИИ) в различных областях медицины, приводятся примеры их использования и методы применения. Также внимание уделяется технологиям моделирования эпидемиологических процессов, в частности моделям SIR и SEIR.

Ключевые слова: бережливое здравоохранение, ИИ, телемедицина, ЭМЗ, электронная медицинская документация, SIR, SEIR, эпидемиологическое моделирование.

DIGITALISATION TECHNOLOGIES FOR LEAN HEALTHCARE

Student **Manyakhina Zlata Alexandrovna,**
Student **Cheremukhov Daniil Vasilyevich,**
Academic Advisor: Lecturer, Head of the Professional Competences Development Department **Krivonosova Natalia Viktorovna,**
Federal State Budget-Financed Educational Institution of Higher Education The Bonch-Bruevich St Petersburg State University of Telecommunications,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. This article presents the latest digitalisation technologies that contribute to the implementation of the principles of «lean healthcare», which includes improving the quality and efficiency of medical care, reducing costs and increasing the satisfaction of patients and medical staff. Technologies such as telemedicine, electronic medical records, and the application of AI in various fields of medicine are considered, examples of their use and methods of application are given. Attention is

also paid to modelling of epidemiological processes, in particular SIR and SEIR models.

Keywords: lean healthcare, AI, telemedicine, EHR, electronic medical records, SIR, SEIR, epidemiological modelling.

В современном мире цифровизация играет ключевую роль во всех сферах человеческой деятельности, в том числе и в здравоохранении. Под понятием цифровизации понимается повсеместный процесс внедрения цифровых технологий в различные сферы жизни общества: экономику, систему здравоохранения, культуру, образование и др. [1]. Развитие информационных технологий в здравоохранении и социальные изменения создают новые вызовы, такие как рост хронических заболеваний и распространение инфекций; цифровизация здравоохранения становится всё более актуальной.

Если подробно рассматривать сферу охраны и защиты здоровья населения, то можно выявить, что цифровизация довольно сильно изменила ее за последние 20 лет [1]. Модернизация системы здравоохранения направляется на улучшение клинической, экономической и социальной эффективности, а также повышение доступности медицинской помощи.

Развивающиеся технологии уже сейчас изменяют способ обработки и хранения медицинских данных. Медицинские данные, такие как история болезни, показатели крови или результаты обследований, собираются в кабинетах врачей непосредственно в электронных компьютерных системах. Злокачественные опухоли уже почти регулярно секвенируются в биомедицинских исследованиях, а также хранятся и обрабатываются в электронном виде, и все больше и больше людей выбирают мобильные приложения [2].

В силу вызовов, с которыми сталкиваются системы здравоохранения, цифровизация становится неотъемлемым средством для улучшения качества и доступности медицинской помощи.

Применение цифровых технологий в здравоохранении открывает возможности и позволяет оптимизировать процессы оказания медицинских услуг, улучшить диагностику и терапию, уменьшить бюрократические издержки и повысить вовлеченность пациентов в собственное здоровье.

Тем самым, изучение и развитие технологий цифровизации здравоохранения является важным направлением для усовершенствования системы здравоохранения и обеспечения её устойчивости в будущем.

Одними из самых распространенных технологий цифровизации считаются:

1. Электронная медицинская запись (ЭМЗ)

Электронная медицинская запись (ЭМЗ) – это цифровой документ, позволяющий хранить и обрабатывать информацию о состоянии здоровья пациентов, лечении и результаты обследований. ЭМЗ позволяет хранить, обрабатывать и передавать данные в защищенном формате, а также

обеспечивают доступ к ним для различных участников процесса оказания медицинской помощи.

Помимо того, что ЭМЗ дает пациентам возможность легко получать доступ к своей медицинской информации, главными преимуществами ЭМЗ считаются повышенная безопасность и упрощение процесса ведения и анализа медицинской документации.

ЭМЗ используется во многих отечественных медицинских программах, таких как, «Альфа-Мед» или «МедАнгел».

2. Телемедицина

Телемедицина предлагает оказание медицинских услуг на расстоянии с помощью информационно-коммуникационных технологий. Она позволяет проводить консультации, диагностику, мониторинг заболеваний и профилактику без физического присутствия врача или пациента, поэтому способствует расширению доступа к медицинской помощи, особенно для жителей отдаленных и сельских районов. Телемедицина также значительно упрощает процесс диагностики, лечения, мониторинга и консультирования пациентов.

Особенно важность телемедицины доказала пандемия COVID-19. В докладе Всемирной организации здравоохранения в ноябре 2020 года, Россия представлена как одна из стран, успешно применивших телемедицину (TeleHealth/Telemedicine) в разгар пандемии COVID-19 [3].

В местах с высоким риском заражения COVID-19 и ограниченными ресурсами телемедицина позволяет врачам проводить видеоконсультации, выписывать рецепты, отправлять результаты анализов и давать советы по профилактике и лечению, обеспечивая пациентам доступ к качественной медицинской помощи из дома, сводя при этом риск заражения к минимуму и экономя время и деньги.

В качестве примера программного продукта, использующего телемедицину, можно привести программу для ЭВМ «СберЗдоровье Телемедицина», предназначенную для телемедицинских консультаций.

3. Искусственный интеллект

Искусственный интеллект (ИИ) представляет собой комплекс алгоритмов и технологий, способных анализировать большие объемы данных, обучаться на основе опыта и принимать решения, требующие человеческого интеллекта. ИИ является широко используемой технологией и может быть использован для улучшения диагностики, прогнозирования, лечения и профилактики заболеваний, а также для оптимизации управления и планирования в здравоохранении. Например, искусственный интеллект может помочь врачам диагностировать заболевания на основе анализа медицинских изображений и предоставить индивидуальные рекомендации для пациентов на основе их данных и анализа разных факторов. Также искусственный интеллект может помочь в оптимизации распределения ресурсов, планировании лечения и анализе эффективности и безопасности лекарств и процедур.

ИИ может помочь врачам в диагностике различных заболеваний, таких как рак, инфекции, травмы, на основе анализа рентгеновских снимков, КТ, МРТ и других видов медицинских изображений, или, например, в прогнозировании рисков и исходов для пациентов, основываясь на их медицинской истории, генетике, образе жизни и других факторах. ИИ может также помочь в оптимизации распределения ресурсов, планировании лечения и профилактики, анализе эффективности и безопасности лекарств и процедур.

Например, в России разработана платформа ИИ для анализа медицинских исследований Botkin.AI, которая может распознавать патологии на рентгеновских снимках грудной клетки и легких, а также имеют высокую точность подтверждения пневмонии, вызванной COVID-19. Исходя из статьи 2021 года, наиболее перспективной компанией, представляющей сегмент ИИ в здравоохранении, является компания Webiomed и ее инструменты предиктивной аналитики. [4]

Для успешного анализа данных, предсказания возможных сценариев развития и оптимизации рабочих процессов важно иметь представление о лежащих в их основе математических моделях.

В контексте здравоохранения моделирование может быть использовано для прогнозирования распространения эпидемий, оптимизации планирования ресурсов, анализа эффективности лечения и для многих других задач.

Одной из наиболее распространенных моделей в здравоохранении является моделирование эпидемий. Эти модели могут быть использованы для прогнозирования распространения инфекционных заболеваний, а также для оценки эффективности мер по борьбе с ними.

Модель SIR (модель Кермака Маккедрика) – одна из простейших моделей, в которых с помощью систем дифференциальных уравнений описывается динамика групп восприимчивых, инфицированных и выздоровевших индивидов. Многие модели являются производными от этой базовой формы. Модель состоит из трех «ячеек». S: количество лиц, восприимчивые к инфекции, то есть те люди, которые не имеют иммунитета к данному вирусу и потенциально могут заразиться. I: число инфицированных в некоторый момент времени. Это инфицированные люди, способные заразить восприимчивых людей. R: количество людей, которые переболели, имеют иммунитет, или число умерших лиц [5].

Таким образом, для любого момента времени сумма этих трех значений равна общей численности популяции:

$$S(t) + I(t) + R(t) = N, \qquad (1)$$

где S – количество лиц, восприимчивые к инфекции;

I – число инфицированных;

R – количество людей, которые переболели, имеют иммунитет, или число умерших лиц;

N – общая численность популяции;

t – момент времени.

Однако, модель SIR имеет значительный недостаток – идеализация и упрощение реальности, например, предположение, что население однородно и смешивается случайно, что все зараженные одинаково инфекционные, что выздоровевшие становятся иммунными и не могут снова заразиться, что нет смертности и рождаемости и т. д.

Модель SEIR – это динамическая модель, которая используется для моделирования распространения инфекционных болезней в популяции, разделяя ее, теперь уже на четыре группы: восприимчивые (S), зараженные (E), инфицированные (I) и выздоровевшие (R). Модель SEIR позволяет изучать и воспроизводить динамику и эволюцию эпидемии во времени и пространстве, а также анализировать влияние различных параметров, таких как скорость заражения, период инкубации, продолжительность инфекции и т. д. Модель может быть адаптирована к различным типам инфекционных болезней, учитывая их особенности, такие как сезонность, иммунитет, мутации и т. д., и расширена на несколько популяций, учитывая их демографические, географические и социальные характеристики, а также мобильность и контактность между ними.

Однако и она имеет свои недостатки: модель основана на предположении однородности популяции и постоянстве параметров. Она требует достаточного количества и качества данных для калибровки и валидации модели, а также для оценки неопределенности и чувствительности результатов.

Модели моделирования, которые используются в рамках бережливого здравоохранения, представляют собой математические или компьютерные представления реальных объектов, явлений или ситуаций, связанных с оказанием медицинских услуг. Модели моделирования позволяют анализировать, симулировать, оптимизировать и управлять различными аспектами функционирования системы здравоохранения, а также прогнозировать ее поведение и результаты в разных сценариях.

Таким образом, технологии цифровизации здравоохранения представляют собой мощный инструмент для улучшения здоровья и благополучия человечества, а также для снижения нагрузки на медицинскую систему. Однако, эти технологии также ставят новые вызовы и вопросы, связанные с этикой, правом, безопасностью, качеством и доступностью медицинской помощи. Поэтому, необходимо развивать эти технологии с учетом потребностей и интересов всех заинтересованных сторон, а также соблюдать принципы бережливого здравоохранения, такие как ценность для пациента, устранение потерь, оптимизация потока, постоянное совершенствование и уважение к людям.

Список литературы:

1. Бацина Е. А., Попсуйко А. Н., Артамонова Г. В. Цифровизация здравоохранения РФ: миф или реальность? // Врач и информационные технологии. – 2020. – №3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-zdravoohraneniya-rf-mif-ili-realnost (дата обращения: 30.11.2023).
2. Шапиро С. Р., Коновалова М. Е. Об эффективности цифровизации в здравоохранении // Столыпинский вестник. – 2021. – №2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ob-effektivnosti-tsifrovizatsii-v-zdravoohranenii (дата обращения: 30.11.2023).
3. Игнатова А. И., Спасенникова М. Г. Телемедицина: влияние пандемии на тренды цифровой дистанционной помощи // Бюллетень Национального научно-исследовательского института общественного здоровья имени Н. А. Семашко. – 2022. – №1-2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/telemeditsina-vliyanie-pandemii-na-trendy-tsifrovoy-distantsionnoy-pomoschi (дата обращения: 30.11.2023).
4. Комарь П. А., Дмитриев В. С., Ледяева А. М., Шадеркин И. А., Зеленский М. М. Рейтинг стартапов искусственного интеллекта: перспективы для здравоохранения России // Журнал телемедицины и электронного здравоохранения. – 2021. – №3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/reyting-startapov-iskusstvennogo-intellekta-perspektivy-dlya-zdravoohraneniya-rossii (дата обращения: 30.11.2023).
5. Жумартова Б. О., Ысмагул Р. С. Применение SIR модели в моделировании эпидемий // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2021. – №12-2. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-sir-modeli-v-modelirovanii-epidemiy (дата обращения: 30.11.2023).

© Маняхина З. А., Черемухов Д. В., 2023

УДК 621.311.24

ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ НЕИСПРАВНОСТЕЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

аспирант **Ермолович Владимир Сергеевич,**
науч. руководитель: доктор техн. наук, профессор
Шпенст Вадим Анатольевич,
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассматривается влияние погодных и климатических условий на надежность работы ветроэнергетических установок. В результате анализа было выявлено, что наиболее уязвимыми к отказу элементами ветроустановки являются системы управления и контроля. Также было выявлено, что среднее время простоя ВЭУ по причине поломок составляет около 6 дней, что приводит к 2 % недоотпуска электроэнергии.

Ключевые слова: ветроэнергетическая установка, ветроэнергетическая станция, энергоэффективность, неисправность.

INFLUENCE OF TECHNICAL FAULT TO EFFIENCY OF WIND TURBINES

Graduate Student **Ermolovich Vladimir Sergeevich,**
Academic Advisor: Doctor of Technical Sciences, Professor
Shpenst Vadim Anatolievich
Saint Petersburg Mining University of Empress Catherine II,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. The article considers the influence of weather and climatic conditions on the reliability of wind turbines. As a result of the analysis, it was revealed that the most vulnerable to failure elements of the wind turbine are the control and monitoring systems. It was also revealed that the average downtime of wind turbines due to breakdowns is about 6 days, which leads to 2% under-supply of electricity.

Keywords: wind turbines, energy efficiency, fault, icing of blades.

В настоящее время ветер становится все более важным и активно развивающимся источником энергии в мире. Общая установленная мощность ветроэнергетических установок в 2021 году превысила показатель в 825 ГВт. При этом каждый год наблюдается тенденция к увеличению вводимых в эксплуатацию мощностей (рис. 1) [1].

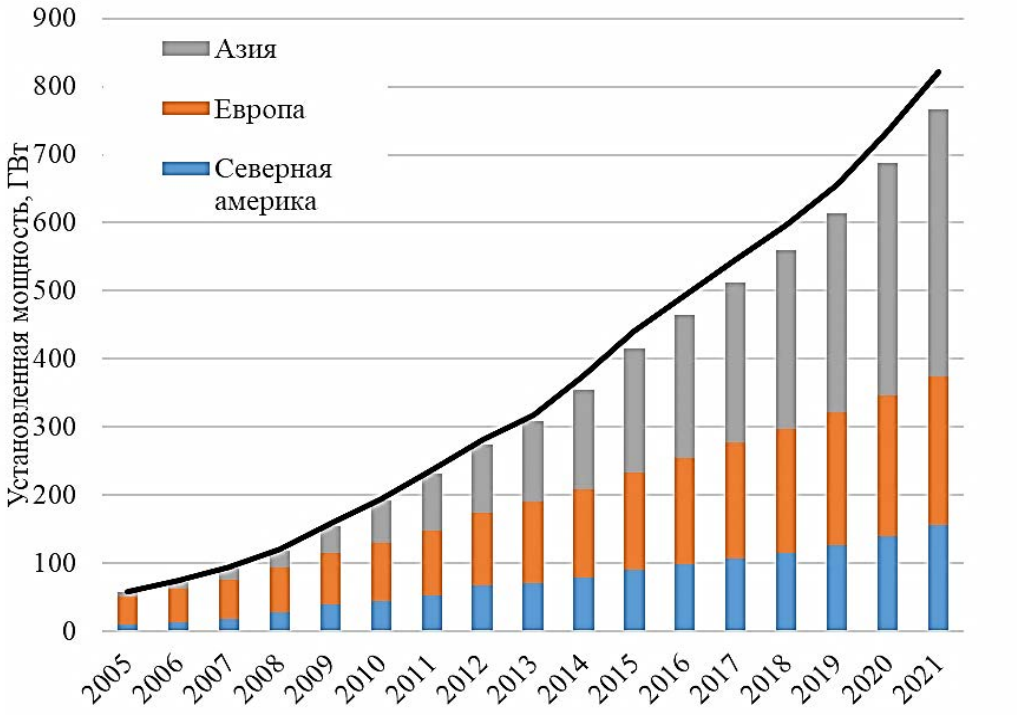


Рисунок 1. Суммарная установленная мощность ВЭУ по годам

Растущая установленная мощность ветроустановок оказывает значительное влияние на энергетическую отрасль, однако необходимо понимать, что средняя вырабатываемая мощность этих установок значительно ниже. Это объясняется нестабильностью скорости ветра как в течение дня, так и в течение года в целом. Чтобы увеличить производство электроэнергии и обеспечить экономическую эффективность, в области ветроэнергетики проводятся активные исследования в целях создания более надежных энергетических систем.

Большую роль в повышении энергоэффективности ВЭУ сыграли конструктивные улучшения генераторов. Повышения требований к энергоэффективности, качеству электроэнергии, а также снижению уровня шума привели к внедрению новых типов генераторов, таких как асинхронные машины с двойным питанием, синхронные генераторы с прямым приводом и на постоянных магнитах [2-4].

В ходе развития ветроэнергетики были проведены исследования и применены различные технические решения, направленные на увеличение коэффициента использования энергии ветра (КИЭВ). Это включает не только улучшение конструкции генераторов для повышения энергоэффективности ветроустановок, но и изучение и внедрение разнообразных методов, позволяющих эффективнее «захватывать» ветровой поток.

Для достижения наивысшей эффективности горизонтальных ветроэлектростанций (ВЭС) необходимо обеспечить параллельное расположение оси ветроколеса и направления ветра. Однако, так как ветровой поток является изменчивым и непостоянным, это снижает эффективность горизонтальных установок с неподвижной осью вращения. Для этого в современных ВЭС применяются механизмы вращения гондолы и системы

отслеживания направления ветра с наибольшим потенциалом. Хотя это усложнило конструкцию ВЭС и привело к росту поломок механизмов вращения гондолы (более 13 % отказов установок), оно существенно увеличило производительность электроэнергии [5].

Кроме изменения положения ВЭУ по направлению ветра, большим достижением для повышения энергоэффективности ветровых установок стало использование систем «stall» и «pitch» регулирования. Сутью применения данных систем является изменение аэродинамических характеристик лопастей для увеличения крутящего момента ротора и, как следствие, роста эффективности ВЭУ [6, 7].

Несмотря на то, что различные конструктивные улучшения ВЭУ хоть и привели к росту их эффективности, в то же время, они стали следствием дополнительных поломок и повышения затрат на техническое обслуживание. В настоящее время стоимость обслуживания ВЭС оценивается в 15-20 % от общей прибыли для береговых ветроустановок и до 25 % для морских, а время простоя станции в виду аварийной ситуации может достигать 5 дней (рис. 2) [8].

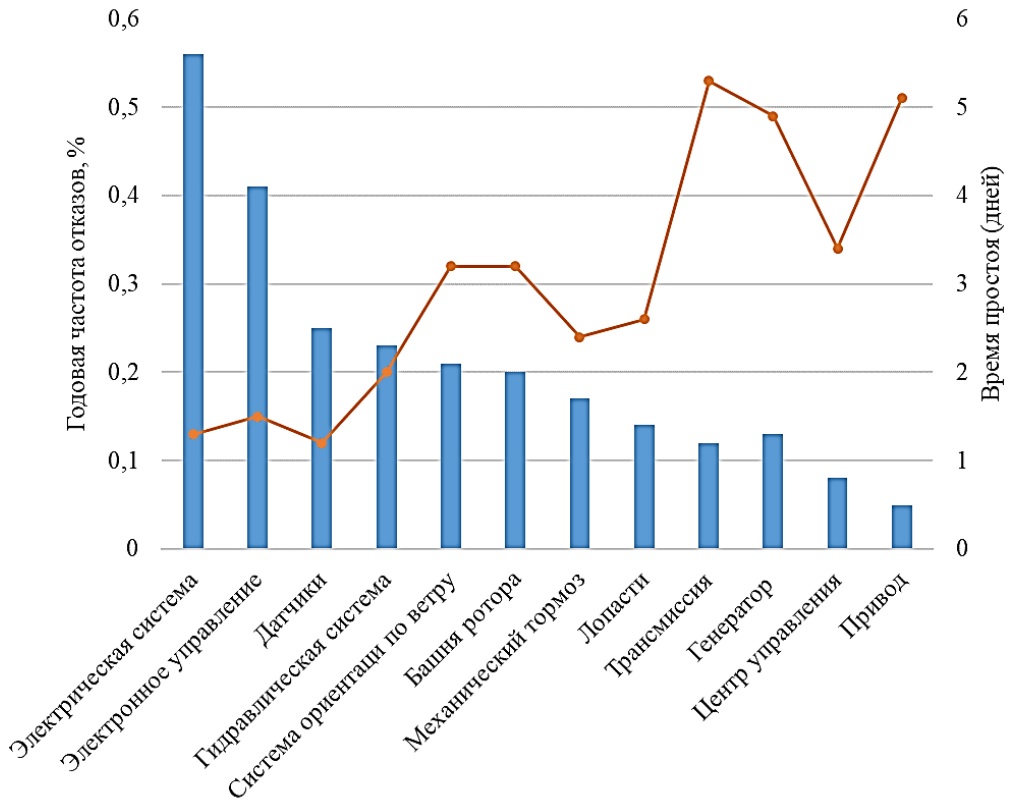


Рисунок 2. Частота отказов компонентов ВЭУ и время их простоя

Сокращение числа отказов ветряных турбин в последние годы можно объяснить улучшением производства и активными мерами по решению и устранению распространенных причин сбоев. Однако с увеличением производства ветроэнергетических установок возникают новые проблемы, ведущие к новым авариям. Эти сбои могут быть связаны с износом турбин и достижением предельного срока службы, дефектами материалов и проблемами в производственных процессах, а также с увеличением размеров ротора и высоты

установки. График на рисунке 3 показывает количество случаев аварий с ветроэнергетическими установками в мире с 2000 по 2017 год [9].

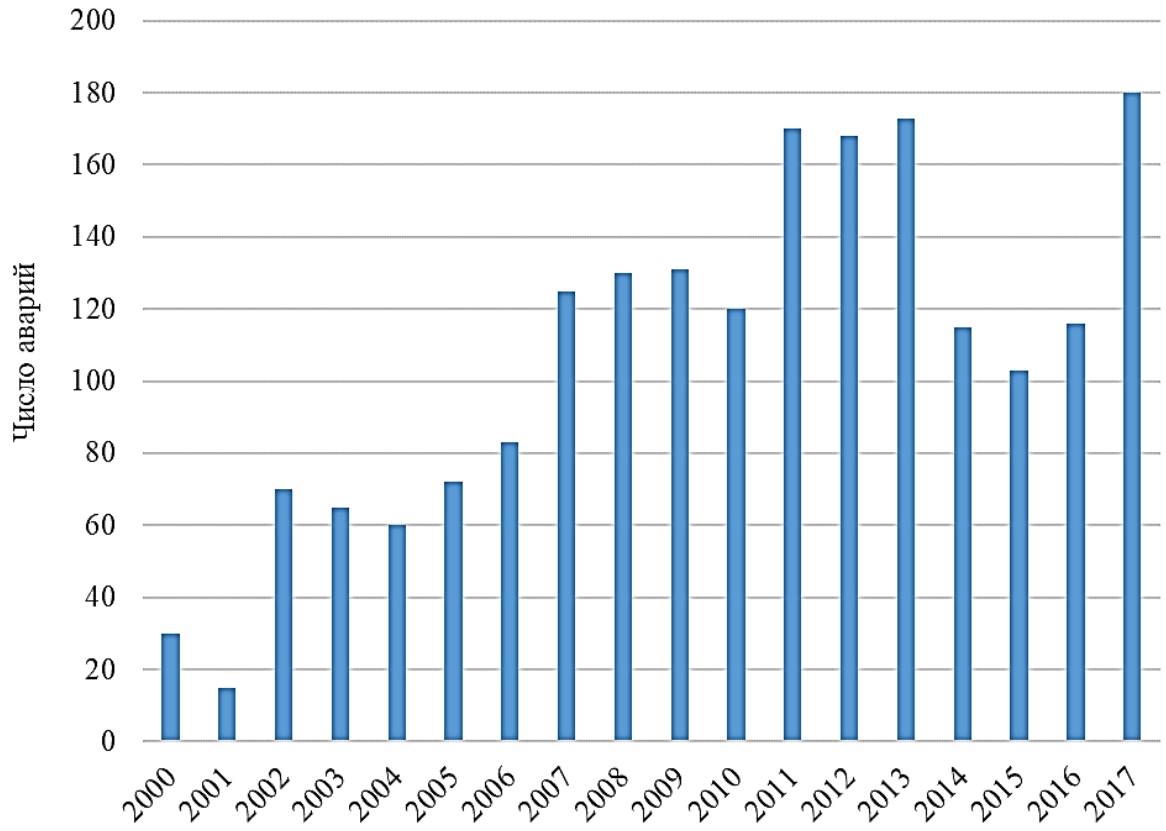


Рисунок 3. Статистика аварий ВЭУ в период с 2000 по 2017 год

Согласно представленным данным, с ростом количества установок наблюдается увеличение среднего числа сбоев [10].

На основе опыта эксплуатации ветроэнергетических станций в Китае проведено исследование, которое выявило причины аварий основных компонентов, таких как лопасти ротора, генераторы, редукторы, преобразователи энергии, системы регулирования и ориентации по ветру. В результате были определены следующие факторы, приводящие к сбоям работы ВЭУ: ограниченное техническое оборудование, использование низкокачественных материалов из-за ценовой конкуренции, различные стандарты проектирования и сложность географического размещения ветроэнергетических станций, а также отсутствие необходимых сертификаций качества [11].

Проведенное исследование подтвердило, что погодные условия, включая скорость ветра, температуру и влажность, также оказывают определенное влияние на частоту отказов и продолжительность простоя ветроэнергетических установок. Сбор и анализ данных подтвердили наличие связи между аварийными ситуациями в системах ориентации, передачи и управления ветряными турбинами и указанными погодными факторами. График годовой частоты сбоев (рис. 4) демонстрирует, что с увеличением скорости ветра наблюдается рост количества аварийных ситуаций [12].

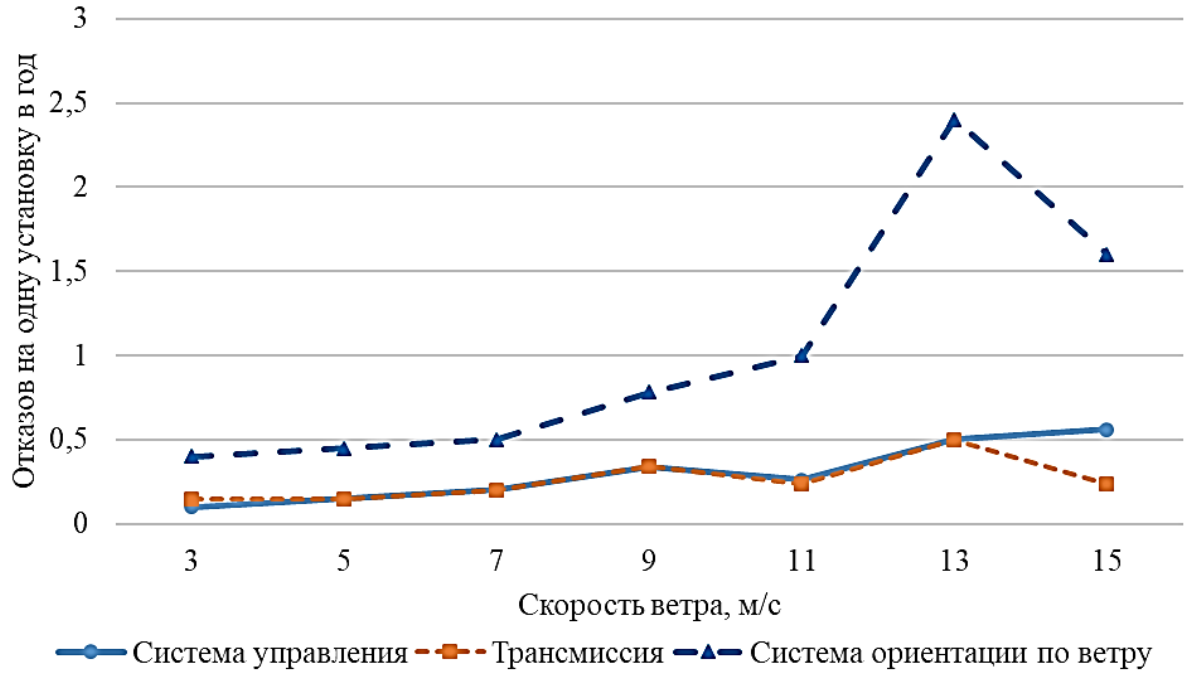


Рисунок 4. Зависимость частоты сбоя различных элементов ВЭУ от средней скорости ветра

На основании представленных данных можно сделать вывод, что погодные условия, включая скорость ветра, имеют существенное влияние на частоту сбоев элементов ВЭУ. Наибольшее число аварийных отключений происходит в диапазоне скоростей ветра от 12 до 14 м/с. При этом стабильный ветровой поток оказывает влияние на нагрузку башки, но не влияет на нагрузку лопастей [13].

Одной из главных причин повреждения лопастей ветряных генераторов является их старение. Этот процесс может быть ускорен под воздействием сильных ветров. Штормовой ветер способен вызывать расслоение и трещины на лопастях. Анализ случаев разрушения турбин, вызванных тайфуном на Тайване в 2008 году, показал, что характер повреждений связан с усталостными нагрузками, ошибками при установке и недостаточной прочностью материала.

Кроме проблем, связанных с лопастями ветроустановок, системы управления и ориентации по ветру, значительную роль для надежной эксплуатации ветрогенераторов с редуктором играет коробка передач. Износ и образование усталостных нагрузок являются основными причинами её повреждения. Статистические данные за последние 10 лет подтверждают, что большинство сбоев в работе ветровых турбин происходит именно из-за отказов редуктора. Отказ редуктора обычно приводит к самым длительным простоям и наибольшим экономическим потерям по сравнению с другими компонентами ВЭУ [14].

Вывод. Эффективность работы ветроэнергетических станций во многом зависит от надежности и производительности их компонентов. Одной из основных проблем, влияющих на недоотпуск электроэнергии, является аварийный выход из строя компонентов, требующих длительного времени на

ремонт. Исследование показало, что наибольшее время простоя ветроустановок вызвано поломками генератора, привода и системы трансмиссии. Восстановление данных компонентов может занимать до 5,5 дней.

Список литературы:

1. Шпенст, В. А. Анализ факторов, снижающих энергоэффективность работы ветроэнергетических станций / В. А. Шпенст, В. С. Ермолович. – Текст: непосредственный // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2023. – № 4 (79). – С. 34-39.
2. Ngamroo, I. (2017) Review of DFIG wind turbine impact on power system dynamic performances. *In IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 12 (3), 301-311. DOI:10.1002/tee.22379
3. Sun, M., Min, Y., Chen, L., Hou, K., Xia, D., & Mao, H. (2021) Optimal auxiliary frequency control of wind turbine generators and coordination with synchronous generators. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, 7(1), 1-8.
4. Yaramasu, V., Dekka, A., Durán, M. J., Kouro, S., & Wu, B. (2017) PMSG-based wind energy conversion systems: Survey on power converters and controls. *IET Electric Power Applications*, 11(6), 956-968.
5. Dai, J., He, T., Li, M., & Long, X. (2021) Performance study of multi-source driving yaw system for aiding yaw control of wind turbines. *Renewable Energy*, 163, 157-171.
6. Macquart, T., & Maheri, A. (2019) A stall-regulated wind turbine design to reduce fatigue. *Renewable Energy*, 133, 1-14.
7. Sitharthan, R., Sundarabalan, C. K., Devabalaji, K. R., Yuvaraj, T. (2019) Automated power management strategy for wind power generation system using pitch angle controller. *Measurement and Control*, 52(3–4), 1-14.
8. Carroll J., McDonald A. McMillan D. (2016) Failure rate, repair time and unscheduled O&M cost analysis of offshore wind turbines. *Wind Energy*. 19, 1107-1119.
9. Rehman S., Alam M., Alhems M.L. (2018) A review of wind-turbine structural stability, failure and alleviation. *In Proceedings of the Advances in Civil, Environmental, & Materials Research (ACEM18)*.
10. Olabi A., Wilberforce T., Elsaid K. (2021) A Review on Failure Modes of Wind Turbine Components // *Enegies*. 14, 1-46.
11. Lin Y., Tu L., Liu H., Li W. (2016) Fault analysis of wind turbines in China // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 55, 482-490.
12. Wilson G., McMillan D. (2014) Assessing wind farm reliability using weather dependent failure rates. *Journal of Physics: Conference Series*. 2014. 524(1).
13. Sathe A., Mann J., Barlas T. (2013) Influence of atmospheric stability on wind turbine loads. *Wind Energy*. 16(7), 1013-1032.
14. Crabtree C. J., Feng Y., Tavner P. J. (2010) Detecting incipient wind turbine gearbox failure: A signal analysis method for on-line condition monitoring. European Wind. *Energy Conference and Exhibition*.

© Ермолович В. С., 2023

УДК 620.97

ПРИМЕНЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ

студент **Тарасенко Виктория Алексеевна,**
науч. руководитель: доцент **Беловодский Евгений Алексеевич,**
Белгородский государственный технологический
университет им. В. Г. Шухова,
г. Белгород, Российская Федерация

Аннотация. В настоящее время существует множество разновидностей отопительных приборов, которые можно использовать в различных помещениях. В статье рассмотрены основные способы отопительных систем, которые используются нами ежедневно и помогают пережить холодное время года. Проводится анализ, благодаря которому выявляются достоинства и недостатки иных методов обогрева.

Ключевые слова: энергоэффективность, обогреватели, эксплуатация, нагревание, теплота, метод.

APPLICATION OF ENERGY-SAVING MATERIALS AND TECHNOLOGIES IN HEATING SYSTEMS

Student **Tarasenko Victoria Alekseevna,**
Academic Advisor: Associate Professor **Evgeniy Alekseevich Belovodsky,**
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova,
Belgorod, Russian Federation

Abstract. Currently, there are many types of heating devices that can be used in various rooms. The article discusses the main methods of heating systems that we use every day and help us survive the cold season. An analysis is carried out to identify the advantages and disadvantages of other heating methods.

Keywords: energy efficiency, heaters, operation, heating, heat, method.

Во все времена отопление является главной потребностью людей в холодный промежуток времени.

В настоящее время люди с каждым днём усовершенствуют отопительные приборы для экономического потребления. Это связано с тем, что происходит недостаток бюджета на содержание тепловых сетей, поэтому ответственность за это перекладывается на головы потребителей. С каждым годом можно заметить, как растёт тариф на коммунальные услуги; чтобы снизить свои расходы, необходимо изменить качество домашних тепловых систем [1]. Традиционное отопление нельзя назвать полностью эффективным, так как большое количество горячего воздуха переносится в верхнюю часть помещения, а на нижней части

помещения находится уровень холодных температур. Данное утверждение показано на рис. 1.



Рисунок 1. Схема распределения тепла при традиционном отопление.

Самым распространённым и эффективным методом является инфракрасное излучение. Этот способ отопления заключается в том, что с помощью лучей происходит нагревание предметов. Тепло исходит не от лучей, а от нагретых им предметов [2]. В этом способе отопления прибор работает на 98-99 %, потому что сколько отдано, столько израсходовано. Такой вид обогревания может использоваться в различных местах: жилые помещения, офисы, медицинские учреждения. В отличие от традиционного метода обогрева помещения, инфракрасные лучи нагревают заданную поверхность помещения. На рис. 2 наглядно видно, что если разместить инфракрасный обогреватель сверху помещения, то будет нагреваться нижняя зона помещения, где проводится досуг людей.

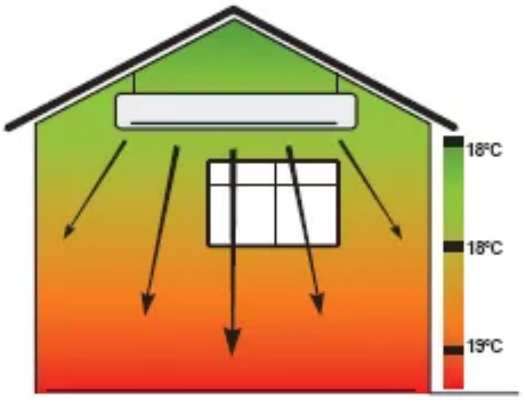


Рисунок 2. Схема обогревания помещения при использование инфракрасных обогревателей

Этот вид отопления имеет как положительные стороны, так и отрицательные (таблица 1).

Таблица 1 – Положительные и отрицательные стороны инфракрасного отопления

Положительные стороны	Отрицательные стороны
1. Тактический нагрев	1. Риск пожарной безопасности
2. Быстрая скорость нагрева	2. Опасность для детей
3. Экономное использование в быту	3. Яркий свет
4. Тихая работа	4. Негативное влияние для человека
5. Длительный срок работы	5. Неоднородное нагревание

Следующим видом отопления является кварцевое. Этот вид обогревателя состоит из основных частей, в которых минералы кварца. В сравнение с другими отопительными приборами, кварцевый обогреватель является довольно современным устройством на рыночной площадке. Суть работы этого агрегата состоит в быстром нагревании спирали до необходимой для работы температуры и медленном остывании. Происходит выработка инфракрасных лучей, которые нагревают поверхности помещения. Здесь можно найти аналогию с первым способом обогревания – инфракрасным излучением. Кварцевые обогреватели используются в различных областях, таких как сельское хозяйство, открытые зоны, офисы, дома или коттеджи. Достоинства и недостатки этого вида обогревания указаны в табл. 2.

Таблица 2 – Положительные и отрицательные стороны кварцевого отопления

Положительные стороны	Отрицательные стороны
1. Энергосбережение. При отключение от электрической сети обогреватель может работать в течение 1-1,5 часа.	1. Крупногабаритное устройство
2. Длительный срок эксплуатации	2. Для первоначального прогревания помещения требуется длительное время
3. Безопасность от пожаров	3. Небезопасен для детей

На данный момент современным и перспективным направлением в сфере энергосбережения является применение электрических конвекторов нового поколения (рис. 3) Данное современное устройство отопления имеет возможность к подключению к системе «Умный дом». Эта функция, к сожалению, доступна не всем видам обогревателей. Суть работы этого устройство заключается в том, что вольфрамовая нить накаливания погружена в кварцевый песок. Воздух, который поступает в конвектор, автоматически нагревается и выходит в помещение, прогревая его [3]. Такие приборы используются в административных зданиях, гостиницах или отелях, офисах, домах. Электрические конвектор имеет множество достоинств, таких как низкая стоимость, бесшумная работа, энергоэффективность, нагревательные элементы

не накаливаются, быстрый прогрев. Минусом этого современного обогревателя является большое потребление электроэнергии.



Рисунок 3. Электрический конвектор нового поколения

Тепловые насосы – один из эффективных способов отопления, который состоит из таких элементов, как конденсатор, испаритель, компрессор для увеличения давления и расширитель, который уменьшает давление. Суть их работы заключается в том, что изначально теплоноситель забирает из окружающего пространства тепло, тем самым увеличивает свою температуру на несколько градусов, потом происходит поступление тепла хладагенту, но этого тепла недостаточно для выделения пара, который должен переместить в компрессор. В следствие чего происходит сжимание хладагента и повышение давление продукта, который приводит к заметному увеличению температуры [4]. Тепловые насосы могут быть использованы в таких сферах, как промышленные объекты, коммерческие здания, сельское хозяйство, а также бассейны. Достоинства и недостатки данного метода обогревания помещения указаны в Таблице 3

Таблица 3 – Достоинства и недостатки отопления тепловыми насосами

Достоинства	Недостатки
1. Энергосбережение электроэнергии на обогрев помещения	1. Дорогая стоимость данного оборудования
2. Отсутствие технического обслуживания	2. Отсутствие экологичности в почве из-за сильного переохлаждения
3. Может работать с различной тепловой энергией	3. Необходим дополнительный источник тепла при сильных морозах

Тепловые энергосберегающие панели (рис. 4) – одно из новейших устройств на товарном рынке, которое может быть использовано для эффективного отопления помещений. Они представляют собой плоские панели,

которые могут быть установлены на стены или потолок. Тепловые панели обычно используют инфракрасное излучение для нагрева объектов и людей в помещении, вместо нагревания воздуха, как это происходит в случае с традиционными радиаторами. Тепловые панели используются в различных сферах жизнедеятельности людей, таких как жилые помещения, офисы, общественные здания, открытые террасы. Внутри тепловой панели располагаются нагревательные элементы, которые могут быть выполнены в виде пленки или нагревательного провода. Эти элементы преобразуют электрическую энергию в инфракрасное излучение. Когда тепловая панель включается, нагревательные элементы начинают излучать инфракрасное тепло. Это излучение направлено непосредственно на объекты и поверхности в помещении, а не на воздух, что позволяет теплу передаваться напрямую. Объекты и поверхности в помещении, на которые направлено инфракрасное излучение, начинают поглощать тепло. Это приводит к нагреву самих объектов, которые в свою очередь начинают излучать тепло обратно в помещение, обеспечивая равномерное и комфортное отопление [5].



Рисунок 4. Устройство тепловой панели

Этот вид отопления имеет как положительные стороны, так и отрицательные. Начнём с таких достоинств этого устройства, как эффективность, простота установки, безопасность, экономия энергии. Несмотря на свои преимущества, тепловые панели имеют ряд недостатков: начальные затраты, ограниченная область нагрева, медленное накопление тепла.

Таким образом, предложенные устройства энергосбережения отходов помогают увеличить эффективность отопления, а также уменьшить энергетическое потребление.

Список литературы:

1. Уварова, Д. А. / Энергосбережение в системах отопления при использовании современного оборудования / Уварова Д. А. – Текст: непосредственный // Форум молодых ученых. – 2018. – 12(28).

2. Барышников А. А., Мустафин Н. Ш. Анализ технологии инфракрасного отопления // Региональное развитие: электронный научно-практический журнал. – 2016. – № 5(17).
3. Панферов, В. И. Эффективные энергосберегающие решения при теплоснабжении зданий / В. И. Панферов, Е. Ю. Анисимова, С. В. Панферов // Вестник ЮУрГУ: «Строительство и архитектура». – 2015. – Т. 15, № 4. – С. 40–48
4. Полякова, В. Ю. Анализ энергоэффективности тепловых насосов в системах теплоснабжения по территориально-климатическому признаку / В. Ю. Полякова, Т. О. Калинина, К. В. Кичин. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2016. – № 27 (131). – С. 142-146.
5. Современные энергосберегающие системы отопления [сайт]. – URL: https://dzen.ru/a/ZNM5nRm__iiJu2DU (дата обращения: 28.11.23) – Текст: электронный.

© Тарасенко В. А., 2023

УДК 621.3.077

ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВА ПЛАВНОГО ПУСКА НА ОСНОВЕ ТРАНЗИСТОРНОГО РЕГУЛЯТОРА НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ГРУЗОПОДЪЕМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

магистрант **Кравчук Артём Алексеевич,**
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент
Гаврилова Светлана Владимировна,
Ульяновский государственный технический университет,
г. Ульяновск, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассмотрены динамика системы привода горизонтального перемещения, проблемы, возникающие при данном процессе, применение устройства плавного пуска в электроприводе горизонтального перемещения.

Ключевые слова: грузоподъемное оборудование, электрическая таль, устройство плавного пуска, механическая система, транзисторный регулятор напряжения.

APPLICATION OF A SOFT-START DEVICE BASED ON A TRANSISTOR VOLTAGE REGULATOR IN THE ELECTRIC DRIVE OF LIFTING EQUIPMENT

Master student **Kravchuk Artem Alekseevich,**
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor
Gavrilova Svetlana Vladimirovna,
Ulyanovsk State Technical University,
Ulyanovsk, Russian Federation

Abstract. The article discusses the dynamics of the horizontal displacement drive system, the problems arising in this process, the use of a soft-start device in an electric horizontal displacement drive.

Keywords: lifting equipment, electric hoist, soft start device, mechanical system, transistor voltage regulator.

Асинхронный электродвигатель (АД) получил широкое применение в грузоподъемном оборудовании. Среди его преимуществ можно выделить обширный выбор мощности, простота установки и эксплуатации, надежность, простота ремонта, а также простота запуска и остановки [1]. Однако при перемещении груза с использованием гибкой или упругой связи возникают колебания при пуске и торможении [2]. Например, электропривод крановой тележки должен не только переместить груз на определенное расстояние, но и минимизировать колебания, возникающие в процессе. В противном случае, эти колебания могут привести к повреждению конструкции и снизить

быстродействие, так как потребуется время для их затухания [3]. Для обеспечения плавного подъема и перемещения груза необходимо использовать регулируемый электропривод с возможностью торможения [4].

В модели системы управления приводом перемещения электрической тали (ЭТ) применяется механическая система, представленная структурной схемой (рис. 1).

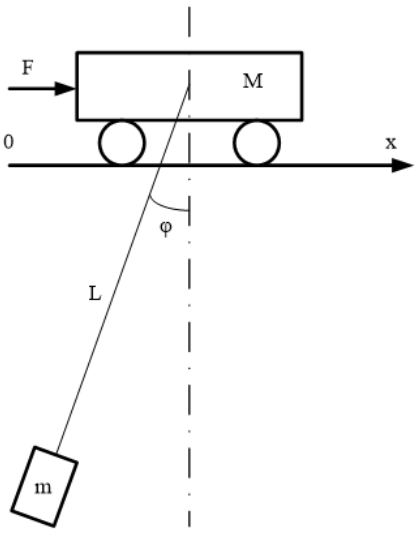


Рисунок 1. Механическая система привода перемещения

На рисунке введены следующие обозначения: M – масса тележки, m – масса груза, L – длина подвеса, F – сила, приложенная к тележке, она опосредовано зависит от $\phi, \dot{\phi}, x, \dot{x}$, между ними существует обратная связь, ϕ – угол смещения груза от вертикали.

Динамика предлагаемой системы описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} (M+m)\ddot{x} - mL(\ddot{\phi}\cos\phi - \dot{\phi}^2\sin\phi) + k_{\text{ТР2}}\dot{x} = F(t,\phi,\dot{\phi},x,\dot{x}) \\ mL^2\ddot{\phi} - mL\ddot{x}\cos\phi + mgL\sin\phi + k^*_{\text{ТР1}}\dot{\phi} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

где *x(t)* – закон движения тележки, g – ускорение силы тяжести, $k^*_{\text{ТР1}}$, $k_{\text{ТР2}}$ – коэффициенты трения. В линейной постановке уравнения динамики системы примут вид:

$$\begin{cases} (M+m)\dot{V} - mL\ddot{\phi} + k_{\text{ТР2}}V = F(t) \\ L\ddot{\phi} - \dot{V} + g\phi + k_{\text{ТР1}}\dot{\phi} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

где $k_{\text{ТР1}}=k^*_{\text{ТР1}}/mL$.

В целях создания замкнутой системы управления используем датчики ускорения и момента. Особенностью предлагаемой схемы является использование вычислителя угла отклонения по сигналам указанных датчиков. Для этого используем формулу:

$$\bar{F} - (M+m)\bar{V}p = -mL\bar{\phi}p^2. \quad (3)$$

Передаточная функция $W_X(p)$ цепи от F до $\dot{V}$ имеет вид:

$$W_X(p) = \frac{1}{M}\frac{g + K_{TP1}p + Lp^2}{\alpha g + \alpha K_{TP1}p + Lp^2}, \quad (4)$$

где α=1+m/M, p – параметр преобразования Лапласа.

На основе выражения (3) была разработана схема нахождения угла ϕ (рис. 3).

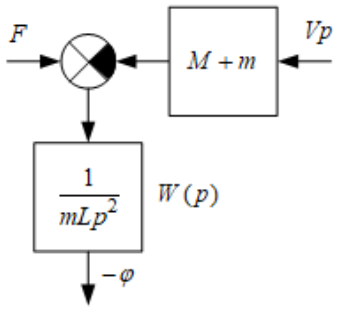


Рисунок 2. Структурная схема вычислителя угла

Наличие интегрирующего звена второго порядка в W(p) (рис. 2) может привести к накоплению ошибки в процессе работы. Поэтому заменяем его на апериодическое звено второго порядка:

$$W'(p) = \frac{K_1}{(T_1 p + 1)^2} \tag{5}$$

Выбор элементов K_1 и T_1 апериодического звена в структуре (рис. 2) необходимо производить из условий наибольшего приближения его динамических свойств к характеристикам интегрирующего звена. В качестве критерия идентичности можно принять совпадение амплитудно-частотных характеристик в окрестности частоты среза [5]. Приравнивая частоты среза в обоих случаях, получим условия для выбора параметров модели.

В формуле (5) K_1 и T_1 выбираются из условия совпадения ЛАХ W(p) и W’(p) в области частоты среза

$$K_1 = \frac{T_1^2}{mL} \tag{6}$$

Оценим чувствительность вычисленного сигнала ϕ к изменениям m и L. Расчетное выражение для $W_\phi(p)$ при условии, что при перемещении масса тележки M не изменяется, принимает вид:

$$W_\phi(p) = \frac{mVp}{(\sqrt{mL}p + 1)^2} \tag{7}$$

Для получения функций чувствительности воспользуемся формулой:

$$S_X^{W_X} = \frac{dW_X(p)}{dX}\frac{X}{W_X(p)} \tag{8}$$

где $W_x(p)$– передаточная функция звена; X– параметр передаточной функции; $S_X^{W_X}$ – чувствительность передаточной функции $W_x(p)$ к параметру X.

После вычисления функций чувствительности получаем:

$$S_m^{W_\phi} = \frac{1 - \sqrt{mL}p}{1 + \sqrt{mL}p} \tag{9}$$

$$S_L^{W_\phi} = \frac{-\sqrt{mL}p}{1 + \sqrt{mL}p} \tag{10}$$

На основе [2] и формулы (3), учитывая силы трения, получим:

$$M\bar{V}p = \bar{F} - m(\bar{V}p - L\bar{\phi}p^2) - \bar{V}K_{TP2} \quad (11)$$

$$\bar{\phi}(Lp^2 + K_{TP1}p + g) = \bar{V}p. \quad (12)$$

Согласно этим уравнениям можно вычислить передаточную функцию, связывающую ф с сигналом датчика ускорения:

$$\phi = \frac{1}{g + K_{\text{ТР1}}p + Lp^2}\dot{V} = W'_{\phi}(p)\dot{V} \quad (13)$$

где $K_{ТР1}$, $K_{ТР2}$ – коэффициенты трения для m, M.

Оценим чувствительность передаточной функции (11) к изменениям L и $K_{ТР1}$:

$$S_{K_{TP1}}^{W_\phi} = \frac{-1}{Lp^2 + K_{TP1}p + g} \quad (14)$$

$$S_{L}^{W_\phi} = \frac{-p}{Lp^2 + K_{TP1}p + g} \quad (15)$$

Анализ выражений (9) и (10) показывают, что:

- в низкочастотной области чувствительность к L ниже при определении ф с помощью двух датчиков;
- в низкочастотной области при определении ф с помощью двух датчиков чувствительность вычисленного сигнала выше к изменениям m чем к L.

На основании проведенных исследований был сделан вывод, что изменения параметров по технологическим требованиям приводит к раскачиванию груза и рывкам, что может быть причиной нарушения технологического процесса и повреждений оборудования, что обуславливает использование силовых регуляторов, датчиков и алгоритмов управления.

Один из вариантов – это использование устройства плавного пуска на основе транзисторного регулятора напряжения (ТрРН), принципиальная схема которого показана на рис. 3 [6]. Входное переменное напряжение поступает с обмоток статора АД на вход трехфазного выпрямительного моста, а полярные выводы этого моста через транзисторы Т1 и Т2, работающие в ШИМ-режиме, соединены с нулевым проводом питания.

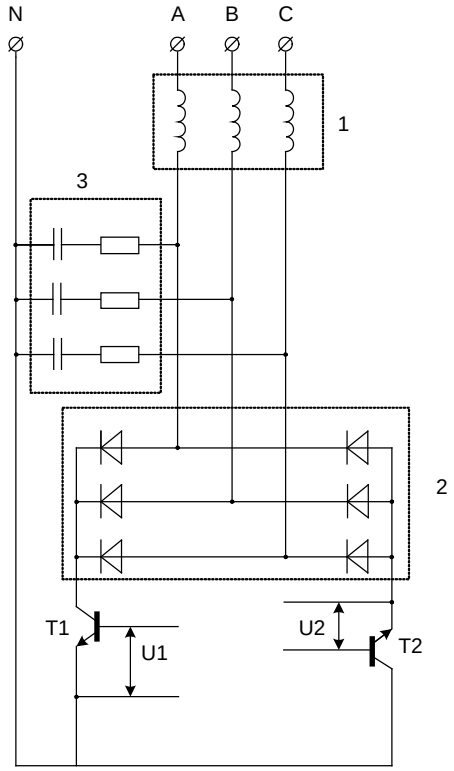


Рисунок 3. Схема транзисторного регулятора напряжения:
1 – статорные обмотки двигателя; *2* – трехфазный выпрямитель;
3 – RC-цепи

Начальные точки обмоток статора также подключены к нулевому проводу через RC-цепи, которые осуществляют функцию снижения коммутационных перенапряжений. Предлагаемая схема уменьшает резкий скачок тока за счет плавного увеличения напряжения на статорных обмотках по заданному закону. При подаче синхронных и равных по длительности сигналах ШИМ осуществляется плавный пуск асинхронного двигателя. При синхронных и не равных по длительности сигналах осуществляется форсированное динамическое торможение двигателя. Использование предлагаемого транзисторного регулятора напряжения позволяет осуществлять плавный пуск и динамическое торможение асинхронного электродвигателя.

Предлагаемое устройство уменьшает бросок тока за счет плавного изменения напряжения статорных обмоток, что зависит от ШИМ-сигнала, подающегося на транзисторы, и обеспечивает плавный пуск асинхронного двигателя. Транзисторный регулятор имеет меньший размер и вес по сравнению с использованием реле и контакторов на талях, при этом обладая большей надежностью.

Силовую часть устройства плавного пуска на основе ТрРН предлагается выполнить в соответствии с схемой, изображенной на рис. 4. Резистор R1 используется для ограничения тока управления. Для сглаживания напряжения питания драйвера DD1 включены конденсаторы C1 и C2. Резистор R2 ограничивает ток затвора транзистора VT1. Диодный мост VDS выпрямляет входное трехфазное напряжение, к которому силовая часть подключается через разъем X2. Выпрямленное напряжение подается на резистор R3 и транзистор

VT1. Датчик тока DD2 отслеживает мгновенное значение тока и передает информацию системе управления через разъем X3. Стабилизатор напряжения VR1 необходим для понижения напряжения до 5 В, которое требуется для питания датчика. Конденсаторы C4 и C5 выполняют функцию фильтрации питающего напряжения. Конденсатор C3 используется для фильтрации выходного сигнала.

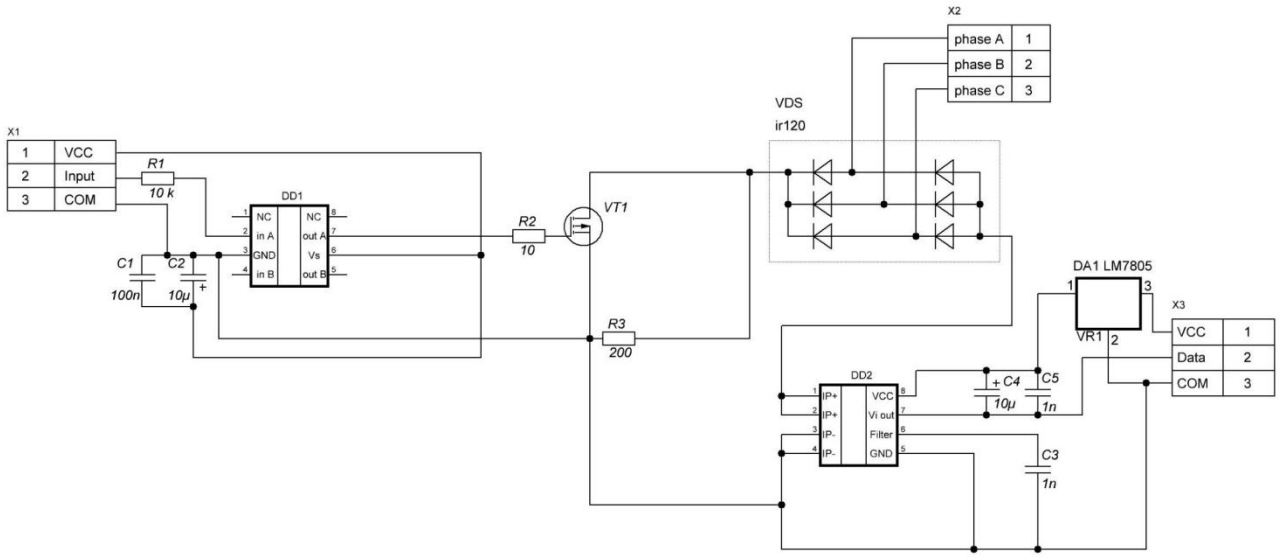


Рисунок 4. Принципиальная схема силовой части

Список литературы:

1. Смолев Д. В. Плавный пуск однофазного асинхронного двигателя // Достижения науки и образования. – 2018. – №8 (30).

2. Переверзев С. С. Устройство плавного пуска для нерегулируемых асинхронных электроприводов на полностью управляемых силовых полупроводниковых приборах // Вестник КузГТУ. – 2005. – №2.

3. Акуленко, Л. Д. Управление колебаниями / Л. Д. Акуленко, Б. Н. Соколов, Ф. Л. Черноусько. – М.: Наука, 1980.

4. Соколов И. А. Влияние устройств плавного пуска асинхронных электродвигателей на работу системы электроснабжения // Вестник КузГТУ. – 2016. – №3 (115).

5. Андреев, В. П. Основы электропривода / В. П. Андреев, Ю. А. Сабинин. – М.-Л., Госэнергоиздат, 1963. – 749 с.

6. Доманов, А. В. Система регулирования в автоматизированных сталеплавильных печах. / В. И. Доманов, А. В. Доманов, И. Ю. Муллин. – Пенза: – XII МНТК Информационно-вычислительные технологии и их приложения, 2010.

© Кравчук А. А., 2023

УДК 004.92

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ СОЗДАНИЕ ОДНОТИПНЫХ 3D-МОДЕЛЕЙ ПРИ ПОМОЩИ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ

магистрант **Зиангиров Айдар Фаилевич,**
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент **Зинуров Вадим Эдуардович,**
Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассматривается понятие, виды и применение трехмерного моделирования, также описывается применение функции параметризации при 3D-моделировании однотипных деталей с целью ускорения и повышения эффективности процесса проектирования. Представлены результаты применения параметризации при моделировании болтов и гаек.

Ключевые слова: 3D-моделирование, параметризация, проектирование, стандартные детали, болт, гайка.

AUTOMATED CREATION OF SAME TYPE 3D MODELS USING PARAMETERIZATION

Master student **Ziangirov Aidar Failevich,**
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor
Zinurov Vadim Eduardovich,
Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russian Federation

Abstract. The paper discusses the concept, types and application of three-dimensional modeling, and also describes the use of the parameterization function in 3D modeling of similar parts in order to speed up and increase the efficiency of the design process. The results of using parameterization in modeling bolts and nuts are presented.

Keywords: 3D modeling, parameterization, design, standard parts, bolt, nut.

3D-моделирование – один из ключевых инструментов современного машиностроения. Оно позволяет создавать виртуальные модели деталей, узлов и механизмов, значительно упрощая процесс проектирования и изготовления.

Трехмерное моделирование – это процесс построения объемных деталей в трехмерном пространстве с помощью специализированных программ (КОМПАС 3D, NanoCAD и т. п.). Основными элементами в 3D-моделировании являются такие примитивы, как точки, линии и поверхности. Точками являются вершины детали, линии образуют ребра, а поверхности – грани [1, с. 21].

Существует несколько технологий 3D-моделирования – это полигональное моделирование, NURBS, моделирование на основе поверхностей и т. д. [2, с. 6].

Каждая из них имеет свои особенности и преимущества, которые определяются задачами и требованиями проекта.

Применение 3D-моделирования в машиностроении следующие:

- проектирование деталей и узлов – 3D-моделирование позволяет создавать точные модели деталей и узлов с учетом всех необходимых требований и ограничений. Это значительно упрощает процесс разработки, поскольку проект можно проверить и оптимизировать на ранней стадии;

- производство и сборка – благодаря 3D-моделям производственный процесс становится более эффективным и точным. Детали могут изготавливаться на станках с ЧПУ и 3D-принтерах, что обеспечивает высокую точность и повторяемость. Сборка также упрощается благодаря виртуальным сборкам, которые позволяют проверить правильность соединения деталей;

- анимация – программы 3D-моделирования позволяют создавать реалистичные визуализации моделей, что помогает представить конструкции и продемонстрировать возможности продукции. Также возможна анимация, позволяющая продемонстрировать работу механизмов и взаимодействие деталей;

- анализ – после построения трехмерных деталей и сборки узлов с помощью специальных программ можно проводить виртуальные испытания, например, прочностные или аэродинамические. Это позволяет сократить время и затраты на реальные испытания (например, это ANSYS, FlowVision).

При проектировании часто возникают ситуации, когда требуется создавать однотипные модели, которые одинаковы по форме, но различаются размерами и некоторыми параметрами. Именно для таких случаев применима такая функция 3D-моделирования, как параметризация.

Параметризация при 3D-моделировании – это процесс создания 3D-моделей и сборок, при котором имеется возможность задавать настраиваемые и зависимые друг от друга параметры или свойства. Это позволяет инженерам изменять, например, размер всей модели или установочные размеры сборки путем изменения лишь одного параметра [3].

Параметрами могут быть размеры, углы, материалы и другие характеристики, которые можно настроить.

Параметризация предоставляет ряд преимуществ:

- повторное использование – параметризованные модели можно легко изменять и адаптировать для различных сборок, сокращая время и ресурсы, затраченные на создание новых моделей с нуля для каждого нового проекта;

- совместимость – параметризованные 3D-файлы легче импортировать и экспортировать между различными программами;

- оптимизация – параметризация позволяет проводить более глубокую оптимизацию моделей, улучшая их качество и производительность;

- контроль – с помощью параметризации инженеры сохраняют полный контроль над процессом моделирования, позволяя им экспериментировать путем подбора различных параметров и находить лучшие решения.

Примером применения данной функции является моделирование таких однотипных деталей, как болты и гайки. При их моделировании в большом

количестве разных размеров на первый взгляд требуется моделировать одну и ту же деталь, но только с разными диаметрами и шагами резьбы, размерами головки, из-за чего это займет какое-то количество времени. И именно для таких случаев существует такая возможность при моделировании, как параметризация.

Болты и гайки одного и того же ГОСТа разных размеров имеют один чертеж. Например, если обратиться к ГОСТу 7805-70 «Болты с шестигранной головкой класса точности А. Конструкция и размеры», то можно увидеть, что болт имеет 4 вида исполнения (рис. 1), но они могут быть разных размеров – диаметры от 1,6 до 48 мм (таблица 1) и длины от 12 до 300 мм [4].

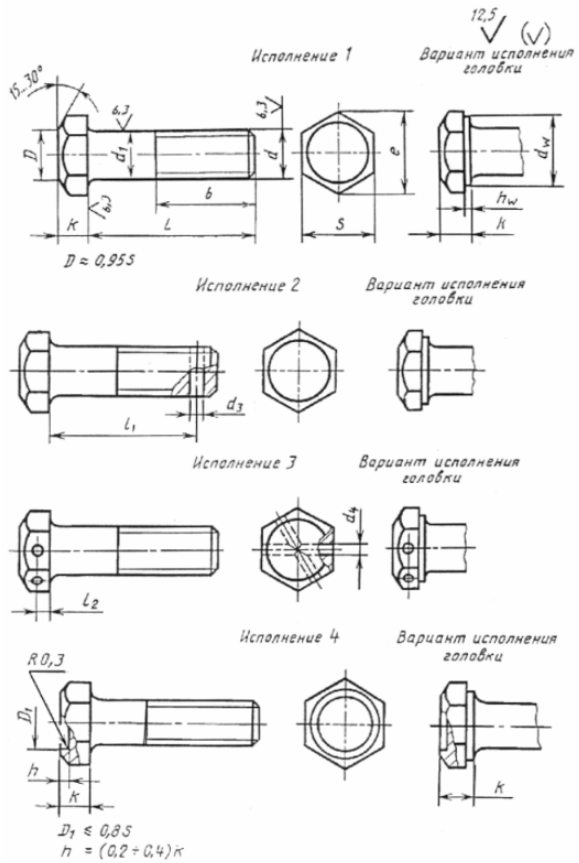


Рисунок 1. Виды исполнения болта по ГОСТ 7805-70

Таблица 1 – Некоторые параметры болта по ГОСТ 7805-70

Номинальный диаметр резьбы d		1,6	2	2,5	3	(3,5)	4	…	30	36	42	48
Шаг резьбы	Крупный	0,35	0,4	0,45	0,5	0,6	0,7	…	3,5	4	4,5	5
	мелкий	-						…	2	3		
Диаметр стержня d_1		1,6	2	2,5	3	3,5	4	…	30	36	42	48
Размер «под ключ» S		3,2	4	5	5,5	6	7	…	46	55	65	75
Высота головки k		1,1	1,4	1,7	2,0	2,4	2,8	…	18,7	22,5	26,0	30,0

Значит, болт одного исполнения может иметь множество размеров, при этом их чертежи будут одними и теми же. Отсюда следует, что при моделировании болта разных размеров можно применить функцию параметризации. Для примера была создана модель данного болта в программном обеспечении КОМПАС 3D, а также применена функция изменения параметров для получения болтов разных размеров (рис. 2). Хотя у данной программы и имеется своя библиотека со стандартными деталями, в том числе с болтами и гайками, но в них резьбы лишь «нарисованы», чтобы просто показать ее наличие. Но если действительно необходима резьба, например, для 3D-печати, то ее придется смоделировать самим.

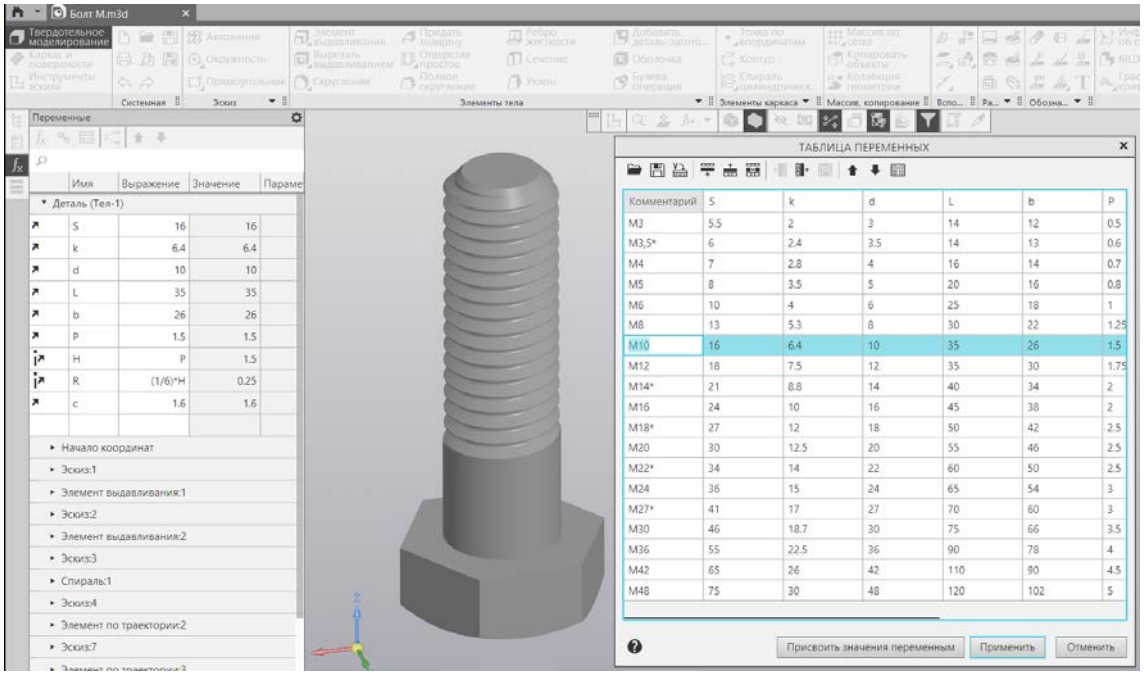


Рисунок 2. Построенная модель болта по ГОСТ 7805-70 в программе КОМПАС 3D

После построения модели была составлена таблица переменных, где указаны основные параметры болта – шаг резьбы, диаметр стержня, размер «под ключ», высота головки и длина болта в зависимости от номинального диаметра резьбы. Путем присвоения того или иного номинального диаметра модель автоматически перестраивается под соответствующие параметры. Таким образом удается экономить время при построении болтов разных размеров при наличии одного готового.

Таким же образом была создана модель гайки ГОСТа 5927-70 «Гайки шестигранные класса точности А. Конструкция и размеры» с созданием таблицы переменных с ее параметрами (рис. 3) [5].

3D-моделирование стало неотъемлемой частью современного машиностроения, предоставляя новые возможности для проектирования, производства и анализа изделий. При этом параметризация позволяет повысить качество и эффективность работы, сокращая время и затраты и открывая новые перспективы для развития методов проектирования.

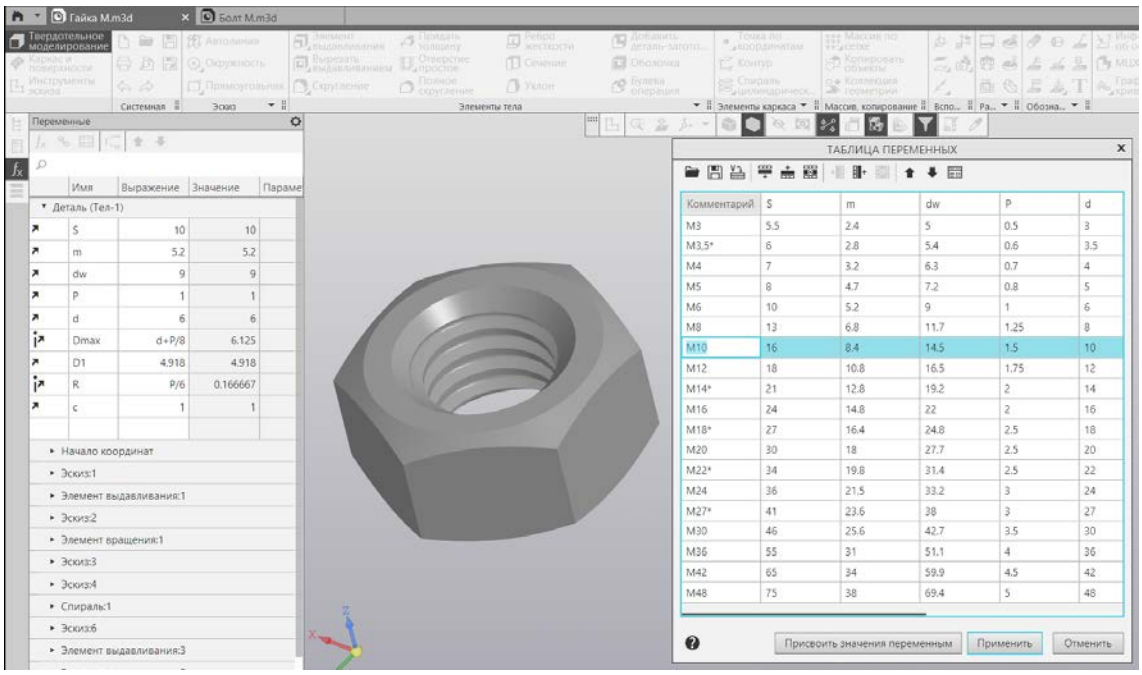


Рисунок 3. Построенная модель гайки по ГОСТ 5927-70 в программе КОМПАС 3D

Список литературы:

1. Бочков, А. Л. Основы 3D-моделирования / А. Л. Бочков, А. А. Сергеев, В. В. Большаков. – Санкт-Петербург: Питер, 2012. – 304 с. – Текст: непосредственный.

2. Меженин А. В. Технологии разработки 3D-моделей: учебное пособие. – СПб : Университет ИТМО, 2018 – 100 с. – Текст: непосредственный.

3. Фомин Е. Использование параметрических возможностей КОМПАС-3D [Электронный ресурс] // Журнал «САПР и Графика» [сайт]. URL: https://sapr.ru/article/18269 (дата обращения: 01.12.2023). – Текст: электронный.

4. ГОСТ 7805-70. Болты с шестигранной головкой класса точности А. Конструкция и размеры (с Изменениями N 2-6): утвержден и введен в действие Постановлением Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР от 04.03.70 N 270: дата введения 1972-01-01. – Москва: Минчермет СССР, 1972. – 10 с. – Текст: непосредственный.

5. ГОСТ 5927-70. Гайки шестигранные класса точности А. Конструкция и размеры (с Изменениями N 2-7): утвержден и введен в действие Постановлением Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР от 18.02.70 N 178: дата введения 1972-01-01. – Москва: Минчермет СССР, 1972. – 6 с. – Текст: непосредственный.

© Зиангиров А. Ф., 2023

УДК 65.011.56

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

студент **Кириллов Даниил Сергеевич,**
канд. техн. наук **Борисова Ольга Владимировна,**
Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. В данной работе рассматриваются современные тенденции и примеры применения искусственного интеллекта в системах автоматического управления на производстве. Описывается использование машинного обучения, аналитики данных, роботов для оптимизации производственных процессов, предотвращения аварийных ситуаций, автоматизации операций, улучшения качества продукции, а также оптимизации энергопотребления на производстве.

Ключевые слова: искусственный интеллект, автоматическое управление, производство, машинное обучение, оптимизация.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS IN PRODUCTION

Student **Kirillov Daniil Sergeevich,**
PhD in Technology **Borisova Olga Vladimirovna,**
Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russian Federation

Abstract. This paper examines current trends and examples of the use of artificial intelligence in automatic control systems in production. It describes the use of machine learning, data analytics, robots to optimize production processes, prevent accidents, automate operations, improve product quality, and optimize energy consumption in production.

Keywords: artificial intelligence, automatic control, production, machine learning, optimization.

Современные предприятия все больше ориентируются на автоматизацию и оптимизацию своих процессов. Использование искусственного интеллекта и машинного обучения в системах автоматического управления открывает новые возможности в модернизации производств. Перспективы развития данной темы связаны с постоянным совершенствованием технологий и алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ), а также с расширением областей применения цифровизации в различных отраслях. Практические примеры успешной реализации ИИ в системах автоматического управления можно найти в различных отраслях, таких как производство, энергетика, транспорт и другие. Например, в производственной отрасли искусственный интеллект может

использоваться для оптимизации процессов планирования производства, прогнозирования спроса, контроля качества и предотвращения аварий. В энергетической отрасли искусственный интеллект может помочь в управлении энергосистемами, оптимизации расходов энергии и повышении энергоэффективности.

На сегодняшний день искусственный интеллект применяется в различных устройствах, программах и процессах в цифровизации систем автоматического управления на производстве: использование для управления и программирования роботов на производственных линиях позволяет роботам анализировать окружающую среду, принимать решения и выполнять задачи автономно [1]. Системы мониторинга и диагностики используются для анализа данных с датчиков и мониторинга состояния оборудования на производстве, это помогает предупреждать о возможных сбоях или неисправностях, а также предлагать оптимальные стратегии обслуживания и ремонта. Системы планирования и оптимизации используются для оптимизации процессов планирования производства, распределения ресурсов и управления поставками. Учитываются различные факторы, такие как спрос, наличие материалов и возможности производства, для принятия оптимальных решений. Также, используется аналитика данных для анализа больших объемов данных, собранных на производстве. для выявления скрытых закономерностей, прогнозирования трендов и рекомендаций для улучшения производительности и качества продукции. Системы управления качеством для контроля и оптимизации качества продукции на производстве могут анализировать данные о дефектах, проводить статистический анализ и предлагать меры по улучшению качества.

С развитием технологий и алгоритмов искусственного интеллекта можно ожидать расширения областей применения и появления новых инновационных решений. В следующей статистике рассмотрим уровень внедрения ИИ на предприятиях в какой-либо сфере по миру. Конкретные примеры применения искусственного интеллекта в системах автоматического управления на производстве включают:

1. Применение машинного обучения для оптимизации процесса производства стали. Компания Big River Steel использует искусственный интеллект для анализа данных о производственных процессах и оптимизации параметров, таких как температура и химический состав, чтобы улучшить качество стали и снизить затраты на производство.

2. Использование аналитики данных для предотвращения аварийных ситуаций на нефтеперерабатывающих заводах. Компания Shell использует систему мониторинга состояния оборудования, которая использует искусственный интеллект для анализа данных и выявления проблем до того, как они приведут к аварии.

3. Применение роботов для автоматизации производственных операций. Компания Fanuc разработала систему роботов, которые могут работать вместе с людьми на производственной линии, увеличивая производительность и безопасность рабочих мест.

4. Внедрение систем управления энергопотреблением на производственных предприятиях. Компания Schneider Electric разработала систему управления энергопотреблением, которая использует искусственный интеллект для оптимизации энергопотребления и снижения затрат на электроэнергию.

5. Развитие систем управления качеством на производственных предприятиях. Компания Siemens разработала систему управления качеством, которая использует искусственный интеллект для анализа данных о качестве продукции и выявления проблем, связанных с производством.

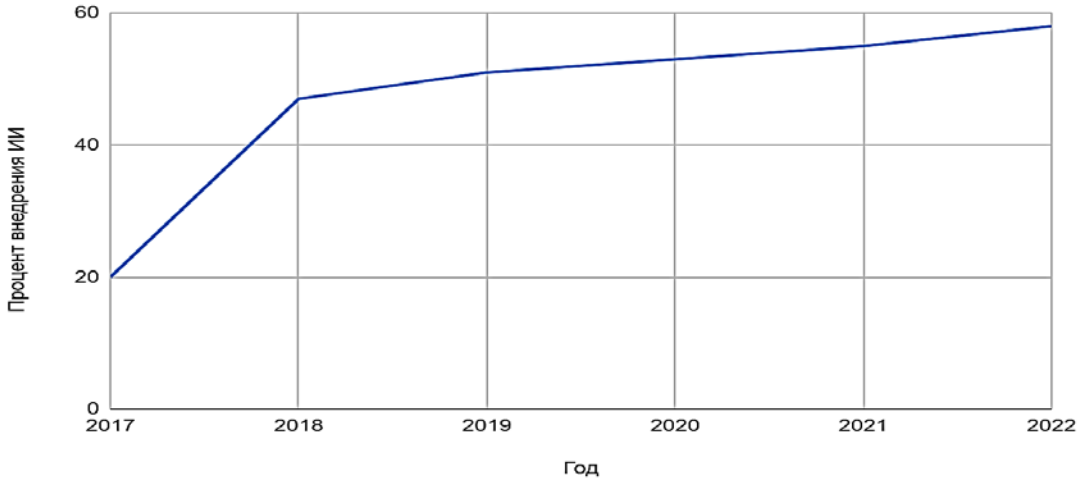


Рисунок 1. Наглядная статистика внедрения ИИ на производственных предприятиях за последние 6 лет

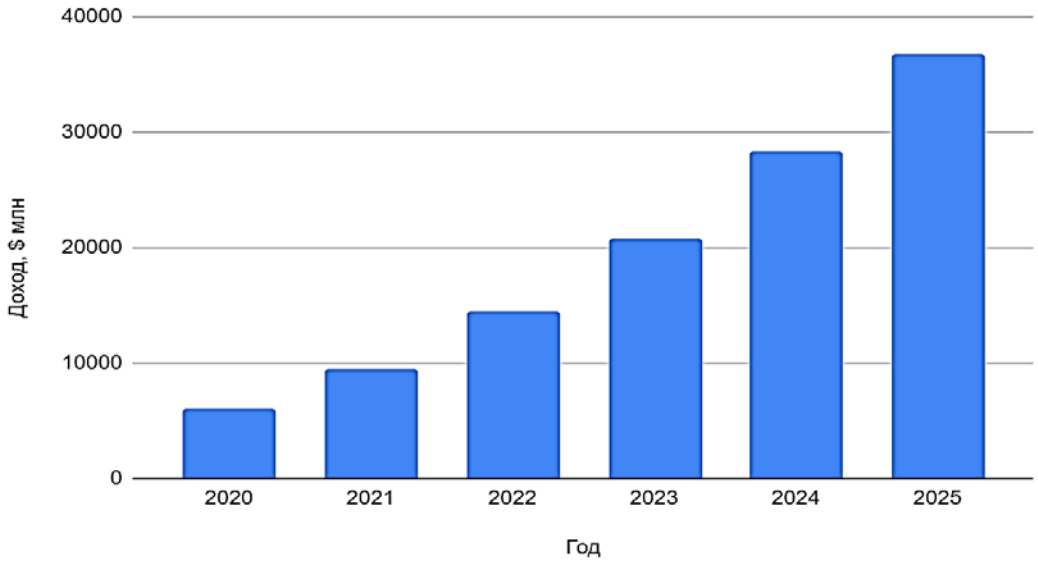


Рисунок 2. Статистика и прогнозы дохода отрасли ИИ в производстве

Для расширения области полезного применения искусственного интеллекта [2, с. 5], в сфере цифровизации систем автоматического управления на производстве можно разрабатывать новые алгоритмы машинного обучения, которые смогут эффективно работать с различными типами данных и задачами производства.

Например, алгоритмы, способные анализировать данные видеонаблюдения для контроля качества продукции или определения оптимальных путей движения роботов на производственной линии. Интеграция с другими технологиями, такими как интернет вещей (IoT), облачные вычисления и блокчейн также в перспективе можно использовать в будущем. Например, использование IoT-датчиков для сбора данных о состоянии оборудования и передачи их на облачные платформы, для анализа и принятия решений на основе искусственного интеллекта. Разработка роботов-агентов, способных взаимодействовать с другими роботами и оборудованием на производственной линии, для выполнения сложных задач, могут автоматизированно работать на производственной линии. Разработка удобных и интуитивно понятных интерфейсов для взаимодействия между искусственным интеллектом и операторами на производстве, создание голосовых или жестовых интерфейсов, позволят операторам управлять роботами или системами автоматического управления с помощью естественного языка или жестов [1].

Одной из основных проблем применения искусственного интеллекта на производстве является необходимость обработки и анализа больших объемов данных [3, с. 36]. Производственные системы генерируют огромное количество данных, которые нужно обработать и использовать для принятия решений. Для решения этой проблемы можно применить методы и технологии обработки больших данных, такие как распределенные вычисления, параллельные алгоритмы и облачные вычисления. Еще одной проблемой является необходимость обучения искусственного интеллекта на данных, которые могут быть неполными, неточными или неактуальными. Например, при использовании машинного обучения для предсказания отказов оборудования может быть недостаточно данных о реальных случаях отказах. Для решения этой проблемы можно использовать методы обучения с подкреплением или генеративные модели, которые позволяют генерировать новые данные на основе имеющихся. Также важной проблемой является надежность и безопасность систем управления, основанных на искусственном интеллекте. При использовании автономных систем управления или роботов на производстве возникает риск возникновения сбоев или ошибок в принятии решений. Для решения этой проблемы можно использовать методы верификации и валидации систем управления, а также разрабатывать алгоритмы, которые учитывают возможные ошибки и сбои.

В целом, для решения проблем применения искусственного интеллекта в системах автоматического управления [4, с. 52] на производстве можно использовать новые методы и технологии, такие как глубокое обучение, нейронные сети, методы оптимизации и эволюционные алгоритмы [5, с. 16]. Также важно проводить исследования и разработки в этой области, чтобы создавать более эффективные и надежные системы управления на производстве. Применение искусственного интеллекта в цифровизации систем управления на производстве имеет большой потенциал для повышения эффективности и надежности производственных процессов. Потому важно проводить дальнейшие исследования и разработки в этой области, чтобы создавать более эффективные и надежные системы управления на производстве.

Список литературы:

1. Липатов, М. С. Внедрение робототехнического контроля на котельных с целью их более эффективного функционирования / М. С. Липатов, Т. А. Ильяхунов // Дневник науки. – 2022. – № 3(63). – EDN VOSIYS.
2. Кафаров, В. В. Искусственный интеллект / В. В. Кафаров, В. П. Мешалкин. – Текст: непосредственный // Хим. энциклопедия: в 5 т. – М.: Сов. энциклопедия.– 1990. – Т. 2. – С. 274.
3. Люгер, Дж. О. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / Дж. О. Люгер. – М.: Диалектика, 2005. – 864 с.
4. Слепцов, А. И. Автоматизация проектирования управляющих систем гибких автоматизированных производств / А. И. Слепцов, А. А. Юрасов. – М.: Техника, 1986. – 110 с.
5. Слэйгл, Дж. Искусственный интеллект / Дж. Слэйгл. – М.: Мир, 1976. – 320 с.

© Кириллов Д. С., Борисова О. В., 2023

УДК 681.5

АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ АСУ ТП В СОВРЕМЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

студент **Хакимова Альбина Зинфировна,**
канд. техн. наук, доцент **Борисова Ольга Владимировна,**
науч. руководитель: доктор техн. наук, профессор
Гильфанов Камиль Хабибович,
Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. В настоящей работе, базирующейся на анализе научных источников литературы, предпринимается попытка представления ключевых сведений об автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУ ТП), применяющихся сегодня на различных хозяйствующих субъектах нашей страны. Результатом исследования является представление основных актуальных направлений модернизации АСУ ТП в современной отечественной промышленности.

Ключевые слова: АТП, модернизация, хозяйствующие предприятия, промышленность, производство, новые технологии.

ACTUAL DIRECTIONS OF MODERNIZATION OF APCS IN MODERN INDUSTRY

Student **Khakimova Albina Zinfirovna,**
PhD in Technology, Associate Professor, Associate Professor
Borisova Olga Vladimirovna,
Academic Advisor: Doctor of Technical Sciences, Professor
Gilfanov Kamil Khabibovich,
Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russian Federation

Abstract. In this paper, based on the analysis of scientific sources of literature, an attempt is made to present key information about automated process control systems (APCS) used today in various economic entities of our country. The result of the study is the presentation of the main actual directions of modernization of APCS in modern domestic industry.

Keywords: ATP, modernization, economic enterprises, industry, production, new technologies.

Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) – это комплекс технических и программных средств, предназначенных для контроля и управления технологическим оборудованием и процессами на предприятии или производственном участке. В настоящее время

АСУ ТП столь распространены, что они используются практически в любой промышленной отрасли, играя важную роль в обеспечении безопасности, эффективности и надежности производственных процессов, реализуемых на многих типах хозяйствующих субъектов в нашей стране. Основными целями внедрения АСУ ТП также являются оптимизация технологического производства и снижение эксплуатационных затрат предприятий.

Находящиеся в эксплуатации автоматизированные системы управления призваны обеспечивать контроль и управление технологическими процессами, гарантируя стабильность и непрерывность их реализации. Однако, с течением времени и развитием технологий, возникает необходимость модернизации данных систем для повышения их эффективности и соответствия современным требованиям. Цель настоящей работы – рассмотреть ключевые направления модернизации АСУ ТП, актуальные для современной отечественной промышленности.

Анализ литературы показал, что стандартная АСУ ТП обычно состоит из следующих основных компонентов:

1) датчики – устройства, предназначенные для измерения различных параметров технологического процесса (температура, давление, уровень, расход);

2) контроллеры – устройства, осуществляющие сбор данных с датчиков и выдачу управляющих воздействий на исполнительные механизмы;

3) исполнительные механизмы (клапаны, насосы, вентиляторы) – оборудование, выполняющее команды контроллера;

4) программное обеспечение (ПО), предназначенное для обработки данных, поступающих от датчиков, и формирования управляющих сигналов для контроллеров;

5) система связи, обеспечивающая передачу данных между различными компонентами АСУ ТП;

6) операторская станция – рабочее место оператора, где отображается информация о технологическом процессе и осуществляется соответствующее управление [1, с. 20].

К основным функциям АСУ ТП можно отнести:

– контроль и измерение параметров технологических процессов;

– автоматическое регулирование последних;

– управление технологическим оборудованием в ручном и автоматическом режимах;

– предотвращение аварийных ситуаций и оповещение об отклонениях от нормы;

– анализ и прогнозирование состояния технологических процессов;

– регистрация и архивирование информации о параметрах процессов и действиях оператора;

– обеспечение доступа к данным для мониторинга и анализа со стороны руководства и внешних организаций.

Таким образом, благодаря своим функциональным возможностям АСУ ТП находят широкое применение в различных отраслях промышленности нашей страны, таких как:

– энергетический комплекс (тепловые, атомные, гидроэлектростанции);

– нефтегазовая промышленность (добыча, переработка, транспортировка нефти и газа);

– химическая промышленность;

– металлургия;

– пищевая промышленность;

– водоснабжение и водоотведение;

– транспортный комплекс (железные дороги, метро, аэропорты, морские порты) [2, с. 361].

Модернизация АСУ ТП является ключевым аспектом при реализации задач, связанных с повышением эффективности и безопасности производственных процессов в вышеперечисленных секторах промышленности. Обоснованием ее проведения служат существующие и возникающие проблемы, вызовы и угрозы, характерные для современного производства:

1. Сложность современных производственных процессов.

В последние десятилетия производственные процессы стали значительно сложнее и требуют внедрения более точных и быстрых решений и технологий. Это касается как непрерывных процессов, так и дискретных, где необходимо обеспечить контроль и координацию множества производственных единиц.

2. Увеличение требований к надежности и безопасности.

С повышением уровня автоматизации и цифровизации производственных процессов возрастают требования к надежности и отказоустойчивости систем. Необходимо обеспечить безопасность процессов для предотвращения аварий и негативных последствий.

3. Необходимость интеграции с другими системами.

АСУ ТП часто приходится интегрироваться с другими информационными системами, такими как системы управления предприятием, системы сбора и обработки данных, системы контроля доступа. Для этого требуются разработка и внедрение специализированных интерфейсов и протоколов обмена данными.

4. Адаптация к изменениям в законодательстве и стандартах.

Процессы производства и контроля должны соответствовать требованиям законодательства и стандартам, которые постоянно меняются. Поэтому АСУ ТП должна быть адаптирована к такого рода изменениям и обеспечивать их выполнение.

5. Устаревание технологий.

С течением времени АСУ ТП могут устаревать, терять свою эффективность и становиться менее надежными. Это может привести к снижению качества продукции, увеличению затрат на эксплуатацию и даже к аварийным ситуациям.

6. Недостаточная гибкость и адаптивность.

Современные требования к производству и промышленности предполагают гибкость и способность адаптироваться к изменяющимся условиям [3, с. 37].

Таким образом, модернизация систем управления может быть направлена на улучшение различных аспектов функционирования АСУ ТП. К основным направлениям данной модернизации относятся:

1. Внедрение новых технологий и методов управления.

Использование новых технологий в АСУ ТП позволяет улучшить качество управления процессами, повысить скорость срабатывания устройств автоматизации и снизить влияние человеческого фактора. Одним из наиболее перспективных направлений является внедрение искусственного интеллекта (ИИ).

ИИ является областью компьютерных наук, которая занимается созданием таких систем, которые способны решать задачи, требующие наличия интеллектуальных способностей. Современные системы ИИ основываются на алгоритмах машинного обучения, глубоком обучении и нейронных сетях. Специалисты отмечают, что применение ИИ позволяет существенно повысить эффективность работы АСУ ТП.

Одним из основных преимуществ использования ИИ в АСУ ТП является возможность оптимизации производственных процессов на основе анализа данных о работе оборудования, качестве продукции, затратах, что может способствовать сокращению издержек и обеспечению более эффективного использования ресурсов. Кроме того, применение ИИ в АСУ ТП позволяет повысить безопасность производства за счет обнаружения и предотвращения аварийных ситуаций. Алгоритмы машинного обучения способны анализировать данные с датчиков и своевременно реагировать на изменение параметров работы оборудования, предотвращая возможные сбои и отказы.

Однако, при внедрении ИИ в АСУ ТП необходимо учитывать ряд сложностей и ограничений. Во-первых, для обучения алгоритмов машинного обучения требуются большие объемы данных, которые не всегда доступны на производстве. Во-вторых, внедрение ИИ может потребовать значительных инвестиций в модернизацию оборудования и программного обеспечения. В-третьих, при использовании ИИ существует риск потери контроля над процессом со стороны человека, что может негативно сказаться на безопасности производства.

Другим важным направлением является использование Интернета вещей (IoT). IoT – это сеть физических объектов, оборудованных сенсорами и устройствами с возможностью сбора и обмена данными через сеть Интернет. Исследователи отмечают, что IoT позволяет оптимизировать производственные процессы и повысить их эффективность.

Одно из главных преимуществ использования IoT в АСУ ТП заключается в возможности удаленного мониторинга и управления оборудованием. Это позволяет оперативно реагировать на возникающие проблемы и предотвращать аварийные ситуации. Кроме того, IoT способен собирать информацию о работе оборудования в режиме реального времени, что дает возможность анализировать

его производительность и быстро выявлять потенциальные проблемы. Другое важное преимущество IoT – возможность интеграции различных устройств и систем в единую сеть, которая может способствовать созданию более сложных и эффективных систем управления, адаптирующихся к изменяющимся условиям работы. Вызовы и ограничения внедрения IoT в АСУ ТП аналогичны недостаткам применения ИИ.

Перспективы использования ИИ и IoT в АСУ ТП весьма значительны. Уже сейчас многие компании активно внедряют технологии машинного обучения и удаленного мониторинга для оптимизации производственных процессов и повышения их эффективности. В будущем же, с развитием технологий и накоплением больших объемов данных о работе оборудования, возможности применения ИИ и IoT в АСУ ТП будут только расширяться [4, с. 751].

Что касается внедрения облачных вычислений в сферу АСУ ТП, то оно дает возможность решения многих проблем, связанных с хранением и обработкой больших объемов данных. Облачные вычисления предоставляют высокую гибкость и масштабируемость, что особенно важно для АСУ ТП, так как объемы данных, с которыми им приходится работать, растут с каждым годом. Благодаря облачным вычислениям, АСУ ТП могут эффективно использовать ресурсы серверов, что способствует повышению производительности и снижению издержек. Важно отметить, что одним из ключевых аспектов внедрения облачных вычислений в АСУ ТП является обеспечение безопасности данных. В данном контексте актуальным является обеспечение защиты конфиденциальности и целостности данных, а также надежности доступа к ним. Для этого применяются различные механизмы шифрования и аутентификации, а также современные облачные системы с высокой степенью резервирования [5, с. 38].

Введение предиктивной аналитики в АСУ ТП позволяет прогнозировать будущие события и состояния, что может помочь предотвратить возможные аварийные ситуации и снизить соответствующие риски. Для данной технологии применение упомянутых алгоритмов машинного обучения и ИИ может способствовать успешному анализу исторических данных, выявлению закономерностей и трендов, предсказыванию сценариев развития событий [5, с. 39].

Таким образом, внедрение новых технологий и методов управления является важным шагом в модернизации АСУ ТП и способствует повышению эффективности и безопасности производства

2. Улучшение аппаратного обеспечения АСУ ТП.

Данное направление является одним из ключевых при реализации задач модернизации и повышения эффективности производства. Аппаратное обеспечение АСУ ТП включает в себя контроллеры, датчики, исполнительные механизмы и другие элементы, обеспечивающие сбор и обработку информации о технологическом процессе, а также управление им. Основными направлениями улучшения аппаратного обеспечения АСУ ТП являются:

– обновление устаревших компонентов системы;

– внедрение новых контроллеров и датчиков с улучшенными характеристиками;

– разработка и внедрение новых исполнительных механизмов;

– повышение надежности и отказоустойчивости системы.

Внедрение новых контроллеров и датчиков позволяет улучшить качество сбора и обработки информации, что, в свою очередь, способствует более точному и эффективному управлению технологическим процессом. Разработка и внедрение новых исполнительных механизмов также способствует повышению гибкости системы и ее способности адаптироваться к изменяющимся условиям. Повышение надежности и отказоустойчивости аппаратного обеспечения АСУ ТП достигается за счет применения современных технологий резервирования и дублирования критически важных элементов системы, а также использования надежных и проверенных компонентов. Улучшение аппаратного обеспечения АСУ ТП также способствует снижению затрат на эксплуатацию системы, повышает ее безопасность и устойчивость к различным воздействиям [6, с. 11].

3. Развитие программного обеспечения для АСУ ТП.

Программное обеспечение АСУ ТП призвано обеспечивать сбор, обработку и анализ данных о технологическом процессе, а также формирование управляющих воздействий на исполнительные устройства. Основными направлениями развития программного обеспечения АСУ ТП являются:

– разработка новых программных комплексов для управления технологическими процессами;

– адаптация и внедрение современных методов и алгоритмов управления;

– развитие систем поддержки принятия решений на основе предиктивной аналитики;

– повышение надежности и безопасности программного обеспечения;

– обеспечение информационной безопасности и защиты данных в целом.

Разработка новых программных комплексов позволяет улучшить функциональность системы, повысить ее гибкость и адаптивность к изменяющимся условиям эксплуатации. Адаптация и внедрение современных методов и алгоритмов управления обеспечивают более точное и эффективное управление технологическим процессом и способствуют повышению качества выпускаемой продукции. Развитие систем поддержки принятия решений и предиктивной аналитики открывает возможность прогнозирования сбоев в работе оборудования. Повышение надежности и безопасности программного обеспечения достигается за счет использования современных технологий, тестирования и контроля качества программ, а также применения надежных аппаратных средств [6, с. 12].

4. Повышение безопасности АСУ ТП.

Безопасность АСУ ТП обеспечивается за счет применения комплекса мер, направленных на предотвращение несанкционированного доступа к системе, защиту информации и обеспечение надежного функционирования оборудования. Основные направления повышения безопасности АСУ ТП:

– внедрение современных систем защиты информации, включая шифрование данных, аутентификацию пользователей и контроль доступа к ресурсам системы;

– использование надежных аппаратных и программных средств защиты, обеспечивающих устойчивость системы к различным видам атак и взломов;

– разработка и внедрение мер по обеспечению физической безопасности оборудования АСУ ТП, включая установку систем видеонаблюдения, контроля доступа и охранной сигнализации;

– обучение персонала правилам работы с данными и обеспечения информационной безопасности в рамках АСУ ТП;

– регулярное проведение аудита безопасности и анализа уязвимостей системы с целью выявления и устранения возможных угроз.

В целом, повышение безопасности АСУ ТП способствует снижению рисков возникновения инцидентов, связанных с нарушением информационной безопасности, и позволяет обеспечить надежную и эффективную работу современных производственных систем [7, с. 128].

5. Разработка открытых стандартов.

Открытые стандарты АСУ ТП призваны обеспечить совместимость и взаимодействие различных компонентов системы, а также облегчить процесс внедрения новых технологий и решений. Основными задачами разработки открытых стандартов АСУ ТП являются:

– определение общих требований к функциональности и безопасности системы;

– разработка единых стандартов для обмена данными между компонентами АСУ ТП;

– установление единых протоколов и интерфейсов для взаимодействия систем управления разных производителей;

– создание стандартов для интеграции АСУ ТП с другими системами и устройствами.

Применение открытых стандартов АСУ ТП позволяет сократить затраты на разработку и внедрение систем управления, повысить их надежность и эффективность, а также обеспечить возможность масштабирования и модернизации без необходимости полной замены оборудования. Кроме того, открытые стандарты способствуют развитию конкуренции на рынке АСУ ТП, что может привести к снижению цен и улучшению качества продукции [8, с. 49].

Важно также отметить, что комплексная модернизация АСУ ТП стимулирует развитие новых технологий и инноваций в промышленности. Внедрение современных методов управления и обработки данных позволяет повысить эффективность использования ресурсов и сократить выбросы вредных веществ в окружающую среду. Также модернизация АСУ ТП способствует развитию новых форм организации производства, таких как цифровая трансформация и использование ИИ в управлении технологическими процессами. В настоящее время существует множество примеров успешных модернизаций АСУ ТП. Наиболее распространенным опытом является внедрение АСУ ТП на предприятиях нефтегазовой отрасли. Благодаря

использованию современных технологий и подходов, сегодня удается значительно повысить эффективность добычи и переработки нефти и газа, а также снизить затраты на их транспортировку. Еще один пример успешной модернизации АСУ ТП – внедрение усовершенствованных систем управления на металлургических предприятиях. Использование современных контроллеров и программного обеспечения позволяет оптимизировать работу доменных печей и сокращать выбросы вредных веществ в атмосферу. Также стоит отметить успешную модернизацию АСУ ТП на электростанциях. Применение современных систем управления способствует снижению затрат на топливо и повышает эффективность работы турбин, что приводит к увеличению выработки электроэнергии. Модернизация АСУ ТП актуальна и для оптимизации процесса сборки автомобилей. Здесь в результате модернизации внедряются более усовершенствованные системы контроля качества, улучшаются системы планирования и логистики, а также применяются интеллектуальные алгоритмы управления. Успешной можно также назвать модернизацию АСУ ТП в пищевой промышленности. Она способствует повышению качества и безопасности продукции, сокращению количества брака и повышению эффективности труда персонала [6, с. 13].

Следует резюмировать, что модернизация АСУ ТП играет важную роль в современной промышленности. Внедрение новых технологий и решений позволяет предприятиям повысить эффективность производства, сократить затраты на ресурсы, улучшить качество продукции и обеспечить безопасность рабочих процессов. Однако модернизация АСУ ТП требует значительных инвестиций и предполагает высокий уровень профессионализма при проектировании, разработке и внедрении новых систем. Поэтому важно выбирать надежных поставщиков и партнеров, которые способны предложить комплексные решения, учитывая специфику и требования конкретного производства. В целом, на сегодняшний день успешное развитие современной промышленности во многом зависит от уровня модернизации АСУ ТП, которая помогает предприятиям оставаться конкурентоспособными на рынке, снижать негативное воздействие на окружающую среду и обеспечивать стабильный рост экономики страны.

Список литературы:

1. Луков, Д. К. Автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) / Д. К. Луков. – Текст: электронный // European science. – 2019. – № 2. – С. 19-21. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizirovannye-sistemy-upravleniya-tehnologicheskim-protsessom-asu-tp (дата обращения: 22.11.2023).
2. Турицын, Ю. А., Баранникова, И. В., Пасечник, И. А. Обзор современных АСУ ТП и АСДУ на промышленных предприятиях / Ю. А. Турицын, И. В. Баранникова, И. А. Пасечник. – Текст: электронный // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2009. – № 12. – С. 355-362. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-sovremennyh-asutp-i-asdu-na-promyshlennyh-predpriyatiyah (дата обращения: 23.11.2023).

3. Тверской, Ю. С. Особенности и проблемы современного этапа развития технологии создания АСУ ТП тепловых электростанций / Ю. С. Тверской, С. А. Таламанов. – Текст: электронный // Теплоэнергетика. – 2010. – № 10. – С. 37-44. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=15510066 (дата обращения: 24.11.2023). – EDN NBKOVZ.
4. Чесноков, Ю. Н. Искусственный интеллект в АСУ ТП / Ю. Н. Чесноков, А. В. Лаптева. – Текст: электронный // Весенние дни науки: сборник докладов Международной конференции студентов и молодых ученых, Екатеринбург, 20–22 апреля 2023 г. – Екатеринбург: УрФУ, 2023. – С. 751-753. – URL: https://elar.urfu.ru/handle/10995/125504 (дата обращения: 24.11.2023).
5. Шишов, О. В. Современные тенденции развития сетевых технологий в АСУ ТП / О. В. Шишов. – Текст: электронный // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2018. – № 9. – С. 37-45. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=35648302 (дата обращения: 25.11.2023). – EDN YABXKH.
6. Николаев, А. В. Повышение производительности оборудования модернизацией АСУТП / А. В. Николаев, А. Н. Камакин, Ю. В. Васильков. – Текст: электронный // Математические методы в технике и технологиях. – 2017. – № 1. – С. 11-13. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=30601236 (дата обращения: 26.11.2023). – EDN ZTQVAD.
7. Римша, А. С. Методы, модель и программный комплекс для анализа информационных рисков в АСУ ТП / А. С. Римша. – Текст: электронный // Математические методы в технологиях и технике. – 2021. – № 6. – С. 127-134. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=30601236 (дата обращения: 27.11.2023). – EDN ZJABQQ.
8. Гайкович, Г. Ф. Стандартизация в области промышленных сетей. Развитие беспроводных стандартов для АСУ ТП / Г. Ф. Гайкович. – Текст: электронный //Электронные компоненты. – 2009. – №. 1. – С. 48-52. – URL: https://russianelectronics.ru/files/40341/EK2009_01_48-54.pdf (дата обращения: 28.11.2023).

© Хакимова А. З., Борисова О. В., 2023

УДК 330.15

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА СТОИМОСТЬ ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИХ РАБОТ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ГАЗОПРОВОДОВ В МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

магистрант **Сычева Марина Павловна,**
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент **Николаева Анна Георгиевна,**
Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассматривается перечень основных видов проектно-изыскательских работ, используемый в области газоснабжения. Производится изучение требований к выполнению инженерных изысканий и технических условий на прокладку газопровода вне и в населенном пункте. В результате анализа выявляются факторы, влияющие на удорожание стоимости выполнения проектно-изыскательских работ.

Ключевые слова: проектно-изыскательские работы, газоснабжение, инженерные изыскания, проектная документация, факторы.

ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING THE COST OF DESIGN AND SURVEY WORK FOR THE CONSTRUCTION OF GAS PIPELINES IN THE MOSCOW REGION

Master Student **Sycheva Marina Pavlovna,**
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor
Nikolaeva Anna Georgievna,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. The paper considers the list of the main types of design and survey work used in the field of gas supply. The requirements for the performance of engineering surveys and technical conditions for laying a gas pipeline outside and in a locality are being studied. As a result of the analysis, the factors influencing the rise in the cost of performing design and survey work are identified.

Keywords: design and survey work, gas supply, engineering surveys, project documentation, factors.

Развитие сетей газораспределения во всех регионах Российской Федерации является важной стратегической задачей. Обеспечение доступа к «голубому топливу» как индивидуального гражданина, так и объектов

коммерческого и промышленного секторов оказывает огромное влияние на социально-экономическое развитие. Повышается уровень комфорта жизни, появляется импульс для создания и модернизации коммунально-бытовых и промышленных предприятий.

Любое строительство начинается с инженерных изысканий и разработки проектной документации на объект. Безусловно, каждый объект отличается от другого, поэтому в рамках статьи будут определены некоторые факторы, которые влияют на стоимость (чаще в сторону удорожания) проектно-изыскательских работ для строительства газопроводов в Московской области.

Первоначально был рассмотрен и консолидирован перечень проектно-изыскательских работ необходимый для разработки документации в сфере газоснабжения. Использовались открытые источники государственных закупок и тендеров: РосТендер [1], РТС-тендер [2].

Произвольно были отобраны тендеры и конкурсы на выполнение проектно-изыскательских работ по объектам Программ газификации регионов РФ (Программа газификации России ПАО «Газпром» 2021–2025 [3], Программа Правительства Московской области «Развитие газификации в Московской области до 2030 года», утвержденная Постановлением Правительства Московской области от 20.12.2004 № 778/50 (в редакции от 05.09.2023 № 706-ПП [4]):

1. Тендер №70106146 от 25.08.23. Выполнение ПИР по объектам Программы газификации регионов РФ: Газопровод межпоселковый от г. Приозерск [5].
2. Тендер №70108842 от 25.08.23. Выполнение ПИР по объектам Программы газификации регионов РФ: Газопровод межпоселковый ГРС Бикин – н.п. Бикин – н.п. Оренбургское Бикинского района Хабаровского края; Газопровод межпоселковый [6].
3. Тендер №70106146 от 25.08.23. Выполнение ПИР по объектам Программы газификации регионов РФ: Газопровод межпоселковый от г. Приозерск, [7].
4. Тендер №69604590 от 28.07.23. Выполнение ПИР по объектам Программы газификации регионов РФ: Газопровод высокого давления от ГРС Брянск-3 (Белые Берега) до н. п. Малое Полпино (23/2.3/0074293/ГП Проект) [8].
5. Закупка №32312191296 в ЕИС. Выполнение проектно-изыскательских работ: «Газификация д. Горбово» Рузского городского округа Московской области [9].
6. Закупка №32312855980 в ЕИС. Выполнение проектно-изыскательских работ: «Газопровод высокого давления к д. Мерлеево сельского поселения Стремиловское с последующей газификацией» городского округа Чехов Московской области [10].
7. Закупка №32109916222 в ЕИС. Выполнение проектно-изыскательских работ: «Газификация мкр. Загорье-2 г. Солнечногорск» городского округа Солнечногорск Московской области [11].

8. Закупка №32110466637 в ЕИС. Выполнение проектно-изыскательских работ: «Газопровод высокого давления к с. Шубино с последующей газификацией» городского округа Домодедово Московской области [12].

Проанализированы технические задания (далее – ТЗ), представленные в документации к закупкам и тендерам, выявлено выполнение следующих работ:

1. Разработка схемы газоснабжение населенного пункта.
2. Разработка кадастровой и землеустроительной документации (оформление земельных участков на период строительства).
3. Лесоустроительная документации.
4. Выполнение комплексных инженерных изысканий:
   - 4.1. Инженерно-геодезические изыскания.
   - 4.2. Инженерно-геологические изыскания.
   - 4.3. Инженерно-экологические изыскания.
   - 4.4. Инженерно-гидрометеорологические изыскания.
   - 4.5. Инженерно-археологические изыскания.
5. Разработка проектной документации (в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 16.02.2008 № 87 (в редакции от 15.09.2023) «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» выполняются следующие разделы на линейные объекты, к которым относятся сети газоснабжения и сооружения на них [13]:
   - 5.1. Пояснительная записка.
   - 5.2. Проект полосы отвода.
   - 5.3. Технологические и конструктивные решения линейного объекта. Искусственные сооружения.
   - 5.4. Здания, строения и сооружения, входящие в инфраструктуру линейного объекта.
   - 5.5. Проект организации строительства.
   - 5.6. Проект организации работ по сносу (демонтажу) линейного объекта (при необходимости).
   - 5.7. Мероприятия по охране окружающей среды (при необходимости).
   - 5.8. Рекультивация нарушенных земель.
   - 5.9. Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности.
   - 5.10. Смета на строительство, реконструкцию, капитальный ремонт, снос объекта капитального строительства.
   - 5.11. Перечень мероприятия по гражданской обороне. Мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.
   - 5.12. Проект организации дорожного движения (при необходимости).
6. Рабочая документация.
7. Проектная и рабочая документация на станцию катодной защиты. Проект электроснабжения (при необходимости).

Как видно перечень довольно объемный, рассмотрим каждый вид работ детальнее. Начнем с пункта 1: Разработка схемы газоснабжение населенного пункта (далее – СГ).

Исходя из «СБЦП 81-2001-14. Справочник базовых цен на проектные работы в строительстве «Газооборудование и газоснабжение промышленных предприятий, зданий и сооружений» (внесен Приказом Минстроя России от 27.02.2015 № 140/пр) (далее – СБЦП 81-2001-14) [14], на стоимость СГ влияет основной показатель – количество потребителей (при расчете сетей низкого давления за потребителя принимается один участок с путевым расходом и (или) один сосредоточенный потребитель). Ввиду необходимости полного охвата всех земельных участков в газифицируемом населенном пункте, изменение количества потребителей невозможно. Таким образом, стоимость данной работы прямо пропорциональна величине населенного пункта.

Далее следует п. 2: Разработка кадастровой и землеустроительной документации (оформление земельных участков на период строительства).

В данные работы входит получение разрешения на размещения объекта на территориях, находящихся в собственности Московской области, заключение договоров аренды с частными землепользователями при наличии обременения их земельного участка, установка публичных сервитутов на земли сельскохозяйственного назначения и автодороги (с учетом подготовки отчета об оценке).

Зависит от количества затрагиваемых землепользователей по трассе газопровода.

Пункт 3: Лесоустроительная документация. При анализе технических заданий данный вид работ встречался не везде. Соответственно можно сделать вывод, что он обусловлен наличием земель лесного фонда или лесопарков в зоне проектируемого объекта.

Пункт 4: Выполнение комплексных инженерных изысканий.

4.1. Инженерно-геодезические изыскания.

Выполняются по «СП 317.1325800.2017. Свод правил. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Общие правила производства работ» [15].

На стоимость влияет протяженность объекта и сложный рельеф снимаемой местности. Количество сторонних коммуникаций, которые попадают в зону съемки и требуют согласования с эксплуатирующими организациями. Различаются застроенная территория, открытая местность на незастроенной территории и незастроенная территория, закрытая растительностью.

4.2. Инженерно-геологические изыскания.

Количество выявленных инженерно-геологических элементов и лабораторные исследования их монолитов и проб зависят в основном от зоны естественного залегания и глубины буровых скважин. В СП 446.1325800.2019 «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ» [16] указано: для газопровода максимальное расстояние между скважинами составляет 300 м, при глубине на 2 м ниже предполагаемой глубины заложения трубопровода. Однако такой метод подходит для слаборасчлененного рельефа.

При наличии на объекте водных объектов уже требуется устройство не менее 3-х скважин (в русле и на берегах). Если это озеро или водохранилище

допускается применять глубину как на линейной части, но на реках необходимо заглубляться уже на 3-5 м ниже глубины прокладки.

При пересечении автомобильных дорог (2 и 3 категории) глубина скважин увеличивается до 5,0 м, для 1 категории – 6,0 м. Также учитывается рельеф, обрамляющий дорожное полотно. При обустройстве автодороги в выемке при разработке скважины учитывается требование прокладки газопровода на 2,0 – 2,5 ниже кювета, соответственно, глубина скважины должна быть увеличена.

Помимо дополнительных элементов непосредственно на самом объекте буровые работы могут производиться различными способами бурения: колонковое, ударно-канатное, шнековое. Для территории Московской области ввиду стесненных условий и труднопроходимости крупногабаритной техники при отсутствии рек в большинстве случаев возможно использование шнекового бурения с колонковым шнеком (для отбора монолитов).

4.3. Инженерно-экологические изыскания.

Изыскания, направленные на комплексное обследование компонентов окружающей среды и техногенных влияний в зоне проектирования. В их рамках определяются возможные негативные последствия для окружающей среды от проектируемого объекта и разработка мер по их предотвращению или снижению.

Выполняются по «СП 502.1325800.2021. Свод правил. Инженерно-экологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ» [17].

Стоимость зависит от площади полосы отвода, наличия водных объектов (дополнительно отбирается и исследуется вода и донные отложения из источников).

4.4. Инженерно-гидрометеорологические изыскания.

Комплекс работ, который дает представление о реках и других водных объектах на территории изысканий. Позволяет оценить их влияние на строительство и эксплуатацию объекта. «СП 482.1325800.2020. Свод правил. Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ» [18].

Зависит от наличия и количества водных объектов, их протяженности и площади бассейна.

4.5. Инженерно-археологические изыскания.

Также представлены не во всех ТЗ. Основанием для выполнения выступает письмо-заключение от Главного управления культурного наследия Московской области (далее – ГУКН).

При подтверждении границ населенного пункта и освоенной территории выполнение работ нецелесообразно. При отсутствии данных в ГУКН вменяется необходимость выполнения инженерно-археологических изысканий, исходя из площади затрагиваемых при строительстве земель. Если же на объекте присутствует памятник культурного наследия (обелиск, храм и т. д.) и трасса проектируемого газопровода проходит в непосредственной близости от строения, то дополнительно потребуется выполнение раздела о сохранении памятника.

Пункты 5 и 6 будут рассмотрены единовременно, так как объемы и виды работ в них идентичные с учетом применения коэффициента 0,4 для проектной документации и 0,6 для рабочей документации.

Для оценки использовано «СБЦП 81-2001-14». Стоимость проектирования линейной части газопровода зависит от протяженности, удорожающими факторами выступают стесненные условия, когда в зоне строительства работ более 5 коммуникаций или плотность застройки более 30 %, при их наличии применяется коэффициент 1,3.

Однако при пересечении с другими коммуникациями не более одного раза уже применяется понижающий коэффициент 0,4.

Наиболее дорогой вид работ – закрытая прокладка футляра для газопровода различными способами (прокол или продавливание, а также наклонно-направленное бурение). Данная расценка применима и к прокладке газопровода закрытым способом с защитным покрытием («Протект», «Мультипайп»). Ввиду стесненных условий и требований от балансодержателей автомобильных дорог, когда полоса отвода дороги включает всю территорию до земельных участков потребителей, часть трассы, иногда довольно большую, необходимо предусматривать именно закрытым способом во избежание нарушения существующих наземных сооружений.

В соответствии с «СП 62.13330.2011 Газораспределительные системы. Актуализированная редакция СНиП 42-01-2002 (с изменениями № 1,2,3,4)» [19] установка футляров требуется при пересечении с:

- железнодорожными и трамвайными путями, линиями и сооружениями метрополитена, автомобильными дорогами категорий I – IV, а также с магистральными улицами и дорогами,
- водными объектами,
- теплотрассами.

И итоговый пункт 7: Проектная и рабочая документация на станцию катодной защиты (далее – СКЗ). Проект электроснабжения.

Готовится только при проектировании газопроводов из стальных труб. Разработка данного раздела осуществляется при наличии технических условий на защиту газопроводов от коррозии, подтверждающих отсутствие действующих или нехватку текущих станций катодной защиты в зоне проектирования нового газопровода. При наличии активной станции раздел не разрабатывается.

Стоимость зависит от количества проектируемых установок, а также от дальности источника электроснабжения.

Обобщив выше представленную информацию, возможно сделать следующие выводы. К факторам, влияющим на стоимость проектно-изыскательских работ для строительства газопроводов в Московской области, относятся:

1. Протяженность самой трассы газопровода.
2. Количество затрагиваемых землепользователей.
3. Наличие земель лесного фонда или лесопарков.
4. Количество сторонних коммуникаций.
5. Застроенность территории изысканий.

6. Наличие культурного слоя или памятника культурного наследия.
7. Наличие автомобильных дорог, железнодорожных / трамвайных путей.
8. Наличие водных преград или оврагов.

Стоит обратить внимание, что пункты 7 и 8 оказывают влияние почти на все исследованные виды работ.

9. Необходимость выполнения проекта на СКЗ.

Список литературы:

1. Тендеры ООО «Газпром проектирование» на проектно-изыскательские работы [сайт]. – 2023. – URL: https://rostender.info/category/tendery-gazproma-na-proektirovanie?active_filter= 1&page=2 (дата обращения: 26.09.2023). – Текст: электронный.
2. Закупки АО «Мособлгаз» на проектно-изыскательские работы [сайт]. – 2023. – URL: https://www.rts-tender.ru/poisk/search?id=e416f76b-176b-4b01-b748-cda78fa21a01 (дата обращения: 26.09.2023). – Текст: электронный.
3. Программа газификации России ПАО «Газпром» 2021–2025 [сайт]. – 2023. URL: https://www.gazprommap.ru/ program/ (дата обращения: 26.09.2023). – Текст: электронный.
4. Программа Правительства Московской области «Развитие газификации в Московской области до 2030 года» от 20.12.2004 № 778/50 (в редакции от 05.09.2023 № 706-ПП) [сайт]. – 2023. – URL: https://minenergo.mosreg.ru/dokumenty/napravleniya-deyatelnosti/gazosnabzhenie/normativnopravovyedokumenty-i-programmy/06-09-2023-16-49-32-postanovlenie-pravitelstvamoskovskoy-oblasti-o-vn (дата обращения: 26.09.2023). – Текст: электронный.
5. Тендер №70106146 от 25.08.23 [сайт]. – 2023. – URL: https://rostender.info/region/leningradskaya-oblast/priozersk/70106146-tender-vypolnenie-pir-po-obektam-programmy-gazifikacii-regionov-rf-gazoprovod-mejposel kovyj-ot-gpriozersk-k-dburnevo-pkuznechnoe (дата обращения: 27.09.2023). – Текст: электронный.
6. Тендер №70108842 от 25.08.23 [сайт]. – 2023. – URL: https://rostender.info/region/habarovskij-kraj/habarovsk/70108842-tender-vypolnenie-pir-po-obektam-programmy-gazifikacii-regionov-rf-gazoprovod-mejposelkovyj-grs-bikin-np-bikin-np-orenburgskoe (дата обращения: 27.09.2023). – Текст: электронный.
7. Тендер №70106146 от 25.08.23 [сайт]. – 2023. – URL: https://rostender.info/egion/leningradskaya-oblast/priozersk/70106146-tender-vypolnenie-pir-po-obektam-programmy-gazifikacii-regionov-rf-gazoprovod-mej poselkovyj-ot-gpriozersk-k-dburnevo-pkuznechnoe (дата обращения: 27.09.2023). – Текст: электронный.
8. Тендер №69604590 от 28.07.23 [сайт]. – 2023. – URL: https://rostender.info/region/bryanskaya-oblast/bryansk/69604590-tender-vypolnenie-pir-po-obektam-programmy-gazifikacii-regionov-rf-gazoprovod-vysokogo-davle niya-ot-grs-bryansk-3-belye-berega-do-np (дата обращения: 27.09.2023). – Текст: электронный.
9. Закупка №32312191296 в ЕИС [сайт]. – 2023. – URL: https://www.rts-tender.ru/poisk/search?id=97745830-c496-446d-ac60-07d78ec8a713 (дата обращения: 27.09.2023). – Текст: электронный.

10. Закупка №32312855980 в ЕИС [сайт]. – 2023. – URL: https://www.rts-tender.ru/poisk/id/l32312855980-1/ (дата обращения: 27.09.2023). – Текст: электронный.
11. Закупка №32109916222 в ЕИС [сайт]. – 2023. – URL: https://www.rts-tender.ru/poisk/id/l32109916222-1/ (дата обращения: 27.09.2023). – Текст: электронный.
12. Закупка №32110466637 в ЕИС [сайт]. – 2023. – URL: https://www.rts-tender.ru/poisk/search?id=a9c2f7e1-37c1-40a4-86e3-2686f9cceec0 (дата обращения: 27.09.2023). – Текст: электронный.
13. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 N 87 (ред. от 15.09.2023) «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» [сайт]. – 2023. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_75048/74abc4a974f74bc11fd35071af357a0114398a22/ (дата обращения: 27.09.2023). – Текст: электронный.
14. Государственный Сметный Норматив «Справочник базовых цен на проектные работы в строительстве «Газооборудование и газоснабжение промышленных предприятий, зданий и сооружений» [сайт]. – 2023. – URL: https://minstroyrf.gov.ru/docs/3483/ (дата обращения: 01.10.2023). – Текст: электронный.
15. СП 317.1325800.2017. Свод правил. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Общие правила производства работ [сайт]. – 2023. – URL: https://docs.cntd.ru/document/556610334 (дата обращения: 03.10.2023). – Текст: электронный.
16. СП 446.1325800.2019. Свод правил. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ [сайт]. – 2023. – URL: https://minstroyrf.gov.ru/docs/18797/ (дата обращения: 07.10.2023). – Текст: электронный.
17. СП 502.1325800.2021. Свод правил. Инженерно-экологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ [сайт]. – 2023. – URL: https://minstroyrf.gov.ru/docs/131522/ (дата обращения: 08.10.2023). – Текст: электронный.
18. СП 482.1325800.2020. Свод правил. Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ [сайт]. – 2023. – URL: https://docs.cntd.ru/document/565278461 (дата обращения: 08.10.2023). – Текст: электронный.
19. СП 62.13330.2011. Свод правил. Газораспределительные системы. Актуализированная редакция СНиП 42-01-2002 (с изменениями № 1,2,3,4) [сайт]. – 2023. – URL: https://tk-expert.ru/uploads/files/ntd/ntd-613-20220510-202707.pdf (дата обращения: 11.10.2023). – Текст: электронный.

© Сычева М. П., 2023

УДК 621.311

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПОПЕРЕЧНОЙ ЕМКОСТНОЙ КОМПЕНСАЦИИ

студент **Рубцов Кирилл Дмитриевич,**
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент **Жуйко Леонид Иванович,**
Иркутский государственный университет путей сообщения,
Красноярский институт железнодорожного транспорта,
г. Красноярск, Российская Федерация

Аннотация. Статья посвящена разработке мобильных устройств емкостной компенсации, предназначенных для улучшения характеристик электротехнических систем и оборудования. Устройства компенсации позволяют регулировать емкостные параметры линий электропередачи, компенсируя реактивную мощность и повышая общую энергоэффективность системы. Авторы подробно описывают процесс разработки таких устройств, уделяя особое внимание принципам их работы, техническим характеристикам и возможным областям применения. В статье также представлены результаты тестирования экспериментальных образцов устройств компенсации, подтверждающие их эффективность и надежность.

Ключевые слова: емкостная компенсация, мобильные устройства, реактивная мощность, энергоэффективность, линии электропередачи, разработка устройств.

DEVELOPMENT OF MOBILE DEVICES FOR TRANSVERSE CAPACITIVE COMPENSATION

Student **Rubtsov Kirill Dmitrievich,**
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor
Zhuiko Leonid Ivanovich,
Irkutsk State Transport University,
Krasnoyarsk Institute of Railway Transport,
Krasnoyarsk, Russian Federation

Abstract. The article is devoted to the development of mobile capacitive compensation devices designed to improve the characteristics of electrical systems and equipment. Compensation devices allow you to adjust the capacitive parameters of power transmission lines, compensating for reactive power and increasing the overall energy efficiency of the system. The authors describe in detail the process of developing such devices, paying special attention to the principles of their operation, technical characteristics and possible applications. The article also presents the results of testing experimental samples of compensation devices, confirming their effectiveness and reliability.

Keywords: capacitive compensation, mobile devices, reactive power, energy

efficiency, power lines, device development.

Устройства поперечной емкостной компенсации (ПЕК) являются важным элементом в системах передачи электроэнергии. Они используются для обеспечения стабильности и эффективности работы высоковольтных линий электропередач. В основе работы ПЕК лежит принцип емкостной компенсации, который позволяет снизить потери электроэнергии и повысить пропускную способность линии [1].

ПЕК состоит из двух основных компонентов: конденсатора и реактора. Конденсатор представляет собой устройство, которое хранит электрический заряд на своих пластинах. Реактор, в свою очередь, используется для ограничения тока, протекающего через конденсатор, и обеспечения его безопасной работы.

Устройства поперечной емкостной компенсации могут быть установлены на подстанциях или вдоль линии электропередачи. Они обычно используются в системах с высоким напряжением (от 110 кВ до 765 кВ) и частотной передачей (50-60 Гц) [2].

Основными преимуществами использования ПЕК являются:

1. *Снижение потерь электроэнергии*: ПЕК позволяют снизить потери на линии, так как они компенсируют реактивную мощность, которая теряется на индуктивности линии. Это приводит к уменьшению потерь на передачу электроэнергии и увеличению эффективности системы.

2. *Повышение пропускной способности линии*: ПЕК увеличивают пропускную способность линий электропередачи, обеспечивая более высокую мощность передачи без увеличения напряжения или сечения провода. Это позволяет увеличить количество передаваемой электроэнергии без необходимости строительства новых линий или подстанций.

3. *Улучшение стабильности системы*: ПЕК обеспечивают стабилизацию напряжения и тока в системе, что снижает риск возникновения колебаний и нарушений в работе. Это делает систему более надежной и устойчивой к внешним воздействиям.

4. *Уменьшение уровня высших гармоник*: ПЕК помогают снизить уровень высших гармоник в системе передачи электроэнергии, что может улучшить качество электроэнергии и снизить нагрузку на оборудование.

Устройства поперечной емкостной компенсации (ПЕК) используются в электроэнергетических системах для регулирования напряжения и повышения устойчивости системы. Они представляют собой конденсаторы, которые подключаются к линиям электропередачи через специальные трансформаторы.

Принцип работы ПЕК заключается в том, чтобы увеличить или уменьшить емкость линии электропередачи, изменяя количество включенных конденсаторов. Это позволяет управлять реактивной мощностью, передаваемой по линии, и корректировать напряжение в системе [3].

Разработка мобильных устройств ПЕК включает в себя несколько этапов [4]:

1. *Определение требований*: На первом этапе определяются основные

требования к устройству, такие как его функции, технические характеристики, внешний вид и т. д.

2. *Проектирование*: На этом этапе разрабатывается схема устройства, выбираются компоненты и материалы, разрабатывается дизайн корпуса и других элементов устройства.

3. *Разработка программного обеспечения*: Разрабатывается программное обеспечение для управления устройством и обработки данных.

4. *Тестирование и отладка*: Проводится тестирование устройства, выявляются и устраняются возможные проблемы.

5. *Производство*: На основе разработанной документации производится серийное производство устройств.

6. *Маркетинг и продажа*: Разработанное устройство продвигается на рынке, организуется его продажа.

Основными преимуществами использования мобильных устройств поперечной емкостной компенсации (ПЕК) являются:

1. *Простота и компактность*: Устройства поперечной емкостной компенсации, или ПЕК, обычно имеют небольшие размеры и легко интегрируются в различные системы. Это позволяет использовать их в самых разных областях, от промышленных применений до бытовых устройств.

2. *Эффективность*: Использование ПЕК может значительно повысить эффективность работы различных систем, в которых они используются. Они могут снизить потери мощности, улучшить общую производительность и уменьшить затраты на электроэнергию.

3. *Универсальность*: Устройства ПЕК могут использоваться в широком диапазоне применений, включая электродвигатели, трансформаторы, конденсаторные батареи и другие устройства. Они также могут быть адаптированы для работы с различными типами материалов и систем.

4. *Экологичность*: Использование устройств ПЕК может помочь снизить выбросы вредных веществ в окружающую среду, так как они могут уменьшить потери энергии и улучшить энергоэффективность.

5. *Безопасность*: ПЕК устройства могут помочь обеспечить безопасность в различных системах, предотвращая перегрев, короткие замыкания и другие проблемы.

6. *Высокая производительность*: Устройства ПЕК позволяют повысить производительность систем, уменьшая потери и увеличивая эффективность.

7. *Долговечность*: Благодаря своей конструкции, устройства ПЕК обычно служат дольше, чем другие типы компонентов, что снижает общую стоимость владения системой.

8. *Легкость обслуживания*: В большинстве случаев, ПЕК устройства не требуют сложного обслуживания или регулярного осмотра, что делает их более привлекательными для многих применений.

9. *Быстрый отклик*: Устройства ПЕК обладают высокой скоростью отклика, что позволяет им быстро адаптироваться к изменениям в системе и предотвращать возможные проблемы.

10. *Экономическая выгода*: В целом, использование устройств ПЕК

позволяет снизить затраты на энергию и обслуживание, что в долгосрочной перспективе может привести к значительной экономии средств.

Однако их использование также требует тщательного контроля и настройки, чтобы избежать возможных проблем, таких как перегрузка системы или колебания напряжения.

На рисунке 1 изображена мобильная установка поперечной компенсации.



Рисунок 1. Фотография передвижной установки поперечной компенсации

Для расчёта поперечной ёмкостной компенсации используются формулы для определения параметров конденсаторов, которые включаются в электрическую цепь для компенсации реактивной мощности [5]:

1. *Общая формула ёмкости конденсатора*

$$C = \frac{1}{2\pi f \cdot \sqrt{U^2 - U_r^2}} \quad (1)$$

где C – емкость конденсатора в фарадах,

f – частота переменного тока в герцах,

V – напряжение на конденсаторе,

V_r – резонансное напряжение конденсатора.

2. *Резонансное напряжение конденсатора*

$$U_r = \frac{U_s}{\sqrt{1 + \left(\frac{X_L}{X_C}\right)^2}} \quad (2)$$

где V_s – амплитуда напряжения на входе цепи,

X_L – индуктивное сопротивление цепи,

X_C – емкостное сопротивление цепи.

3. *Ёмкостной сопротивление*

$$X_C = \frac{1}{2\pi f \cdot C} \tag{3}$$

4. *Индуктивное сопротивление*

$$X_L = \omega \cdot L \tag{4}$$

где ω – угловая частота,

L – индуктивность катушки.

На рисунке 2 и 3 изображены электрические схемы передвижной нерегулируемой и регулируемой установки поперечной компенсации соответственно.

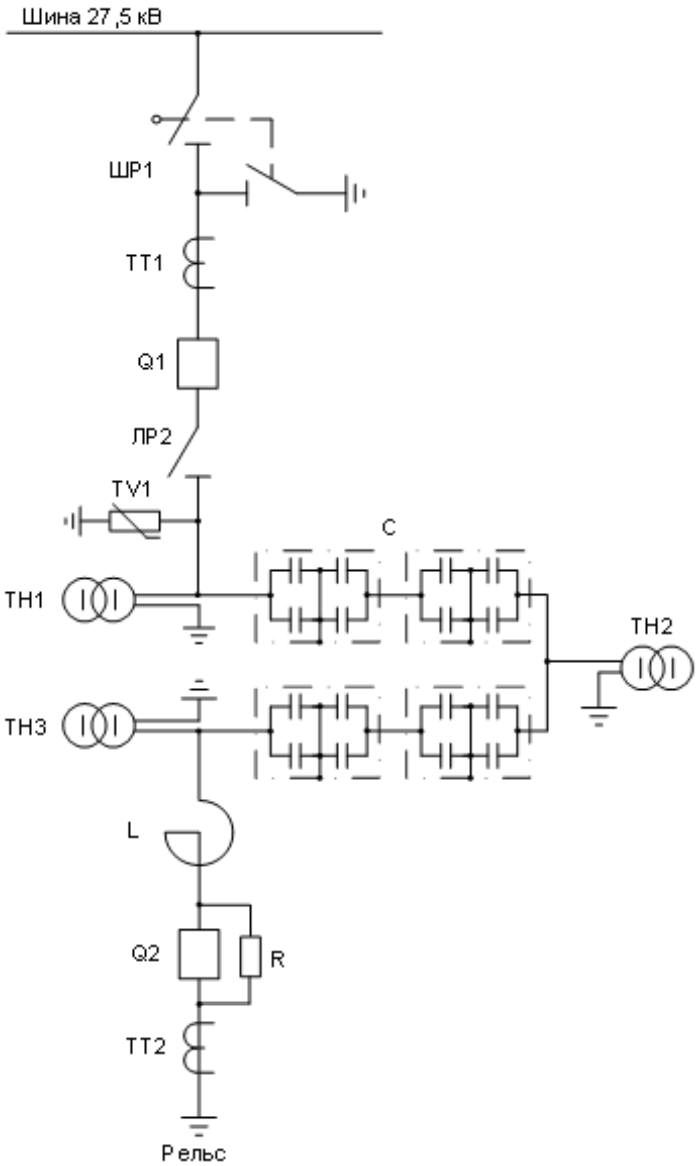


Рисунок 2. Электрическая схема передвижной нерегулируемой установки поперечной емкостной компенсации

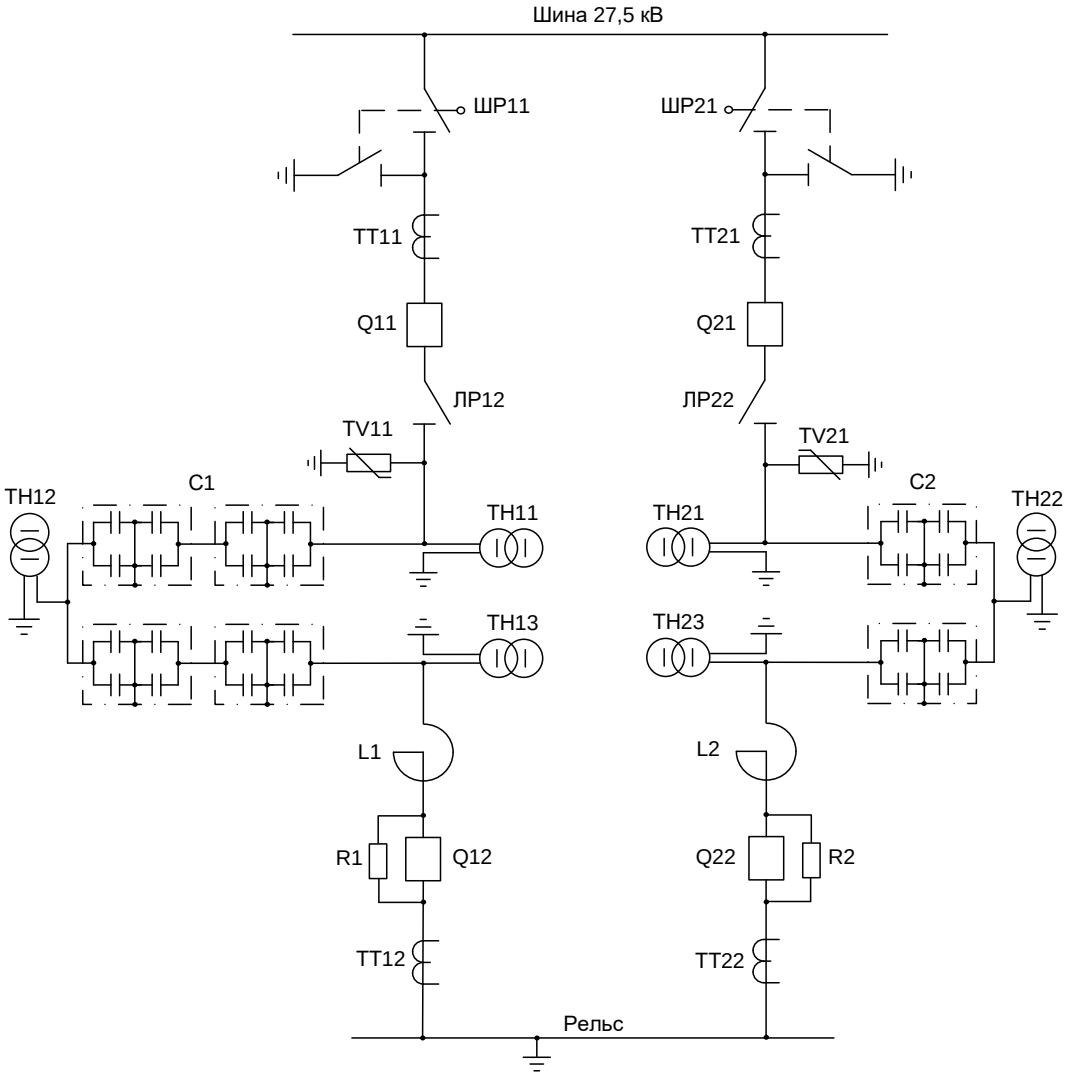


Рисунок 3. Электрическая схема передвижной регулируемой установки поперечной компенсации

Таким образом, разработка мобильных устройств поперечной емкостной компенсации является сложной и ответственной задачей, требующей профессиональных знаний и опыта в области электроэнергетики и электроники. Мобильные устройства поперечной емкостной компенсации требуют более лучшего изучения и применения в энергетике страны.

Список литературы:

1. Вальянов, Д. П. Повышение пропускной способности на участке Кемчуг – Кача за счёт установки поперечной ёмкостной компенсации реактивной мощности / Д. П. Вальянов, А. А. Науменко, К. Д. Рубцов // Молодежная наука: Труды XXVII Всероссийской студенческой научно-практической конференции КрИЖТ ИрГУПС, Красноярск, 20 апреля 2023 года / Редколлегия: В. А. Поморцев (отв. ред.) [и др.]. Том 1. – Красноярск: Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения», 2023. – С. 39-44. – EDN NKTEXJ.

2. Вальянов, Д. П. Повышение энергоэффективности системы тягового электроснабжения в условиях работы постов секционирования с накопителями электрической энергии / Д. П. Вальянов, А. А. Науменко, К. Д. Рубцов // Молодежная наука: Труды XXVII Всероссийской студенческой научно-практической конференции КрИЖТ ИрГУПС, Красноярск, 20 апреля 2023 года / Редколлегия: В.А. Поморцев (отв. ред.) [и др.]. Том 1. – Красноярск: Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения», 2023. – С. 44-50. – EDN RYARQY.
3. Рубцов, К. Д. Повышение энергоэффективности системы тягового электроснабжения в условиях работы постов секционирования с накопителями электрической энергии / К. Д. Рубцов // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В. Г. Шухова: сборник докладов. – Белгород. – 16–17 мая 2023 года. Том Часть 14. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2023. – С. 271-275. – EDN CUWDXO.
4. Герман Л. А. Регулируемые установки ёмкостной компенсации в системах тягового электроснабжения железных дорог: учебное пособие / Л. А. Герман, А. С. Серебряков. – Москва: УМЦ ЖДТ, 2015 – 316 с. – (Высшее образование). – Текст: непосредственный. ISBN: 978-5-89035-799-1.
5. СТО РЖД 07.022.2 – 2015. Методика выбора мест размещения и мощности средств продольной и поперечной компенсации реактивной мощности. – Москва: ОмГУПС – 51 с. – Текст: непосредственный.

© Рубцов К. Д., 2023

УДК 620.98

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ГРУЗА АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ

магистрант **Фролов Алексей Вячеславович,**
Дальневосточный федеральный университет,
г. Владивосток, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассмотрен способ повышения энергоэффективности использования грузового транспорта при перевозке груза. В результате анализа сформированы результаты в литрах снижения расхода топлива на 100 км и энергосбережения в кВт·ч.

Ключевые слова: аэродинамика, аэродинамические конструкции, топливо, полуприцеп, автопоезд, коэффициент обтекания, энергосбережение.

ENERGYSAVING TECHNOLOGIES FOR CARGO TRANSPORTATION BY ROAD TRANSPORT

Master Student **Frolov Alexey Vyacheslavovich,**
Far Eastern Federal University,
Vladivostok, Russian Federation

Abstract. The article considers a way to improve the energy efficiency of using freight transport during cargo transportation. As a result of the analysis, the results were formed in liters of fuel consumption reduction per 100 km and energy saving in kWh.

Keywords: aerodynamics, aerodynamic structures, fuel, semi-trailer, road train, streamline coefficient, energy saving.

Производство электроэнергии является одной из важнейших отраслей в любой стране. Электричество — это универсальный и легко передаваемый вид энергии, который может питать множество потребителей на большие расстояния. Без электричества невозможно осуществлять многие технологические процессы, и это стало неотъемлемой частью повседневной жизни. В связи с этим вопрос энергосбережения становится приоритетным в государственной политике и становится важной областью для всех участников экономической деятельности.

Развитие транспортных средств играет важную роль в общем научно-техническом прогрессе. Транспорт является одним из ключевых потребителей электроэнергии и высококачественного жидкого топлива. Несмотря на некоторые улучшения в области энергоэффективности, транспортная система страны за последние несколько лет претерпела значительные изменения как в количественном, так и в качественном отношении. Быстрое развитие транспорта увеличивает потребность в дорогом топливе и электроэнергии. Поэтому политика энергосбережения становится важной в транспортной отрасли, а

оптимизация конструкции транспортного средства позволяет минимизировать потребление энергии при перевозке грузов и пассажиров.

Развитие автомобильного транспорта тесно связано с использованием природных ресурсов, таких как нефть и газ. По статистике в Российской Федерации на 2022 год имеется 479 356 тыс. грузовых автомобилей на дизельном топливе, что составляет 72 % от общего числа (666 105) среди других видов источника энергии (рис. 1) [1]. Большегрузный автотранспорт имеет средний удельный расход энергии в 108,8 МДж/100 т·км или 30 кВт·ч/100 т·км. Если посмотреть на рисунок 2, то можно увидеть тенденцию к увеличению количества грузовых автомобилей в РФ и с каждым годом расхода «жидкой энергии» соответственно. Снизив потребление энергии для всего грузового автомобильного транспорта хотя бы на 1 кВт·ч, получается экономия около 650 000 кВт·ч, исходя из количества грузовых автомобилей на конец 2022 года [2]. Таким образом, вопросы энергосбережения в транспортной отрасли неразрывно связаны с устойчивостью и эффективностью использования ресурсов. Данную экономию можно направить на благоустройство территорий, обеспечение экологически чистых производств и улучшение качества жизни людей.



Рисунок 1. Статистика количества грузовых автомобилей по видам топлива на 2022 год

Наряду с определённой улучшенной конструкцией двигателя и трансмиссии, позволяющей максимально эффективно расходовать создаваемую энергию, одним из наиболее важных факторов, влияющих на экономию топлива, можно считать аэродинамические решения. Но многие производители и компании не берут во внимание или считают незначительным улучшение аэродинамики при движении грузового транспорта. Хотя технологии в данном направлении способны ощутимо сократить расход потребления топлива при перевозке груза.

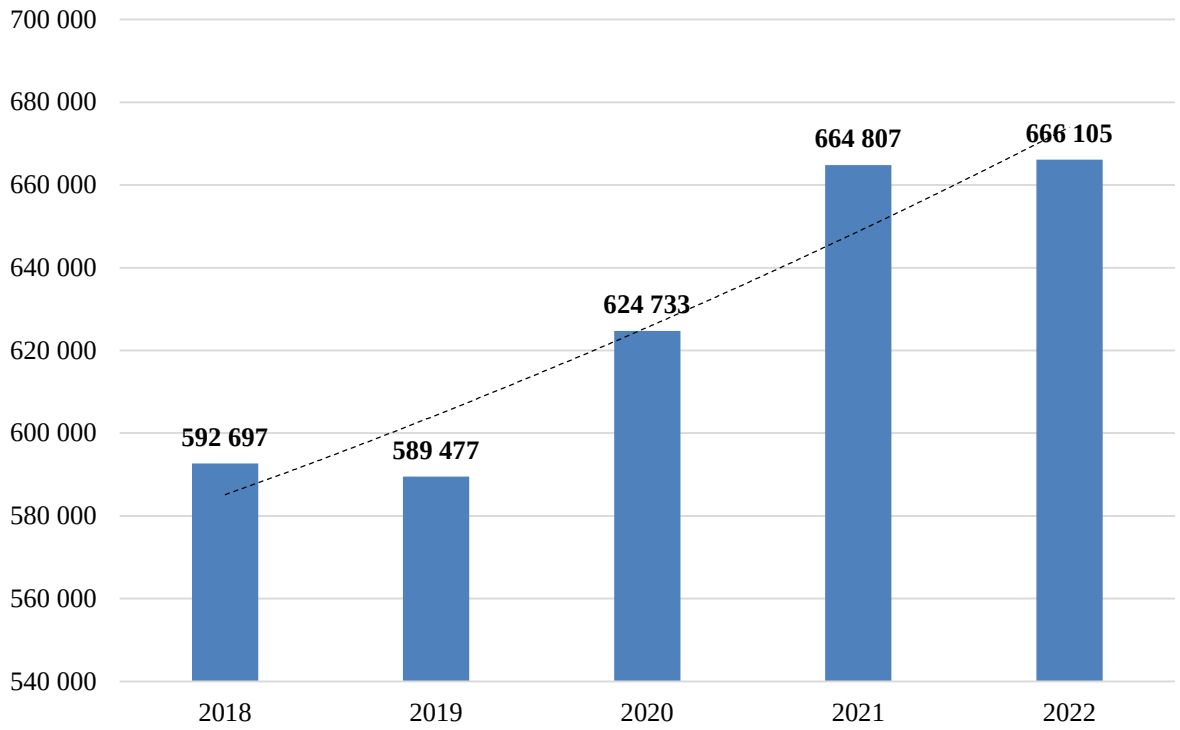


Рисунок 2. Динамика численности грузовых автомобилей в РФ

Аэродинамические свойства транспортных средств оказывают влияние на экономию топлива и экологию окружающей среды, что доказывают многочисленные исследования во всем мире (в большей степени в США). При этом под влиянием аэродинамических требований в значительной мере формируется дизайн скоростных транспортных средств, их комплектация.

Аэродинамические конструкции – специальные отдельные элементы, показанные на рисунке 3, которые крепятся к частям полуприцепов и тягачей с целью улучшения аэродинамических свойств, т. е. снижением коэффициента обтекаемости. В среднем по РФ коэффициент обтекаемости грузового транспорта равен 0,8 и выше, когда в США постепенно снижается до 0,5.

Изучая аэродинамические свойства отдельных частей кузова автомобилей, учёные установили, что форма передней части кузова на величину коэффициента аэродинамического сопротивления влияет в значительно меньшей степени, чем форма задней части. Аэродинамическое сопротивление появляется именно из-за формы задней части кузова, потому что разреженный воздух создаёт замедление («тянет» автомобиль назад) [3].

В рамках данного исследования получилось оценить и проанализировать максимальный эффект от возможного применения некоторых аэродинамических комплектов при перевозке груза. Компания MVT Solutions Certified™ (США) тестирует аэродинамические комплекты и не только для грузовых автомобилей. Полный отчёт включает в себя инструкции по расчётам и более подробную информацию о проведённых тестах [4].



Рисунок 3. Пример инновационного решения в области аэродинамики от компании «TRANSTEX»

В тестировании использовался дизельный двигатель Cummins X15 объёмом 15 литров с турбонаддувом, экологическим стандартом Евро-3 и расходом топлива 33,6 на 100 км, который активно используется российскими и зарубежными компаниями (КАМАЗ, Ивеко, Скания и др.).

К основным преимуществам аэродинамических конструкций относят:

- значительная экономия топлива при перевозке грузов на большие расстояния;
- простая установка (возможность установить без технической поддержки от поставщика);
- быстрый срок окупаемости и невысокая стоимость (в зависимости от манеры езды составляет от 0,8 до 1 года);
- сокращение выбросов парниковых газов CO_2 на 6,7 тонн в год при пробеге в 200 000 км;
- возможность подбора цвета под корпоративный стиль;
- гибкий композитный материал, огибающий препятствия (высоколегированная коррозионностойкая сталь аустенитного класса AISI 304 или русский стандарт 08Х18Н10 и 12Х18Н9).

Аэродинамическая юбка

TRANSTEX EDGE SKIRT (аэродинамическая «юбка») на 48-футовых трейлерах-фургонах (рис. 4). Экономия составила 1,24 литров на 100 км (5,22 %). Исходя из ежегодного пробега в 200 000 км, экономия составляет 2 480 литров в год. При средней цене 54 рубля за литр (средняя розничная цена

дизельного топлива в 2022 году) получаем экономию топлива в размере 133 920 рублей в год [5, 6].

Получив данные в литрах, можно перевести значения, к примеру, в энергию. Используя онлайн перевод из литров в кВт·ч от компании ARBA AUTO, получаем значение экономии энергии равным 11 кВт·ч/100 км. При ежегодном пробеге в 200 000 км значение увеличится до 22 000 кВт·ч. Столько энергии сэкономит аэродинамическая юбка в год на электромобили (с использованием электродвигателей) [7].



Рисунок 4. Пример тестирования аэродинамической юбки

Согласно отчёту Федеральной службы государственной статистики по регионам России, с 1 декабря 2022 года изменены тарифы на электроэнергию для населения и приравненных к ним лиц и составили от 1,42 руб./кВт·ч до 9,70 руб./кВт·ч. Уточняется, что данное изменение не коснётся жителей городских поселений, проживающих в домах с электроплитами и/или электронагревательными установками, а также жителей сельских поселений. В среднем по Российской Федерации тариф на электрическую энергию составляет 4,91 руб./кВт·ч [1]. Следовательно, если рассчитывать результаты энергии в денежном эквиваленте, то получается экономия, равная 108 020 рублей в год.

Аэродинамический «хвостовик»

Aerovolution Booster-Tail показал экономию топлива 1,19 литров/100 км (4,18 %) на 53-футовом прицепе-фургоне или 2 380 литров при ежегодном пробеге в 200 000 км (рис. 6). Одно из главных преимуществ подобных конструкций считается удаление зоны завихрения воздуха в задней части полуприцепа или автопоезда [5]. В денежном эквиваленте это соответствует экономии 123 760 рублей за год.



Рисунок 5. Испытательный прицеп (установлен «хвост» Aerovolution)

Переведём получившиеся значения в энергию. Получается экономия составит 10 кВт·ч/100 км. При ежегодном пробег в 200 000 км значение достигнет 20 000 кВт·ч [7]. В денежном эквиваленте получается 98 200 рублей в год.

Аэродинамические «колпаки»

Испытания аэродинамических колпаков на колеса (Eco Flaps + Eco Caps) сэкономили 1,1 л/100 км (3,90 %) на грузовике и 28-футовом двойном прицепе. Прицеп оборудовали юбками. Исходя из 200 000 км, пройденных ежегодно, экономия составляет 2 200 литров в год [4]. При цене 52 рубля за литр (средняя розничная цена дизельного топлива в 2022 году в РФ) это соответствует экономии топлива в размере 114 400 рублей в год.


Рисунок 6. Пример тестирования аэродинамических колпаков на колёса

Как и в предыдущем случае, переводим получившиеся значения в энергию. Получаемая экономия составит 10 кВт·ч/100 км. При ежегодном пробеге в 200 000 км значение будет равняться 20 000 кВт·ч [7]. В денежном эквиваленте получается 98 200 рублей в год.

Совокупная экономия энергии от использования аэродинамического комплекта из «юбки», «хвостовика» и «колёсных колпаков» будет составлять 62 000 кВт·ч в год при ежегодном пробеге в 200 000 км. В денежном эквиваленте получается экономия равной 304 420 рублей в год.

Таким образом, транспортная отрасль, как и другие отрасли, стремится сократить потребление энергии. Все мировое сообщество, использующее транспортные средства, мечтает о возможности использовать транспортные средства, которые не зависят от используемых топливных ресурсов и не наносят вреда окружающей среде. В настоящее время существуют такие разработки, как электромобили, но у них ограниченный запас хода между каждой зарядкой. В связи с этим энергосбережение на транспорте с аэродинамическими конструкциями не только экономически оправданно и выгодно, но и весьма актуально и необходимо в условиях сокращения мировых запасов природных энергоресурсов. Не стоит забывать, что экономия энергии также приводит к экономии денег.

Список литературы:

1. Автомобильный транспорт / [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики (РОССТАТ): [сайт]. – URL: https://rosstat.gov.ru (дата обращения: 18.11.2023).
2. Энергетические показатели различных видов транспорта [Электронный ресурс] // Железные дороги: [сайт]. – URL:https://lokomo.ru/info/energeticheskie-pokazateli-razlichnyh-vidov-transporta.html?ysclid=lpn8eo9wud696770525 (дата обращения: 18.11.2023).
3. Vadim Volovoj Приближается эра грузовых автомобилей «в юбках» / Vadim Volovoj [Электронный ресурс] // GARGONEWS: [сайт]. – URL: https://www.cargonews.lt/novosti-texniki/ (дата обращения: 20.10.2023).
4. Компания «Mesilla Valley Transportation Solutions (MVTS)» [сайт]. – URL: / https://m-v-t-s.com (дата обращения: 18.11.2023).
5. Фролов А. В. Оценка влияния аэродинамических конструкций на топливную экономичность автомагистрального транспорта // Актуальные исследования. – 2023. – №29 (159). – Ч. I. – С. 6-8. – URL: https://apni.ru/article/6758-otsenka-vliyaniya-aerodinamicheskikh-konstruk (дата обращения: 27.09.2023).
6. EDGE ELITE AEROTM СИСТЕМА / [сайт] // TRANSTEX: [сайт]. – URL: https://transtex-llc.com/ (дата обращения: 20.10.2023).
7. Калькулятор: кВт·ч/100км в Литры/100км / [сайт] // ARBA AUTO: [сайт]. — URL: https://arba.app/ru/l_100km_calculator/?ysclid=lp3kuwqrq2650003580(дата обращения: 19.11.2023).

© Фролов А. В., 2023

УДК 504.062, 519.87, 510.8

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА БОЛЬШИХ ТЕРРИТОРИЙ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

аспирант **Маткурбанов Тулкин Алимбоевич,**
науч. руководитель: доктор техн. наук, доцент **Родионов Алексей Сергеевич**,
Новосибирский государственный университет,
г. Новосибирск, Российская Федерация

Аннотация. В данной статье представлена информация о технологиях экологического мониторинга больших территорий и на что следует обратить внимание при организации этих технологий, включая математические теории. Основа этих технологий ориентирована на покрытие датчиков. Рассмотренные соображения могут использоваться как инструменты энергоэффективного мониторинга протяженных объектов посредством сенсорных сетей.

Ключевые слова: экологический мониторинг, размещение датчиков, энергоэффективность, задача покрытия, задача патрулирования.

MATHEMATICAL BASIS OF ECOLOGICAL MONITORING OF LARGE TERRITORIES BASED ON MODERN TECHNOLOGIES

Postgraduate Student **Matkurbanov Tulkin Alimboevich,**
Academic Advisor: Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
Alexey Sergeevich Rodionov,
Novosibirsk State University,
Novosibirsk, Russian Federation

Abstract. This article provides information about technologies for environmental monitoring of large areas and what you should pay attention to when organizing these technologies, including mathematical theories. The core of these technologies is focused on sensor coverage. The considered considerations can be used as tools for energy-efficient monitoring of extended objects through sensor networks.

Keywords: environmental monitoring, sensor placement, energy efficiency, coverage problem, patrol problem.

Технологии экологического мониторинга постоянно совершенствуются с целью улучшения сбора данных для нормативных целей. Новые инструменты, технологии и подходы используются для повышения эффективности контроля за соблюдением экологического законодательства в соответствии с требованиями нового поколения законодательных актов. Технологии мониторинга становятся все меньше, сложнее, дешевле и быстрее. Развитие и использование таких технологий может помочь регулирующим органам, правительствам и общественности легче отслеживать выбросы загрязняющих веществ, состояние

окружающей среды и несоблюдение требований. Для этого требуется изготовление и установка лучших систем экологического мониторинга, использующих самые современные технологии и системы сбора данных для удаленной работы. Долговечность, непрерывность, сложность, бюджетные ограничения и неопределенность являются ключевыми параметрами эффективного мониторинга.

Инновационные и экологически безопасные продукты актуальны для экологического мониторинга и борьбы с изменением климата. Миниатюрные экологические датчики, такие как газовые, химические и биосенсоры, могут помочь в дистанционном зондировании окружающей среды. Устройства дистанционного зондирования играют все большую роль в проверке состояния окружающей среды на дорогах и помогают проводить политику контроля выбросов [1].

Мониторинг солнечной энергии. Измерение солнечной радиации для определения фактической производительности солнечных электростанций. Анализ в реальном времени необходим для планирования операций по эксплуатации и техническому обслуживанию, включая измерения очистки и ориентации, измерения спроса и предложения, чистой генерации и неиспользуемой мощности, коэффициентов эффективности в реальном времени, расчетов мощности солнечных элементов и проактивного мониторинга трудно обнаруживаемых неисправностей.

В настоящее время экологический мониторинг основан на технологиях Интернета вещей (IoT) и баз данных, которые обеспечивают масштабируемость для централизованного мониторинга миллионов устройств в одной точке, где одновременно выполняется множество расчетов, независимо от местоположения и технологии. Счетчики электроэнергии и другие устройства передают данные непосредственно в облако через регистраторы данных в сети Интернета вещей. Система также обеспечивает рациональное использование солнечной энергии, перенаправляя излишки вырабатываемого электричества на конкретные приборы [2].

Рекомендации по выбору датчиков

Датчики – это основной инструмент для экологического мониторинга окружающей среды. Датчики – это устройства, преобразующие физические характеристики окружающей среды (например, температуру, влажность, интенсивность освещения) в электрические сигналы. Выбор правильного датчика для экологического мониторинга окружающей среды является критически важным фактором успеха.

При выборе датчика важно учитывать следующие типы и характеристики:

- Пассивные или активные датчики: активные датчики требуют питания для работы, в то время как пассивные датчики преобразуют физические воздействия непосредственно в электрические сигналы;

- Абсолютные или относительные датчики: выходной сигнал абсолютных датчиков не зависит от условий эксплуатации. И наоборот, выходной сигнал относительного датчика должен сравниваться с известным значением, например, с фиксированным напряжением;

- Диапазон: минимальное и максимальное значение измеряемой физической величины. Например, если необходимо измерить уровень освещенности, то вас интересуют самые темные и самые яркие значения, которые могут быть обнаружены.

- Чувствительность: отношение выходного сигнала к измеряемой физической величине. Другими словами, чувствительность – это минимальное изменение физической величины, которое вызывает изменение электрического выходного сигнала.

- Время отклика: интервал времени, в течение которого выходной сигнал начинает изменяться в ответ на изменение исследуемой физической величины;

- Линейность: равномерность, с которой датчик преобразует входное изменение физической величины в изменение выходного сигнала. Идеальный датчик должен иметь соотношение 1:1 или линейную зависимость между изменением физической величины и выходным сигналом во всем диапазоне измерений. Поскольку в реальности это невозможно, многие датчики используют различные методы для компенсации нелинейной зависимости между физической величиной и выходным сигналом;

- Разрешение: наименьшее изменение обнаруживаемой физической величины;

- Цифровой или аналоговый выход: некоторые датчики имеют встроенные аналого-цифровые преобразователи, которые передают показания датчика в цифровой форме на микроконтроллер для дальнейшей обработки (два наиболее распространенных протокола – I^2C и SPI). С другой стороны, некоторые недорогие микроконтроллеры не имеют аппаратной поддержки цифровых интерфейсов, и в этом случае предпочтительнее использовать аналоговые выходы;

- Точность: величина максимального отклонения между фактическим значением физического параметра и показаниями датчика. Следует внимательно изучить руководство, так как могут существовать модели датчиков одной серии с разной точностью (обычно это результат компромисса между точностью и стоимостью или потреблением).

- Дрейф: ухудшение характеристик датчика с течением времени, т. е. изменение выходного сигнала, несмотря на отсутствие изменений в физическом воздействии. Дрейф часто определяется как изменение измеряемой величины в единицу времени;

- Срок службы: Датчики имеют ограниченный срок службы. По истечении срока службы характеристики датчика ухудшаются, и он подлежит замене.

При выборе датчиков для мониторинга параметров окружающей среды важно знать, в каких условиях они будут использоваться. Также важно определить, для чего будут использоваться собранные данные.

Как часто их нужно считывать, нужно ли проставлять дату/время, как часто кто-то будет прикасаться к устройству для обслуживания и т. д. Эти ответы в сочетании с характеристиками и условиями эксплуатации определят, какой датчик следует выбрать.

Другие рекомендации по проектированию

Характеристики датчика – не единственный фактор, который необходимо учитывать при разработке надежного решения для экологического мониторинга окружающей среды. При выборе датчика важно оценить предполагаемый сценарий использования и условия эксплуатации, а также принять системные решения относительно мощности, связи и вычислительных возможностей, о чем говорилось выше. Использование сверхточных датчиков в удаленных местах не слишком привлекательно, если их приходится перемещать каждые несколько дней для замены батарей.

Комбинируя альтернативные устройства сбора энергии с маломощными датчиками и микроконтроллерами, можно размещать устройства мониторинга окружающей среды в удаленных местах для постоянного контроля параметров.

Еще одним важным фактором является понимание процесса коммуникации. Необходимость обеспечения связи между машинами и механизмами (M2M) на больших расстояниях привела к рассмотрению новых технологий, таких как Long Range Wide Area Networks (также известная как LoRaWAN). При разработке устройства, взаимодействующего со смартфоном или планшетом пользователя, для связи необходимо использовать Bluetooth Low Energy (BLE). Действительно, можно использовать отладочную плату, оснащенную BLE и набором датчиков для экологического мониторинга окружающей среды [3].

Постановка проблемы

Из-за различных ландшафтных проблем во многих практических приложениях возникает проблема обнаружения сенсорного покрытия большой территории для эффективного мониторинга. В этой статье мы рассмотрим математическую основу этой проблемы. Зоной контроля одного датчика считается круг определенного радиуса с центром в месте расположения датчика. Будем считать, что датчики покрывают часть ровной области внутри этого круга. Ровная область считается покрытой несколькими датчиками C, если каждая точка на этой области покрыта хотя бы одним датчиком C.

Плотность покрытия плоского участка кругом – это отношение общей площади круга покрытия к площади участка. Очевидно, что плотность не может быть меньше единицы, а отклонение ее значения от единицы характеризует эффективность покрытия. Поскольку энергопотребление датчиков для мониторинга пропорционально покрываемой площади, основная задача по максимизации срока службы сенсорной сети сводится к решению проблемы построения покрытия с минимальной плотностью.

Существует множество способов покрыть плоскую территорию кругами разного радиуса. В этом случае датчики размещаются (в центре круга) и определяется конкретное положение плитки и оптимальный радиус наблюдения за датчиком.

В данной статье изложены предварительные исследования по экологическому мониторингу территории и его математическая теория. Предлагается покрытие кругами радиусов 1, 2 и 3. Эффективность

предложенных покрытий анализируется с учетом возникающих при этом граничных эффектов.

Многие объекты в реальном мире моделируются с бесконечно длинными полосами. В качестве примера можно привести автомобильные и железные дороги, различные линии связи, государственные границы, трубопроводы и другие сооружения с малой кривизной. Для мониторинга таких объектов необходимо строить эффективные модели дорожного покрытия, отвечающие определенным требованиям.

Например, предположим, что прямая линия L покрыта окружностью равного радиуса R. На рисунке 1 показаны три типа покрытий: в случае *в* прямая покрывается касательной к окружности, но такое покрытие может быть недостаточно надежным, поскольку точка касательной входит в покрытие, не проходя через его окрестности. Таким образом, проблема покрытия полосы эквивалентна проблеме гарантии линейного покрытия [4].

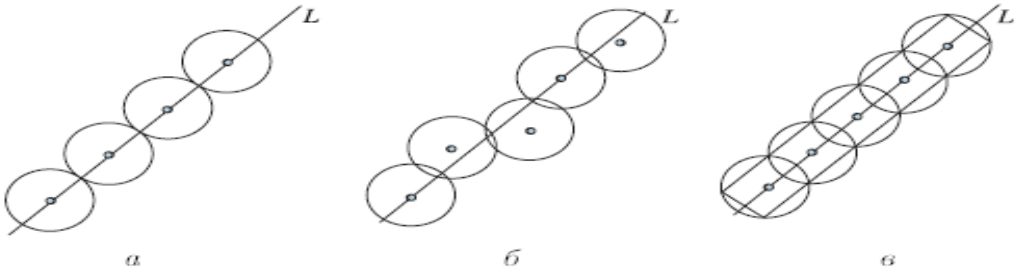


Рисунок 1. Покрытие прямой линии кругами: *а* – регулярное без пересечения кругов: *б* – нерегулярное; *в* – регулярное гарантированное

Задача оптимального геометрического расположения сенсоров для эффективного мониторинга пространства

Задача оптимального геометрического размещения датчиков сводится к поиску набора геометрических позиций датчиков, обеспечивающих наиболее эффективное решение задачи мониторинга. Понятие эффективности решения на данном этапе не определено, так как оно существенно зависит от специфики задачи. Важно отметить, что сама постановка задачи, подход к ее решению и понятие эффективности решения зависят от начальных условий. В зависимости от геометрических параметров зоны мониторинга, количества датчиков и геометрических параметров зоны можно выделить два основных случая [5].

1. При заданном (с учетом начальных условий) количестве датчиков, размещенных в зоне мониторинга (без учета препятствий), существует множество точек, такое, что зона мониторинга полностью содержится во множестве, являющемся суммой видимых зон всех датчиков. Другими словами, можно покрыть зону наблюдения заданным количеством датчиков с соответствующими характеристиками.

2. Невозможно покрыть зону наблюдения заданным (при заданных начальных условиях) количеством видимых зон, соответствующих датчикам, расположенным в зоне наблюдения (любой точке, кроме препятствий).

Первый случай называется проблемой покрытия, второй – проблемой патрулирования.

Задача покрытия

Математическое описание

Наиболее распространенная формулировка задачи покрытия выглядит следующим образом:

- Дана рабочая зона (зона мониторинга) – связная область пространства.
- Дано N одинаковых устройств, каждому из которых соответствует своя зона покрытия (определенная одинаково для всех устройств).
- В рабочей зоне распределено конечное число препятствий (связное множество точек в рабочей зоне, в которых нельзя размещать устройства).
- Каждое препятствие каким-либо образом (известным для каждой частной задачи) изменяет зону покрытия каждого устройства (в зависимости от взаимного расположения препятствия и устройства). После учета влияния всех препятствий формируется реальная зона покрытия.

Если каждое устройство занимает позицию, соответствующую одному из этих наборов (так, что никакие два устройства не используют один и тот же набор координат), то необходимо найти k < N наборов координат, таких, что ни одна точка рабочей области не входит в фактическую зону покрытия одного из устройств. В этом случае значение k должно быть минимальным из всех возможных.

Здесь необходимо отметить следующие принципиальные моменты. При такой постановке задачи препятствия могут изменить зону покрытия и сделать невозможным наблюдение за определенной точкой, независимо от взаимного расположения устройств. В таких случаях можно сделать вывод, что полностью решить проблему с помощью сети таких устройств невозможно. Однако, поскольку проблема может быть решена в некоторой степени, фактическая постановка задачи требует указания допустимого размера слепой зоны (зоны, не входящей в зону действия любого устройства, независимо от его расположения), в которой проблема считается приемлемой для решения.

Таким образом, в математическом выражении задача выглядит следующим образом:

- Дано связное ограниченное множество A (целевая зона), на котором задано $к$ связных подмножеств B_i (препятствия). При этом $\bigcup_{i=0}^{K} B_i = B$ Предположим, что множество задано на евклидовой плоскости и что законы вычисления расстояний между элементами множества известны.
- Для точки в рабочей области задан следующий закон. X= (x_1, x_2, x_3) ограниченное связное множество C(X) (зона видимости), содержащее в себе точку X.
- Для каждого B_i, задана функция f_i, преобразующая $C(X)$ в каждой точке X рабочей зоны. Соответственно, при заданном распределении B_j, каждой точке X можно поставить в соответствие множестве $D(X) = \bigcap_{i=1}^{K} f_i\big(C(X)\big)$.

Задача патрулирования

Как уже говорилось выше, количество датчиков, рассматриваемых в данной задаче, недостаточно для покрытия всей зоны наблюдения. Поэтому невозможно расположить датчики таким образом, чтобы они надежно обнаруживали все точки в зоне наблюдения. В определенный момент времени некоторые точки в зоне наблюдения не будут обнаружены. Однако не всегда требуется мгновенное обнаружение объектов во всех точках. В некоторых случаях бывает достаточно обнаружить объект один раз в течение определенного периода времени. Для решения подобных задач необходимо разработать систему, гарантирующую обнаружение объекта в каждом потоке в зоне мониторинга окружающей среды при наличии объекта в течение определенного времени T (которое будем называть временем задержки). Таким образом, появляются объективные критерии, позволяющие сравнивать решения между собой и отвечать на вопрос, существует ли решение в принципе.

Для решения подобных задач необходимо разработать алгоритмы, гарантирующие перемещение датчиков таким образом, чтобы обеспечить условия, требуемые задачей. Такое перемещение называется пространственным патрулированием, а проблема построения такого алгоритма – проблемой патрулирования.

Математическое описание

Дано связное ограниченное множество A (целевая зона), на котором задано $к$ связных подмножеств B_i (препятствия). При этом $\bigcup_{i=0}^{K} B_i = B$ Считается, что множества задаются на некоей евклидовой плоскости, а значит, известно правило вычисления расстояний между элементами этих множеств.

Задан закон, ставящий в соответствие некоей точке рабочей зоны X= (x_1,x_2,x_3) ограниченное связное множество C(X) (зона видимости), содержащее в себе точку X.

Задано ограничение сверху на время задержки T, определяющее допустимые границы этого времени.

Задано число N – число сенсоров, доступных для решения задачи.

Требуется построить алгоритм, обеспечивающий нахождение N таких функций, задающих траектории $Y_i(t)$, что:

1. $Y_i(t)$ непрерывны по t.
2. $\forall i \in \{1,..N\}, \forall t>0 \rightarrow Y_i(t) \in A \backslash B$.
3. $\forall t_o >0, \exists \Delta t << T \rightarrow \bigcup_{t=t_0}^{t_0+T} \bigcup_{i=1}^{N} D(Y_i(t)) \supset A$

Алгоритм решения

Теория графов хорошо подходит для решения задач, связанных с поиском путей (маршрутов) в заданном пространстве. В рамках этой теории разработано множество алгоритмов для поиска путей и маршрутов с различными характеристиками. Для того чтобы свести исходную задачу к задаче с точки зрения теории графов, необходимо определить правила, по которым устанавливается соответствие между задачей исходной записи и записью с точки зрения теории графов. Существует несколько подходов к определению таких правил, один из которых мы опишем.

Мы предполагаем, что существует алгоритм, который может направить датчик между двумя точками в зоне наблюдения и вычислить приблизительное время его прохождения.

1. Выбирается набор точек расположения датчиков, охватывающий всю зону наблюдения. Алгоритм выбора этого набора точек разрабатывается при решении задачи покрытия [6]. Такие точки обозначаются как Ncov. Эти точки соответствуют вершинам формируемого графа.

2. Длина пути между двумя точками соответствует весу ребра между соответствующими вершинами графа. В силу связности рассматриваемого пространства такой путь всегда существует, поэтому сформированный граф является полным.

Другими словами, существует граф, решение задачи обхода которого можно получить, обойдя его (посетив все его вершины).

Существует множество решений задачи обхода вершин для графов, включая группы устройств [6]. В основном эти методы сводятся к построению гамильтонова/эйлерова цикла на графе, построению минимального островного дерева и разбиению графа на подграфы.

Эти алгоритмы можно сравнивать по объективным критериям. Для каждой вершины определяется время ожидания (время с момента последнего посещения этой вершины). Максимальное время ожидания для всех вершин и алгоритмов в общем времени выполнения соответствует определенной характеристике, которая называется максимальным временем ожидания алгоритма. Для того чтобы разработанный алгоритм справился с решением задачи мониторинга, его максимальное время ожидания должно быть меньше или равно T. Алгоритмы также можно сравнивать между собой по этому свойству – чем меньше максимальное время ожидания, тем эффективнее алгоритм.

Вывод

Вышеизложенные соображения показали, что датчики очень важны при экологическом мониторинге больших территорий. Прежде чем планировать мониторинг, необходимо обратить внимание на ряд параметров и количество математических расчетов, ведь основной задачей является покрытие большой площади с помощью датчиков и сбор поступающих от них сигналов. Поэтому их расположение должно осуществляться на основе точных математических теорий.

Это позволяет сократить время, затрачиваемое на исследования и эксперименты в лаборатории, и увеличить продолжительность тестирования в реальных условиях.

Список литературы:

1. Mahrad, B. E., Newton, A., Icely, J. D., Kacimi, I., Abalansa, S., & Snoussi, M. (2020). Contribution of remote sensing technologies to a holistic coastal and marine environmental management framework: a review. Remote Sensing, 12(14), 2313.

2. Djedouboum, A. C., Abba Ari, A. A., Gueroui, A. M., Mohamadou, A., & Aliouat, Z. (2018). Big data collection in large-scale wireless sensor networks. Sensors, 18(12), 4474.
3. Acevedo, M. F. (2018). Real-Time Environmental Monitoring: Sensors and Systems. CRC Press.
4. Астраков С. Н., Ерзин А. И. Построение эффективных моделей покрытия при мониторинге протяженных объектов //Вычислительные технологии. – 2012. – Т. 17. – №. 1. – С. 26-34.
5. Миркин Б. Г., Родин С. П. Графы и гены. – М.: Наука, 1977.
6. Кочкаров А. А., Яцкин Д. В. Теория графов и классические задачи прикладной математики в экономике. – 2020.
7. Удальцов Н. П., Агеев П. А. Структурно-функциональная модель проявляемости объектов мониторинга // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – №. 4. – С. 276-285.

©Маткурбанов Т.А., 2023

УДК 621.3.072.9

АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ ПАРАЛЛЕЛЬНО С СЕТЬЮ ПОТРЕБИТЕЛЯ

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

Аннотация. В работе рассмотрены режимы работы накопителя энергии, содержащего двунаправленный преобразователь тока, аккумуляторную батарею и систему управления. Рассмотрены режимы компенсации реактивной мощности и компенсации пиков нагрузки потребителя. Приведены расчётные формулы, векторные диаграммы и графики типовых стационарных процессов при работе устройства накопления энергии параллельно с сетью.

Ключевые слова: накопитель электроэнергии, синхронизация, активная мощность, реактивная мощность, векторная диаграмма.

ANALYSIS OF OPERATING MODES OF ENERGY STORAGE IN PARALLEL WITH THE CONSUMER NETWORK

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

Abstract. The work examines the operating modes of an energy storage device containing a bidirectional current converter, a battery and a control system. The modes of compensation of reactive power and compensation of consumer load peaks are considered. Calculation formulas, vector diagrams and graphs of typical stationary processes when operating an energy storage device in parallel with the network are given.

Keywords: electricity storage, synchronization, active power, reactive power, phase shift, vector diagram.

Системы накопления электроэнергии (СНЭ) являются одним из самых быстрорастущих секторов электроэнергетики [1, 3-5]. Одним из перспективных

направлений разработок СНЭ являются установки, в состав которых входят:
- модули аккумуляторных батарей;
- двунаправленный преобразователь тока;
- система управления.

В основе двунаправленного преобразователя тока лежит схема на полностью управляемых ключах, представленная на рисунке 1.

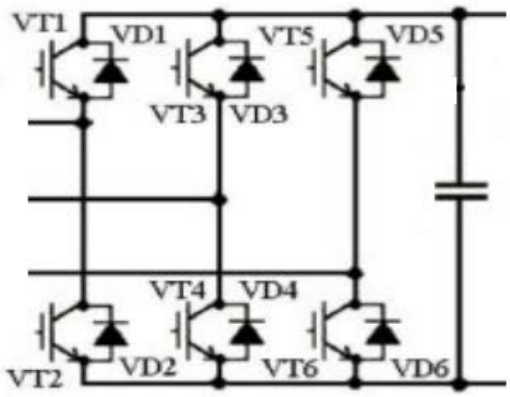


Рисунок 1. Силовая схема двунаправленного преобразователя тока

Данная схема применяется для преобразования постоянного тока в переменный, например, в преобразователях частоты для питания асинхронных двигателей. Эта же схема применяется и в активных выпрямителях, способных работать с сетью переменного тока как в режиме потребления энергии, так и в режиме рекуперации энергии в сеть. Функцию накопителя энергии выполняет аккумуляторная батарея, подключённая к стороне постоянного тока накопителя. Формирование переменного тока с заданными величинами частоты, амплитуды и фазы реализуется системой управления с помощью широтно-импульсной модуляции.

На представленной на рисунке 2 основной части принципиальной схемы накопителя энергии сторона постоянного тока двунаправленного преобразователя тока подключается к аккумуляторной батарее, а сторона переменного тока связана с сетью через разделительный трансформатор и фильтр, подавляющий гармонику частоты модуляции.

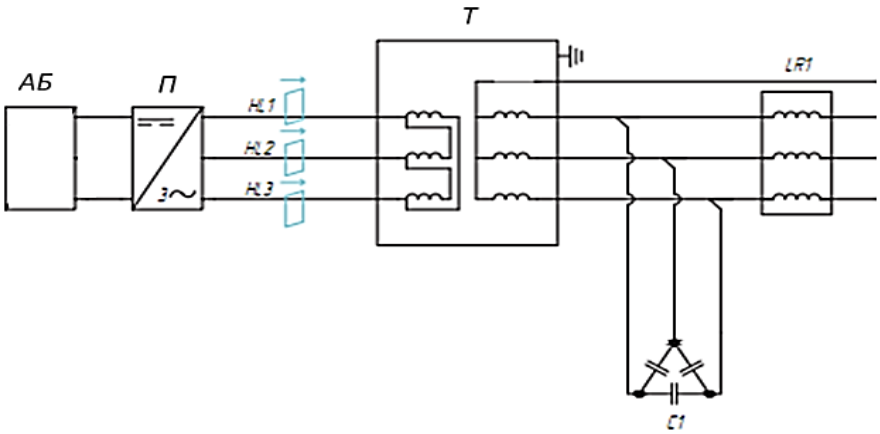


Рисунок 2. Силовая часть накопителя энергии

Устройство накопления энергии, выполненное по приведённой схеме, позволяет компенсировать пиковые нагрузки, выравнивая потребление энергии из сети при набросе нагрузки за счёт отдачи энергии в сеть. При переходе потребителей в генераторный режим устройством выполняется накопление энергии из сети. Также устройство в состоянии выполнять компенсацию реактивной мощности при динамичных изменениях режима работы потребителя.

В статье рассматриваются вопросы синхронизации устройства накопителя энергии с сетью, а также регулирования потока энергии между накопителем и сетью.

Приняты следующие допущения:

- Трёхфазная сеть симметричная, напряжения и токи синусоидальные. Поэтому математические соотношения, векторные диаграммы и графики рассматриваем для одной фазы.
- Потерями в устройстве накопителя энергии пренебрегаем.
- При рассмотрении режимов синхронизации регулирования мощности принимаем схему замещения, в которой трансформатор и дроссель представляем как эквивалентное индуктивное сопротивление $X_{L.}$
- Схема замещения представлена на рисунке 3.

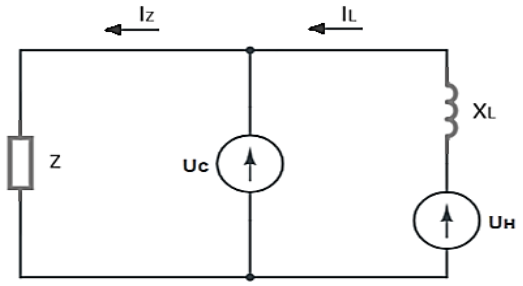


Рисунок 3. Схема замещения:
Uc – напряжение сети; U_H – напряжение накопителя энергии; *Z* – нагрузка

Ток от устройства накопления энергии I_L суммируется с током потребителя I_Z. Амплитуда и фаза тока I_L регулируется, что позволяет регулировать величину компенсированной активной и реактивной мощности.

Подключение устройства накопления энергии к сети

Для безопасного подключения накопителя энергии к сети надо в момент подключения минимизировать ток накопителя I_L. Для этого необходимо соблюдать условия синхронизации, подобные условиям синхронизации электромашинного генератора с сетью [2]:

- равенство частот напряжений сети и генератора;
- одинаковая последовательность фаз сети и генератора;
- равенство амплитуд напряжений сети и генератора;
- минимальное фазовое рассогласование между напряжениями сети и генератора.

Выполнение условий синхронизации обеспечивается регулированием частоты и амплитуды напряжения двунаправленного преобразователя тока накопителя, а также регулированием фазового сдвига между напряжением сети

и напряжением накопителя.

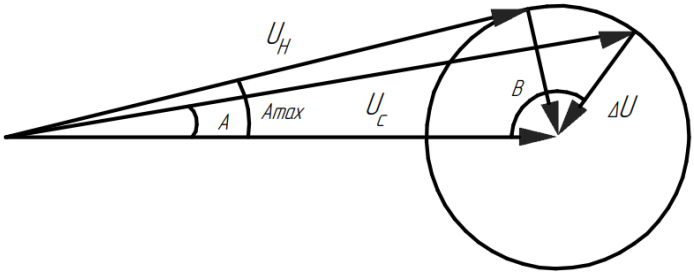


Рисунок 4. К определению предельных погрешностей синхронизации

Допустимый ток накопителя определяет допустимые погрешности синхронизации по амплитуде напряжения Uн и по фазовому рассогласованию напряжений сети Uc и накопителя (угол Amax между векторами $\overline{U}_H$ и $\overline{U}_C$ на рис. 4).

$$\Delta\overline{\mathrm{U}} = \overline{\mathrm{U}}_{\mathrm{H}} - \overline{\mathrm{U}}_{\mathrm{C}} \quad (1)$$

$$\Delta\mathrm{U} = \mathrm{X}_{\mathrm{L}} \cdot \mathrm{I}_{\mathrm{Lmax}} \quad (2)$$

$$\sin(\mathrm{A}_{\mathrm{max}}) = \frac{\Delta\mathrm{U}}{\mathrm{U}_{\mathrm{C}}} \quad (3)$$

Управление устройством накопления энергии при компенсации пиковых нагрузок и компенсации реактивной мощности потребителя

Регулирование потока мощности между сетью и накопителем выполняется за счёт регулирования амплитуды напряжения $\mathrm{U_H}$ и фазового сдвига (угол А). Из векторной диаграммы рисунке. 4 видно, что вектор разности напряжений $\Delta\overline{\mathrm{U}}$, а следовательно, и вектор тока накопителя $\overline{\mathrm{I_L}}$ может занимать любое направление по отношению к вектору напряжения сети $\overline{\mathrm{U}}_{\mathrm{C}}$ (т.е. угол В может принимать любые величины от 0 до 360 градусов). Следовательно, возможно любое соотношение долей активной P и реактивной Q мощностями в потоке полной мощности S между накопителем и сетью.

$$\mathrm{S} = \mathrm{U_C} \cdot \mathrm{I_L};\ \ \mathrm{P} = \mathrm{S} \cdot \cos\varphi\,;\ \ \mathrm{Q} = \mathrm{S} \cdot \sin\varphi, \quad (4)$$

где φ – фазовый сдвиг между током накопителя $\mathrm{I_L}$ и напряжением сети Uc.

Из векторной диаграммы на рисунке 4 следует, что для заданной, например, по соотношению (2), величины разности напряжений ΔU можно рассчитать необходимую величину напряжения накопителя Uн в зависимости от угла В.

$$\mathrm{U_H^2} = \Delta\mathrm{U}^2 + \mathrm{U_C^2} - 2 \cdot \Delta\mathrm{U} \cdot \mathrm{U_C} \cdot \cos\mathrm{B} \quad (5)$$

Фазовый сдвиг А между напряжением сети U_C и напряжением накопителя U_H определяется соотношением:

$$\arcsin A = \frac{\Delta U}{U_H} \cdot \sin B \qquad (6)$$

Фазовый сдвиг φ между током I_L и напряжением U_C определяется следующим соотношением:

$$\varphi = -90^0 - B \qquad (7)$$

Для примера ниже приведены графики, рассчитанные по соотношениям (5) … (7) для амплитуды напряжения сети U_C = 400В и разности ΔU = 20В. На рисунке 5 показано изменение соотношения амплитуд напряжений накопителя и сети для различных углов B векторной диаграммы рисунка 4.

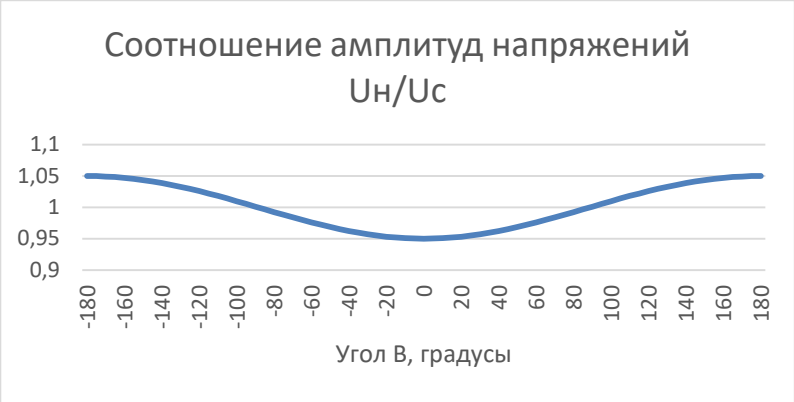


Рисунок 5. Зависимость амплитуды напряжения накопителя от угла B

На рисунке 6 представлен график фазового сдвига между напряжениями сети и накопителя энергии в зависимости от угла B.

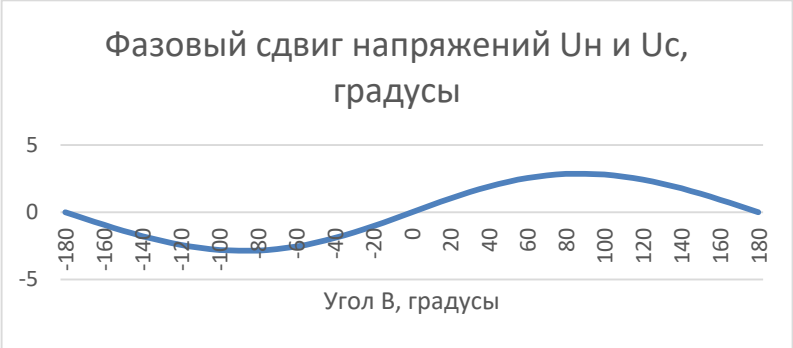


Рисунок 6. Фазовый сдвиг напряжения накопителя от напряжения сети

На рисунке 7 показана зависимость коэффициента мощности cosφ от угла B.

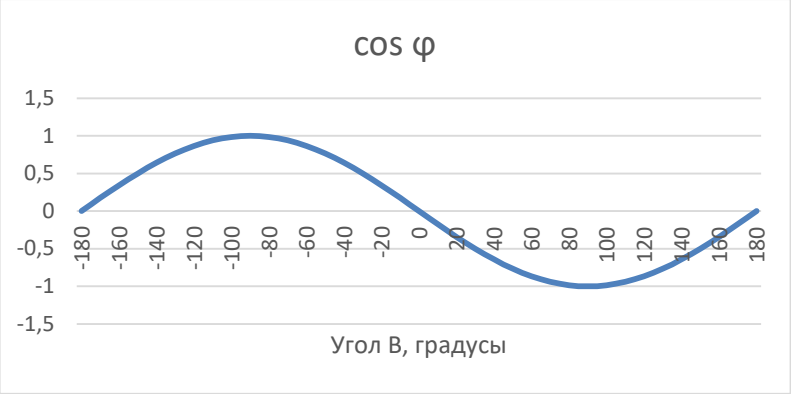


Рисунок 7. Величина коэффициента мощности при изменении угла В

Положительная величина коэффициента мощности относится к режимам, когда энергия от сети поступает в накопитель энергии, отрицательная величина коэффициента мощности соответствует рекуперации энергии накопителя в сеть.

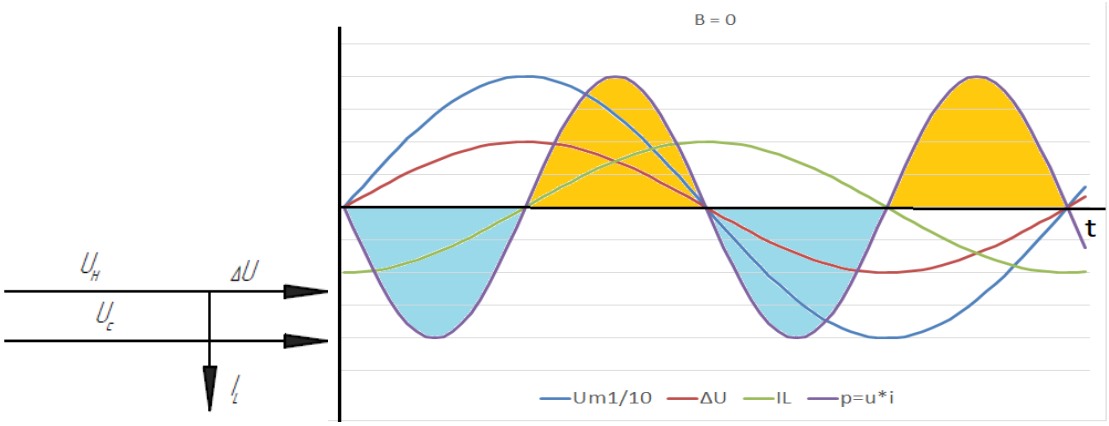


Рисунок 8. Векторная диаграмма и графики для угла
В = 0 градусов, cosφ = 0

Характер реактивной мощности индуктивный (потребление накопителем реактивной мощности).

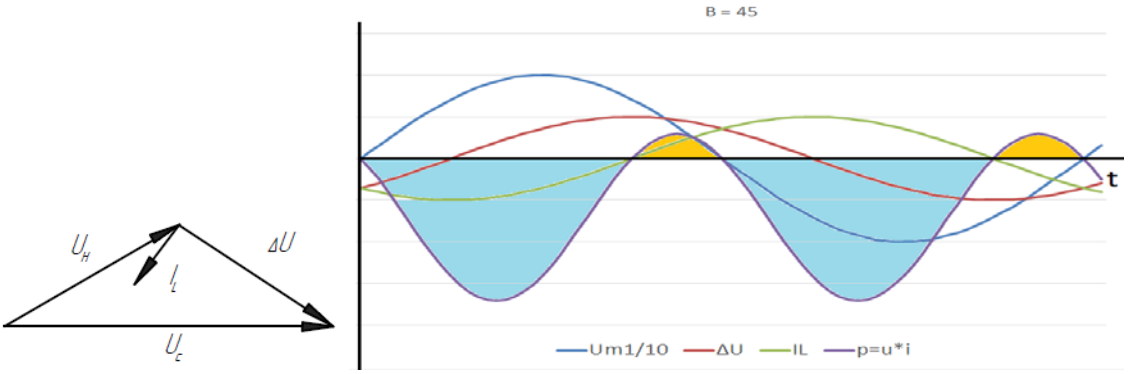


Рисунок 9. Векторная диаграмма и графики для угла
В = 45 градусов, cosφ = -0,707

Характер реактивной мощности индуктивный (потребление накопителем реактивной мощности). Накопитель отдаёт активную мощность в сеть.

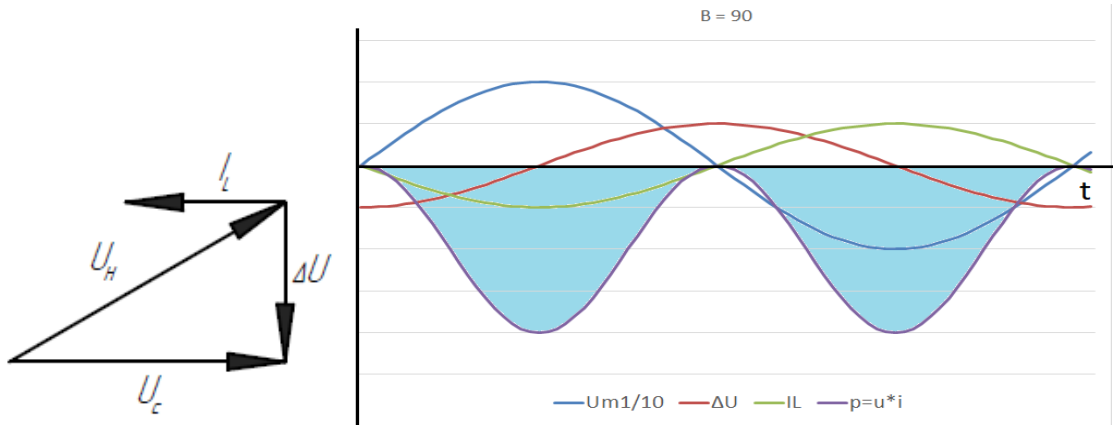


Рисунок 10. Векторная диаграмма и графики для угла
B = 90 градусов, cosφ = 1

Реактивная мощность равна нулю. Накопитель отдаёт активную мощность в сеть.

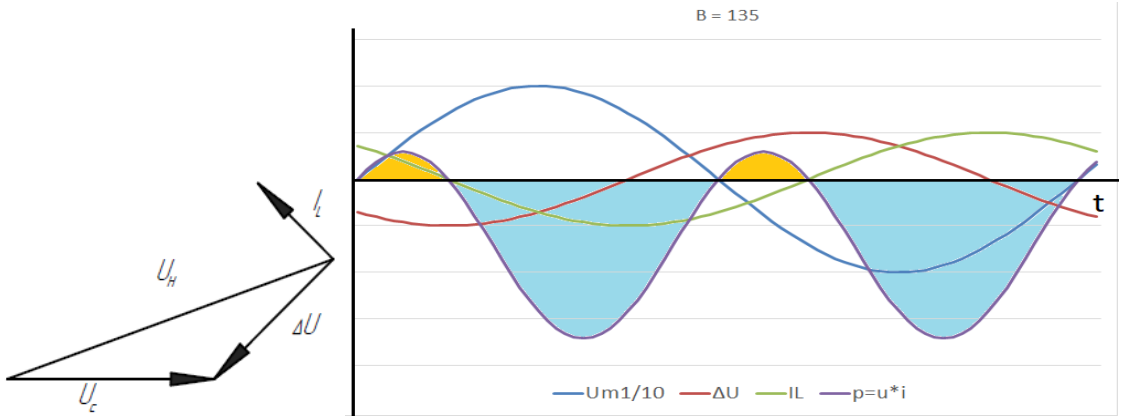


Рисунок 11. Векторная диаграмма и графики для угла
B = 135 градусов, cosφ = -0,707

Характер реактивной мощности ёмкостной (накопитель генерирует реактивную мощность в сеть). Накопитель отдаёт активную мощность в сеть.

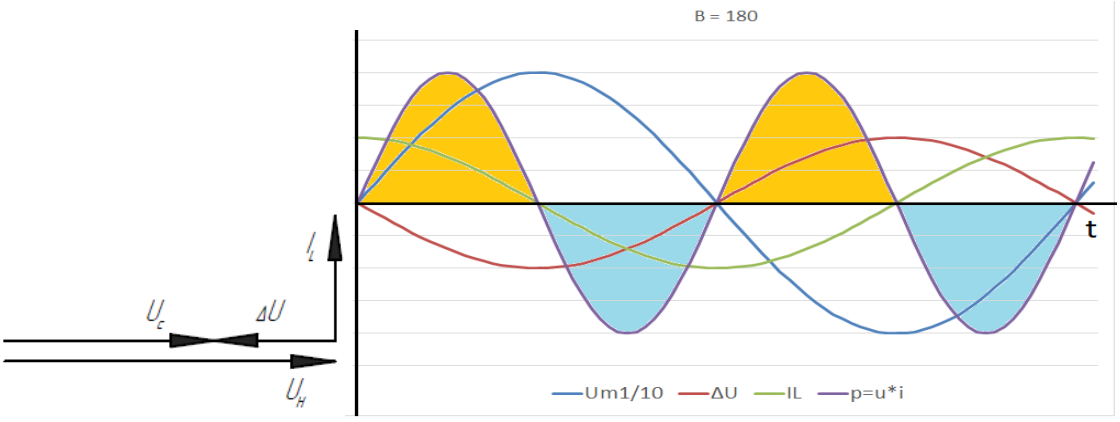


Рисунок 12. Векторная диаграмма и графики для угла
B = ±180 градусов, cosφ = 0

Характер реактивной мощности ёмкостной (генерация накопителем реактивной мощности).

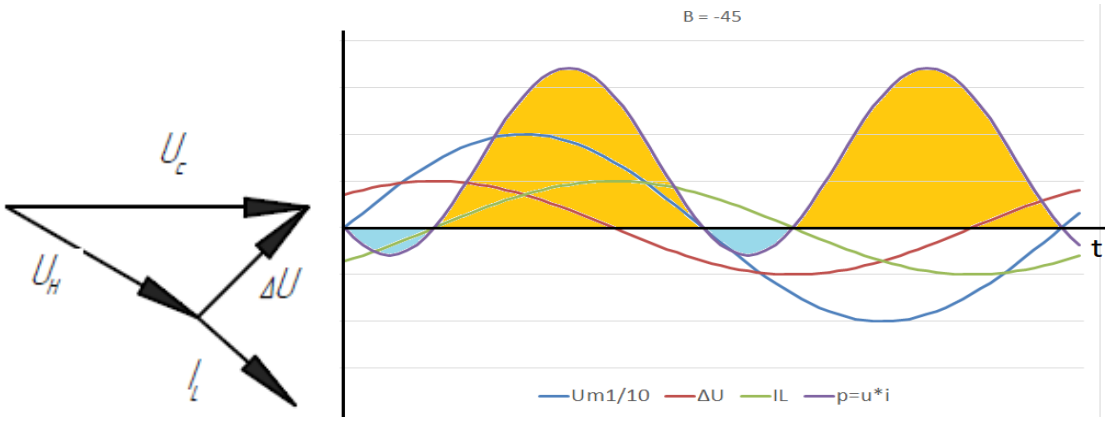


Рисунок 13. Векторная диаграмма и графики для угла
B = -45 градусов, cosφ = -0,707

Характер реактивной мощности индуктивный (потребление накопителем реактивной мощности). Накопитель принимает активную мощность из сети.

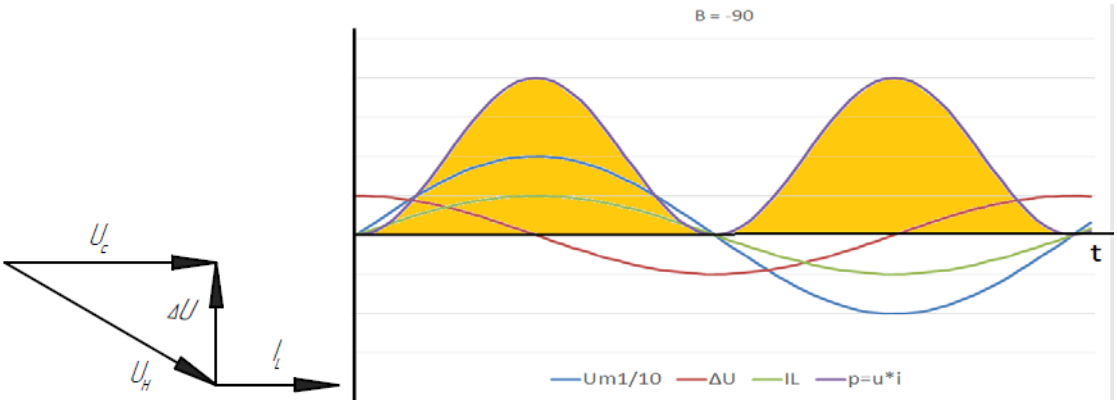


Рисунок 14. Векторная диаграмма и графики для угла
= 90 градусов, cosφ = 1

Реактивная мощность равна нулю. Накопитель забирает активную мощность из сети.

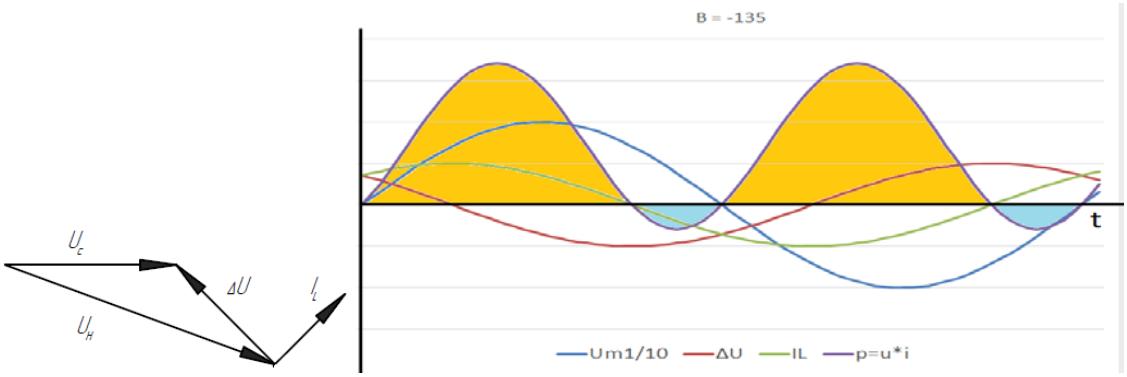


Рисунок 15. Векторная диаграмма и графики для угла
B = -135 градусов, cosφ = 0,707

Характер реактивной мощности ёмкостной (генерация накопителем реактивной мощности в сеть). Накопитель принимает активную мощность из сети.

Использование двунаправленных преобразователей тока обеспечивает оперативный обмен электрической энергией между сетью, питающей потребителей, и накопителем электроэнергии (аккумуляторной батареей) устройства накопления энергии. Высокая частота модуляции, использующаяся при формировании тока, а также выходные дроссели и фильтры создают практически синусоидальные токи накопителя. Это позволяет анализировать режимы работы накопителя энергии с сетью с помощью векторных диаграмм, так же, как при рассмотрении работы синхронных генераторов параллельно сети.

Приведены расчётные формулы, векторные диаграммы и графики типовых стационарных процессов при работе устройства накопления энергии параллельно с сетью.

Список литературы:

1. Применение систем накопления энергии в России: возможности и барьеры. Экспертно-аналитический отчёт. — URL: https://www.eprussia.ru/upload/iblock/1b8/1b83729ddd27beaeb629e380293a4585.pdf?ysclid=lpfa76t4wr509424612 – Текст: электронный.

2. Вольдек А. И. Электрические машины. – Ленинград: Энергия, 1974.

3. Пранкевич Г. А. Разработка математической модели и методики выбора параметров накопителя энергии как элемента энергосистемы: дисс… канд. техн. наук. – Новосибирск, 2021.

4. Петров А. А. Методы и средства повышения качества электроэнергии в системе метрополитена. Дисс…. канд. техн. наук. – Новосибирск, 2019.

5. Магомедов, А. М. Способ увеличения показателей качества электроэнергии на предприятиях и распределительных сетях / А. М. Магомедов, Р. К. Герейханов. — Текст: непосредственный // Технические науки: проблемы и перспективы: материалы III Междунар. науч. конф. (Санкт-Петербург, июль 2015 г.). – Санкт-Петербург: Свое издательство, 2015. – С. 62-67. – URL: https://moluch.ru/conf/tech/archive/126/8337/ (дата обращения: 01.12.2023).

© Марковчин К. В., Гугин М. В, 2023

УДК 621.3

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

студент **Мерзлая Дарья Михайловна,**
науч. руководитель: ассистент **Кундюков Олег Анатольевич,**
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В настоящее время системы управления электроприводами используются во многих областях промышленности и выполняют основные задачи, такие как осуществление пуска, регулирование скорости и торможения, а также позволяют контролировать состояние привода и диагностировать неисправности. Такие системы повышают эффективность работы оборудования и улучшают качество производства. С развитием технологий машинного обучения и искусственного интеллекта нейронные сети стали одним из наиболее мощных инструментов для оптимизации и улучшения работы систем управления электроприводами. Применение нейронных сетей в таких системах позволяет достичь более эффективного и точного управления процессами повышения энергоэффективности и надежности, а также улучшения общей производительности системы. В данной статье рассматриваются общие сведения о нейронных сетях и эффективность их применения в системах управления электроприводами.

Ключевые слова: нейронные сети, нейронные регуляторы, управление электроприводом.

APPLICATION OF NEURAL NETWORKS IN ELECTRIC DRIVE CONTROL SYSTEMS

Student **Merzlaya Daria Mikhailovna,**
Academic Advisor: Assistant **Kundyukov Oleg Anatolievich,**
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. Nowadays, drive control systems are used in many industries and perform basic tasks such as start-up, speed control and braking, as well as monitoring the drive status and diagnosing faults. Such systems increase the efficiency of equipment and improve the quality of production. With the development of machine learning and artificial intelligence technologies, neural networks have become one of the most powerful tools for optimizing and improving the performance of drive control systems. The application of neural networks in such systems can achieve more efficient

and accurate process control, improve energy efficiency and reliability, and improve overall system performance. This paper discusses general information about neural networks and the effectiveness of their application in drive control systems.

Keywords: neural networks, neural controllers, electric drive control.

В последние годы нейронные сети стали невероятно популярными во многих областях, включая системы управления электроприводами. Нейронные сети представляют собой математическую модель, имитирующую работу мозга человека, и способны обрабатывать большие объемы данных для принятия решений.

Исследование нейронных сетей внушает мысль об уникальности способа, которым человеческий мозг обрабатывает информацию в отличие от цифровых компьютеров. Он представляет собой сложную и нелинейную параллельную систему, способную создать организацию нейронов, позволяющую выполнять распознавание изображений и звуков с поразительной скоростью по сравнению с современными компьютерами. Такая уникальность происходит благодаря способности мозга к непрерывному развитию и накоплению опыта в течение жизни. Процесс развития нейронов неразрывно связан с пластичностью мозга, то есть его способностью приспосабливаться к меняющейся окружающей среде. [1].

Нейроконтроллер представляет собой регулятор, реализованный на базе искусственной нейронной сети (ИНС), и представляет собой распределенный параллельный процессор, состоящий из нейронов (элементарных процессоров), накапливающих элементарные знания и представляющий их для последующей обработки. Искусственный нейрон (ИН) является аналоговым преобразующим элементом. Нейроны в обычном состоянии достаточно просты. Каждый нейрон в такой сети работает только с периодическими входными сигналами и периодически отправляет сигналы другим нейронам. Несмотря на свою простоту, эти нейроны, когда они соединены в достаточно большую сеть с контролируемым взаимодействием, могут решать довольно сложные задачи.

Нейронные сети отличаются от традиционных алгоритмов тем, что они обучаются, а не программируются. Уникальность нейронных сетей заключается в их способности к обучению, которое осуществляется через определение коэффициентов связей между нейронами. В процессе обучения нейронная сеть способна выявлять сложные зависимости между входными данными и выходными сигналами, а также обобщать полученные знания. Это означает, что обученная сеть сможет обрабатывать данные, которые не были использованы при ее обучении [2].

В зависимости от наличия обратных связей нейронные сети могут быть статическими, которые не имеют обратных связей или динамическими (рекуррентными), в которых существуют обратные связи.

Также они могут состоять из одного или множества слоев. Архитектура однослойной сети представлена на рисунке 1, где входной слой ретранслирует сигнал, а выходной слой преобразует его и формирует реакцию сети. Общее

количество нейронов в выходном слое определяет размерность нейронной сети. [3].

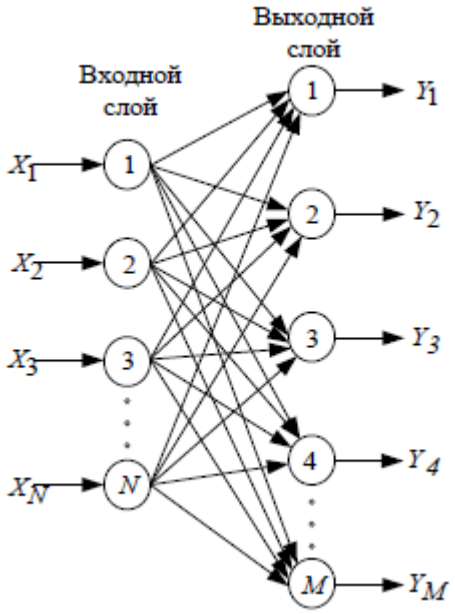


Рисунок 1. Архитектура однослойной сети

Многослойная искусственная нейронная сеть (ИНС) – это сеть, состоящая из одного или нескольких скрытых слоев, которые способны преобразовывать информацию. Наличие скрытых слоев дает возможность сети выполнять нелинейные преобразования любой сложности и извлекать корреляционные связи из входных данных. На рисунке 2 показано строение многослойной нейронной сети, включающее 2 слоя, N входных нейронов, M нейронов в скрытом слое и Z нейронов в выходном слое.

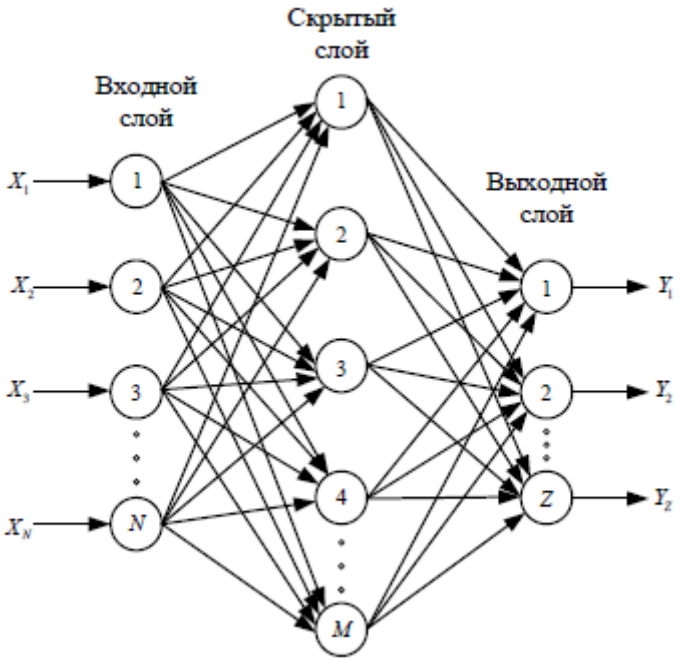


Рисунок 2. Архитектура многослойной нейронной сети

В современном мире нейронные сети стали неотъемлемой частью проектирования систем управления динамическими процессами благодаря универсальным возможностям апроксимации многослойного персептрона. Это позволяет им быть ценными инструментами для решения задач идентификации, проектирования и моделирования нелинейных контроллеров [4].

Среди инструментов, которые помогают работать с нейронными сетями, Matlab является наиболее удобным. В Neural Network Toolbox, которая является расширением для Matlab, доступен NNTool – графический интерфейс, который упрощает процесс создания, обучения, моделирования, импорта и экспорта нейронных сетей и данных, без необходимости использования командного окна Matlab.

Ниже описываются три архитектуры нейронных сетей, реализованных в Neural Network Toolbox в виде следующих контроллеров:

1. Контроллер с предсказанием (NN Predictive Controller).

2. Контроллер на основе модели авторегрессии со скользящим средним (NARMA-L2 Controller).

3. Контроллер на основе эталонной модели (Model Reference Controller).

Применение нейронных сетей для решения задач управления включает два этапа проектирования:

1) Этап идентификации управляемого процесса, на котором создается модель нейронной сети, представляющая управляемый процесс.

2) Этап синтеза закона управления, на котором используется модель нейронной сети, разработанная на предыдущем этапе, для создания регулятора.

Хотя процедура идентификации одинакова для всех трех архитектур нейронных сетей, этапы синтеза регулятора могут значительно различаться. В условиях современного развития науки и техники все чаще внедряются те или иные новейшие научные разработки. Не являются исключением и системы управления электроприводов (СУЭП). Рассмотрим применение ИНС в СУЭП.

Нейронные сети способны заменить стандартные пропорционально-интегральные (ПИ) и пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД) регуляторы или улучшить характеристики путем адаптации их настроек под текущие условия работы [2]. Положительным свойством нейросетевых регуляторов является их малая степень чувствительности к изменению параметров объекта управления (например, при уменьшении момента инерции на 50 % работоспособность регулятора на базе ИНС сохраняется), по сравнению с классическими регуляторами.

В статье [5] был проведен синтез нейрорегулятора с прогнозированием, который позволил улучшить динамические характеристики привода главного движения токарного станка. В статье также приведены рекомендации по выбору параметров нейрорегулятора. Применение нейрорегулятора с прогнозированием привело к сокращению времени переходного процесса на 34 % и уменьшению перерегулирования на 18 % по сравнению с моделью без него.

В работе [6] была продемонстрирована реализация регулятора скорости, основанная на искусственных нейроных сетях, представляющая альтернативу классическим методам управления. С помощью программы Simulink была

разработана модель вентильного электропривода с нейрорегулятором, основанным на модели нелинейной авторегрессии со скользящим средним (Narma-L2). В результате применения нейрорегулятора переходной процесс системы достигает заданного значения с погрешностью, не превышающей 0.1 %. Отмечается, что, сравнивая использование нейрорегулятора с применением ПИ-регулятора, время переходного процесса значительно сокращается, а перерегулирование отсутствует.

В работе [7] предложен нейронный регулятор, который позволяет стабилизировать скорость линейного движения привода подачи и компенсировать вибрации, возникающие в упругих элементах привода подачи токарного станка. Моделирование проводилось с использованием программного пакета Matlab and Simulink.

Таким образом, приведенный анализ применения искусственных нейронных сетей в системах управления электроприводами подтверждает актуальность, эффективность и перспективность использования нейронных сетей. Применение ИНС обладает рядом преимуществ по сравнению с классическими ПИ и ПИД регуляторами, позволяют обеспечить высокие динамические характеристики управляемых электромеханических систем. Применение нейронных сетей в системах управления электроприводами является перспективным направлением развития. Они позволяют оптимизировать работу системы, повысить энергоэффективность и надежность, а также сократить затраты на энергопотребление. Основные трудности включают в себя сложность обучения и необходимость большого объема данных для обучения нейронной сети. Однако, при правильной настройке и обучении, нейронные сети могут значительно улучшить производительность систем управления электроприводами.

Список литературы:

1. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. – Москва: Издательский дом «Вильямс,» – 2006. – 1104 с. 152 – Текст: непосредственный.
2. Цвенгер, И. Г. Применение нейросетевых регуляторов в системах управления электроприводами / И. Г. Цвенгер, И. Р. Низамов – Текст: электронный // Вестник Технологического университета. – 2017. – Т. 20, № 8. – С. 111-114. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=29028364 (дата обращения: 10.11.2023). – EDN VZSIHV.
3. Козлова Л. Е. Разработка нейросетевого наблюдателя угловой скорости ротора в электроприводе по схеме ТРН – АД: дисс… канд. техн. наук / Л. Е. Козлова; Омский государственный университет путей и сообщений. –Томск. – 2015 г. – 144 с. Текст: непосредственный.
4. Медведев В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети. MATLAB 6/ Под общ. ред. к.т.н. В.Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496 с. – URL: https://studylib.ru/doc/6257367/medvedev-v.s.--potemkin-v.g.-nejronnye-seti.-matlab-6 (дата обращения: 15.11.2023). – Текст: электронный.
5. Белов М. П., Кундюков О. А. Синтез системы управления асинхронным двигателем главного движения токарного станка с применением

нейроконтроллера с прогнозированием – Текст: электронный // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2022. Т. 15, № 3. С. 50–56. – URL: https://izv.etu.ru/assets/files/izvestiya-3-2022-50-56.pdf (дата обращения: 20.11.2023).
6. Морев А. А., Лиходеев С. И. Регулирование скорости вентильного электропривода с применением искусственных нейронных сетей. Постулат. – 2017. № 10. – С. 12. – URL: https://pgusa.tmweb.ru/index.php/Postulat/article/view/824 (дата обращения: 22.11.2023). – Текст: электронный.
7. Kirpihnikova, I. M. Electric Servo Drive Control System of Milling Machine with Neural Network / I. M. Kirpihnikova, I. B. Makhsumov, I. S. Nosirov – Текст : электронный // Proceedings - 2018 International Ural Conference on Green Energy, UralCon 2018, Chelyabinsk, 04–06 октября 2018 года. – Chelyabinsk, 2018. – P. 223-226. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=38652076 (дата обращения 24.11.2023). – EDN HKJASV.

© Мерзлая Д. М., 2023

УДК 621.165

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ В СИСТЕМЕ С ТУРБИНОЙ ПТ-80-130

студент **Чепелева Кристина Витальевна,**
науч. руководитель: канд. пед. наук, доцент **Королева Елена Борисовна,**
Петербургский государственный университет путей сообщения
им. Императора Александра I,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В работе вычисляются расходы рабочего тела для нормальной работы производства. Даны характеристики теплофикационной паровой турбины с регенеративным устройством для подогрева. Результатом анализа являются данные о количестве требуемой воды с целью потребления.

Ключевые слова: турбина, расход пара, конденсат, давление, теплосеть, вода.

CALCULATION OF COOLANT PARAMETERS IN A SYSTEM WITH A PT-80-130 TURBINE

Student **Chepeleva Christina Vitalievna,**
Academic Advisor: PhD in Pedagogy, Associate Professor,
Koroleva Elena Borisovna,
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. The work calculates the expenses of the working fluid for the normal operation of production. The characteristics of a heating steam turbine with a regenerative device for heating. The result of the analysis reveals data on the amount of water required for consumption.

Keywords: turbine, steam consumption, condensate, pressure, heating system, water.

Одновальная двухцилиндровая паровая турбина ПТ–80/100–130/13 ЛМЗ для привода электрического генератора переменного тока типа ТВФ–120–2. Турбина рассчитана на работу с параметрами свежего пара с 12,8 МПа, 555 °С, измеренными перед стопорным клапаном. Количество охлаждающей воды, проходящей через конденсатор, составляет 8000 $м^3$/ч при температуре на входе в конденсатор 20°С.

Турбина имеет два регулируемых отбора: производственный и теплофикационный.

Пределы регулирования давления:

- производственный отбор – 13 ± 3 кг с/$см^2$;
- верхний теплофикационный отбор – $0{,}5 \pm 2{,}5$ кг с/$см^2$;

- нижний теплофикационный отбор – 0,3 ± 1,0 кг с/см^2.

Максимальная значение производственного отбора пара при отсутствии теплофикационных отборов составляет – 300 т/ч (мощность турбины – 74 МВт).

Максимальная величина теплофикационных отборов при отсутствии производственного отбора составляет – 200 т/ч (мощность турбины — 76 МВт).

Максимально пропуск пара в конденсатор – 217 т/ч.

Максимальный пропуск пара в часть цилиндра низкого давления при закрытой регулирующей диафрагме и давлении в камере отбора 0,3 кгс/см^2 должен составлять 10 т/ч.

Подогрев основного конденсата осуществляется последовательно в холодильниках основного эжектора, в охладителе отсоса пара из уплотнений типа ПС–50–1, в подогреватели низкого давления 1, в сальниковом подогревателе, в подогреватели низкого давления с номерами 2,3,4 и затем в деаэраторе 6 атм.

Для подогрева питательной воды после деаэратора 6 атм от температуры 158 °С до температуры 230 °С турбина имеет:

- подогреватель высокого давления 7 питается паром от первого отбора турбины;
- подогреватель высокого давления 6 питается паром от второго отбора турбины;
- подогреватель высокого давления 5 питается паром от третьего (производственного) отбора турбины.

При данных параметрах могут быть взяты следующие величины регулируемых отборов:

а) номинальные величины регулируемых отборов при мощности 80 МВт: производственный отбор при давлении 13 атм – 185 т/ч; суммарный теплофикационный отбор при абсолютном давлении в верхнем отборе 1,00 кг с/см^2, в нижнем отборе – 0,35 кг с/см^2 – 132 т/ч;

б) при номинальной мощности 80 МВт и отсутствии теплофикационных отборов максимальный производственный отбор составит около 245 т/ч;

в) при мощности 80 МВт и отсутствии производственного отбора максимальные теплофикационные отборы – 150 т/ч.

г) При мощности 80 МВт максимальный теплофикационный отбор – 200 т/ч может быть взят при производственном отборе – 40 т/ч.

Максимально пропуск пара через турбину – 470 т/ч.

Мощность турбины при включенных производственном и теплофикационном отборах, при расходе охлаждающей воды 8000 м^3/ч с 20 °С, полностью включенной регенерации – 80 МВт. Максимальная мощность 100 МВт, получаемая при определенных сочетаниях производственного и теплофикационного отборов, зависит от величины отборов и определяется диаграммой режимов.

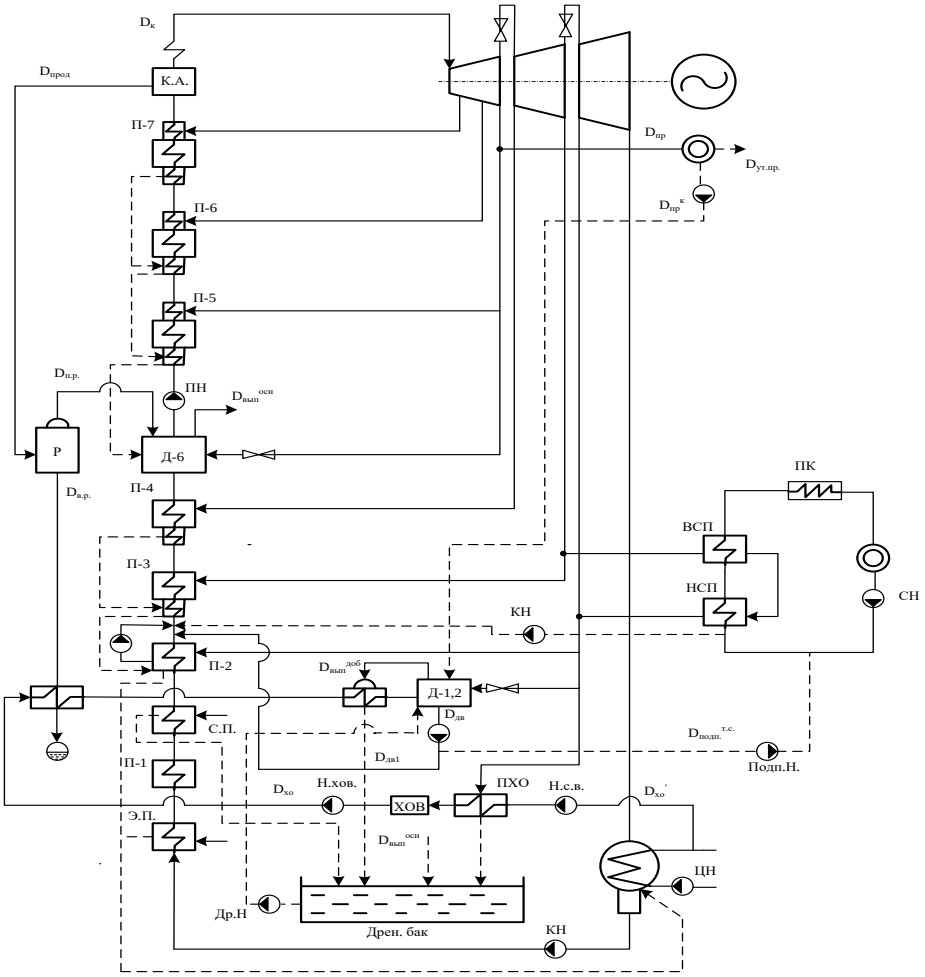


Рисунок 1. Тепловая схема турбины ПТ-80-130

Предусмотрена возможность работы турбины с пропуском подпиточной или сетевой воды через встроенный пучок. Одновременный пропуск сетевой воды через встроенный пучок и циркуляционной воды через основную поверхность конденсатора не разрешается. Одновременное охлаждение конденсатора подпиточной и циркуляционной водой возможно при разности их температур на входе не более 20 °С.

Работа турбины не допускается:

а) при давлении пара в камере производственного отбора выше 16 кг с/см^2 и в камере верхнего теплофикационного отбора выше 2,5 кг с/см^2;

б) при абсолютном давлении пара в камере перегрузочного клапана (за четвертой ступенью) выше 83 кг с/см^2;

в) при абсолютном давлении в камере регулирующего колеса цилиндра низкого давления (за XYIII – ступенью) выше 13,5 кг с/см^2;

г) при включенных регуляторах давление и абсолютных давлениях в камере производственного отбора ниже 10 кг с/см^2 и в камере нижнего теплофикационного отбора ниже 0,3 кг с/см^2;

д) на выхлоп в атмосферу;

е) при температуре выхлопной части турбины выше 70 °С;

ж) при включенном верхнем теплофикационном отборе с включенным нижнем теплофикационным отбором;

з) при параллельной работе по теплофикационным отборам как с аналогичными турбинами, так и с редукционно-охладительной установкой.

Допускается длительная работа турбины с номинальной мощностью и следующих основных параметров от номинальных:

а) при одновременном изменении в любых сочетаниях начальных параметров свежего пара — давлении 125 – 135 кг с/см^2, температуре 545 – 560 °С (при этом температура охлаждающей воды должна быть выше 20 °С);

б) при повышении температуры охлаждающей воды при входе в конденсатор до 33 °С и расходе охлаждающей воды 8000 м^3/ч, если начальные параметры свежего пара при этом не ниже номинальных;

в) при одновременном уменьшении величины производственного и теплофикационного отборов пара до нуля.

Примечание: При повышении давления свежего пара до 140 кг с/см^2 и температуры до 565 °С допускается работа турбины не более получаса, причем общая продолжительность работы турбины при этих параметрах не должна превышать 200 ч/год.

Допускается повторный пуск турбины в работу через любое время после ее остановки, для чего турбина снабжается валоповоротным устройством, вращающим ротор турбогенератора со скоростью 3,4 об/мин.

Допускается пуск турбогенератора на скользящих параметрах из холодного и горячего состояния. Длительность работы турбины на холостом ходу определяется величиной относительных тепловых удлинений роторов турбины, а также температурой выхлопного патрубка, которая не должна превышать 70 °С.

Допускается параллельная работа турбины по производственному отбору пара с другими турбинами, имеющими аналогичные производственные отборы, а также и с редукционно-охладительной установкой, снабженной автоматическим регулированием.

Лопаточный аппарат турбины рассчитан на работу при частоте сети 50 Гц, что соответствует числу оборотов ротора турбогенератора – 3000 об/мин. Работа турбины при частоте сети ниже 49,5 Гц и выше 50,5 Гц не допускается.

Параметр	Величина	Размерность
Номинальная мощность	80	МВт
Максимальная мощность	100	МВт
Начальное давление	12,8	МПа
Начальная температура	555	^{0}С
Расход охлаждающей воды	8000	$\frac{м^3}{ч}$
Температура охлаждающей воды	20	^{0}С
Давление в конденсаторе	0,00297	МПа

Рисунок 2. Таблица основных показателей турбины ПТ-80-130 [2]

Турбина имеет 8 нерегулируемых отборов пара для подогрева питательной воды в подогревателях низкого или высокого давления, деаэраторе,

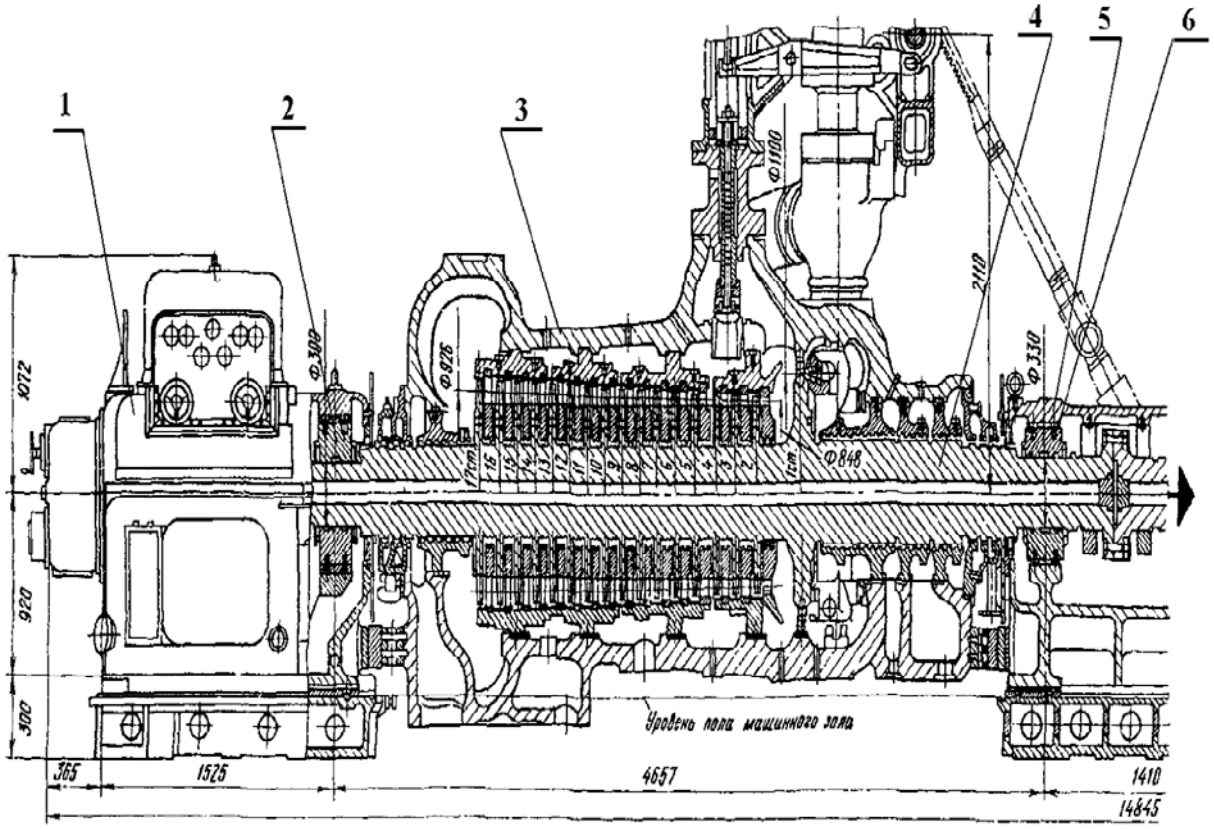
и для питания приводной турбины главного питательного насоса. Отработавший пар из турбопривода возвращается в турбину.

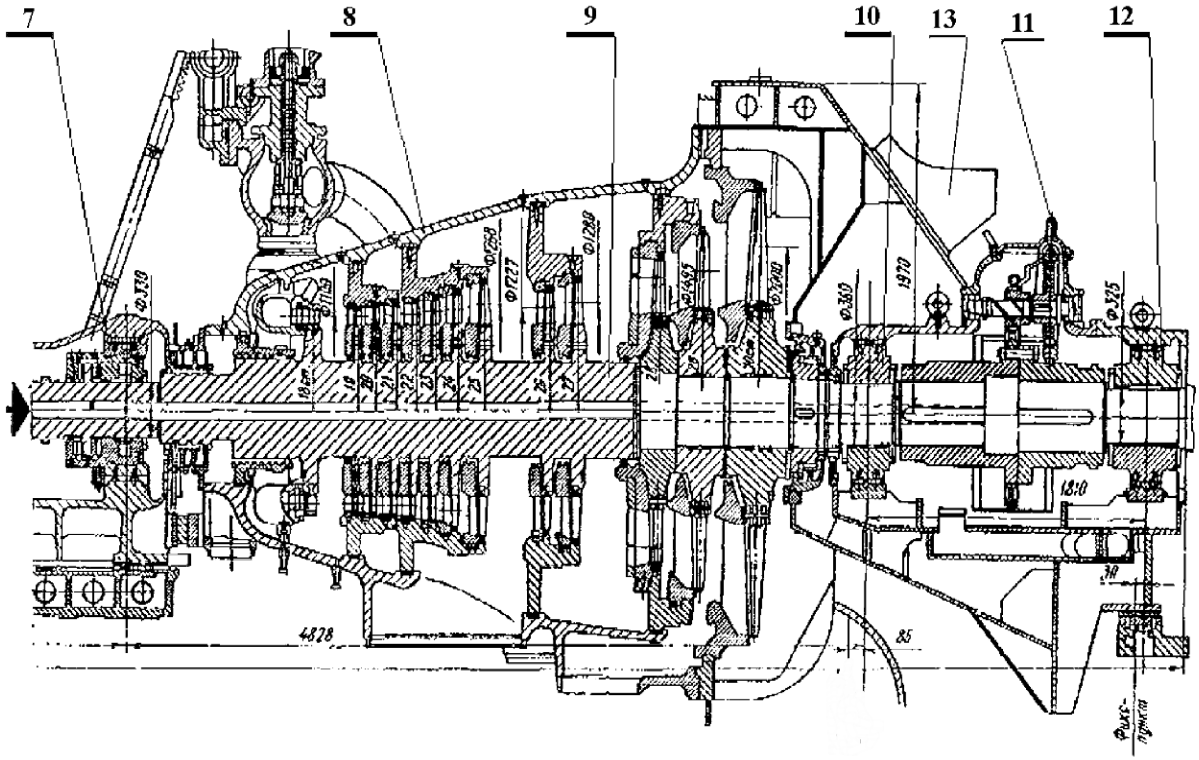
Турбина имеет два отопительных отбора пара верхний и нижний, предназначенный для одно и двухступенчатого подогрева сетевой воды. Отопительные отборы имеют следующие пределы регулирования давления:

- Верхний 0,5 – 2,5 кг с/см^2;
- Нижний 0,3 – 1 кг с/см^2.

	Отбор	Давление, МПа	Температура, ^{0}С
I	Подогреватель высокого давления №7	4,57	421
II	Подогреватель высокого давления №6	2,66	350
III	Подогреватель низкого давления №5	1,28	268
	Деаэратор	1,28	268
IV	Подогреватель низкого давления №4	0,37	164
V	Подогреватель низкого давления №3	0,089	-
VI	Подогреватель низкого давления №2	0,0343	-
VII	Подогреватель низкого давления №1	0,00343	-

Рисунок 3. Значения давлений и температуры теплоносителя [2]





1– подшипник передний; 2–вкладыш опорный № 1; 3– ЦВД; 4– подшипник средний; 6– вкладыш опорный № 2; 7– вкладыш опорно–упорный № 3; 8– ЦНД; 9–РНД; 10– вкладыш опорный № 4; 11–ВПУ; 12– вкладыш опорный № 5 (генератора); 13 – атмосферный клапан – диафрагма

Рисунок 4. Паровая турбина ПТ–80/100–130/13 ЛМЗ [4]

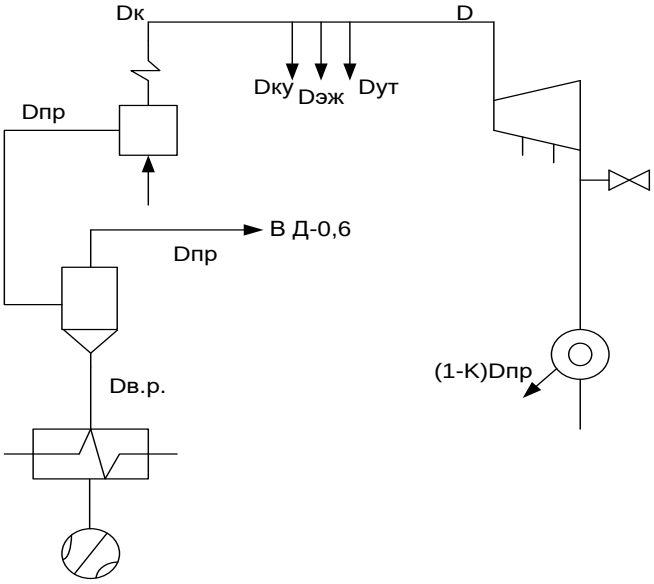


Рисунок 5. Схема расчета расхода рабочего тела

Баланс воды и пара сохраняется при условиях:

- Принимаем, что на концевые уплотнения ($D_{КУ}$) и на паровые эжектора ($D_{ЭП}$) идёт пар высшего потенциала;

- Отработавший пар концевых уплотнений и из эжекторов направляется в сальниковый подогреватель. Принимаем подогрев конденсата в нем: $\Delta t_{СП} = 5\ ^0C$;
- Отработавший пар в охладителях эжекторов направляется в подогреватель эжекторов. Подогрев в нем: $\Delta t_{ЭП} = 5\ ^0C$;
- Принимаем расход пара на турбину (D) известной величиной;
- Внутристанционные потери рабочего тела: $D_{УТ} = 0{,}02D$ кг/с;Расход пара на концевые уплотнения примем 0,5%: $D_{КУ} = 0{,}005D$ кг/с;
- Расход пара на основные эжектора примем 0,3%: $D_{ЭЖ} = 0{,}003D$ кг/с;
- Расход пара из котла составит:
  - $D_К = D + D_{УТ} + D_{КУ} + D_{ЭЖ} = (1+0{,}02+0{,}005+0{,}003)D = 1{,}028D$ кг/с;
- При восполнении потерь в цикле и у потребителей обессоленной водой процент продувки котлов принимаем 0,3% от паропроизводительности котлов. Поэтому:
  - $D_{прод} = 0{,}003D_К = 0{,}003 \times 1{,}028D = 0{,}00308D$ кг/с;
- Количество питательной воды, подаваемой в котел:
  - $D_{ПВ} = D_К + D_{прод} = (1{,}028+0{,}00308)D = 1{,}031084D$ кг/с;
- Количество добавочной воды:
  - $D_{доб} = D_{ут} + (1\text{-}K_{пр})D_{пр} + D_{в.р.}$, кг/с;
- Потери конденсата на производство:
  - $(1\text{-}K_{пр})D_{пр} = (1\text{-}0{,}73) \times 55{,}5 = 15$ кг/с.

Давление в барабане котла примерно на 20% больше, чем давление свежего пара у турбины (за счет гидравлических потерь), тогда:

$$P_{к.в.} = 1{,}2P_0 = 1{,}2 \times 12{,}75 = 15{,}36 \text{ МПа} \rightarrow h'_{к.в.} = 1626{,}3 \text{ кДж/кг}.$$

Давление в расширителе непрерывной продувки примерно на 10% больше, чем в деаэраторе 6, то есть:

$$P_{РНП} = 1{,}1P_д = 1{,}1 \times 5{,}88 = 6{,}5 \text{ бар} \rightarrow h'_р = 684{,}2 \text{ кДж/кг};$$

$$h''_р = 2759{,}9 \text{ кДж/кг};$$

$$r_р = 2075{,}7 \text{ кДж/кг};$$

$$\beta = \frac{0{,}98 \times h'_{к.в.} - h'_р}{r_р} = \frac{0{,}98 \times 1626{,}3 - 684{,}2}{2075{,}7} = 0{,}438$$

Тогда:

$$D_{П.Р.} = \beta \times D_{прод} = 0{,}438 \times 0{,}00308D = 0{,}001349D \text{ кг/с};$$

$$D_{В.Р.} = (1\text{-}\beta)D_{прод} = (1\text{-}0{,}438) \times 0{,}00308D = 0{,}001731D \text{ кг/с}.$$

№	наименование	В месте отбора		Потеря Давления $\Delta P,(\%)$	У регенеративного подогревателя				Питательная вода после подогревателя		Слив дренажа после подогревателя	
		$P_{з}$(бар)	$h_{,}\left(\frac{кДж}{г}\right)$		$P_{з}$(бар)	$h_{оп},\left(\frac{кДж}{г}\right)$	$t_{Н},°C$	$h',\left(\frac{кДж}{г}\right)$	$t_{ПВ},°C$	$h_{ПВ},\left(\frac{кДж}{г}\right)$	$t_{Д},°C$	$h_{Д},\left(\frac{кДж}{г}\right)$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Перед турбиной	121,6	3485	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1-й отбор	45,7	3255	4	41,0	2834,25	252	1099,4	251	1090,4	239	1032,9
3	2-й отбор	26,6	3125	5	24	2831,91	221,8	950,67	220,8	949	196,4	834,87
4	3-й отбор	12,8	2970	6	11,5	2809,1	186	794,56	183	738,5	168,8	714,2
5	4-й отбор	3,7	2785	7	8,42	2785	156,2	589,4	158	668,5	163	688,63
6	5-й отбор	0,89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	6-й отбор	0,343	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	После с.п.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	7-й отбор	0,0343	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	После э.п.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	Пар после турбины	0,0297	2332	-	0,0297	2332	24	101	24	101	-	-

Рисунок 6. Сводная таблица параметров рабочего тела в расчетных точках принципиальной тепловой схемы

Расчет схемы подпитки водой теплосети

При заданном тепловом графике для прямой и обратной воды $t_{пр}/t_{обр}$ = 130/70 °С определим расход воды на теплового потребителя.

В соответствии с нормами технологического проектирования давление воды, подаваемой в теплосеть не должно превышать $P_{пр} = 2,5\ МПа$. Считаем, что обратная сетевая вода возвращается от потребителя с параметрами $P_{обр}$ = 1,6 МПа, $t_{обр} = 70\ °C$. По определяем энтальпию прямой $h_{пр}$ = 544,3 кДж/кг и обратной воды $h_{обр}$ = 293,1 кДж/кг.

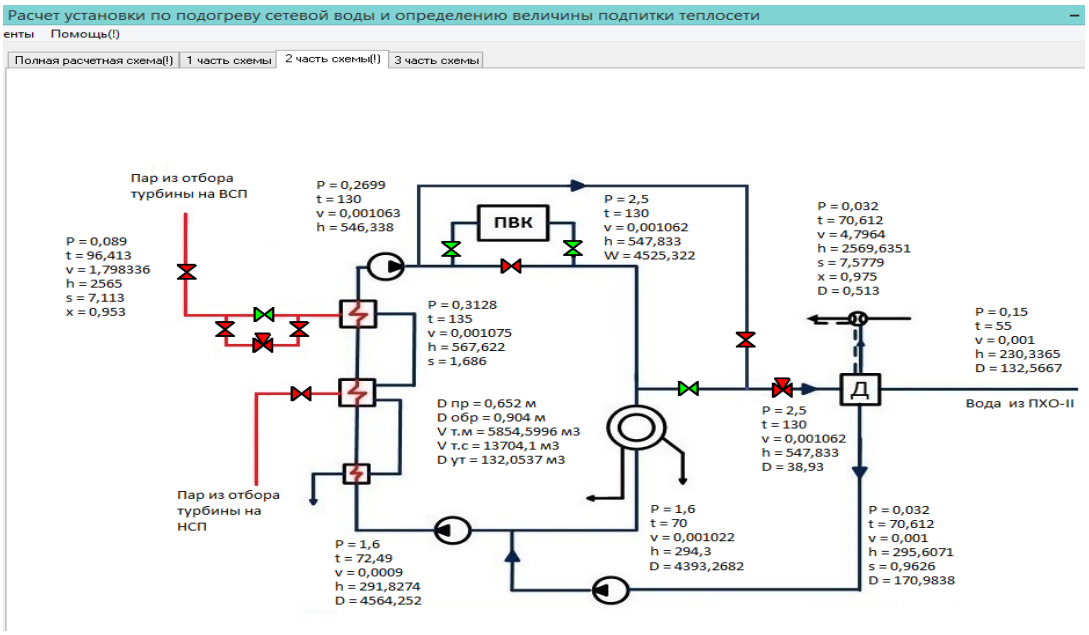


Рисунок 7. Расчет схемы подпитки водой теплосети, участок 1

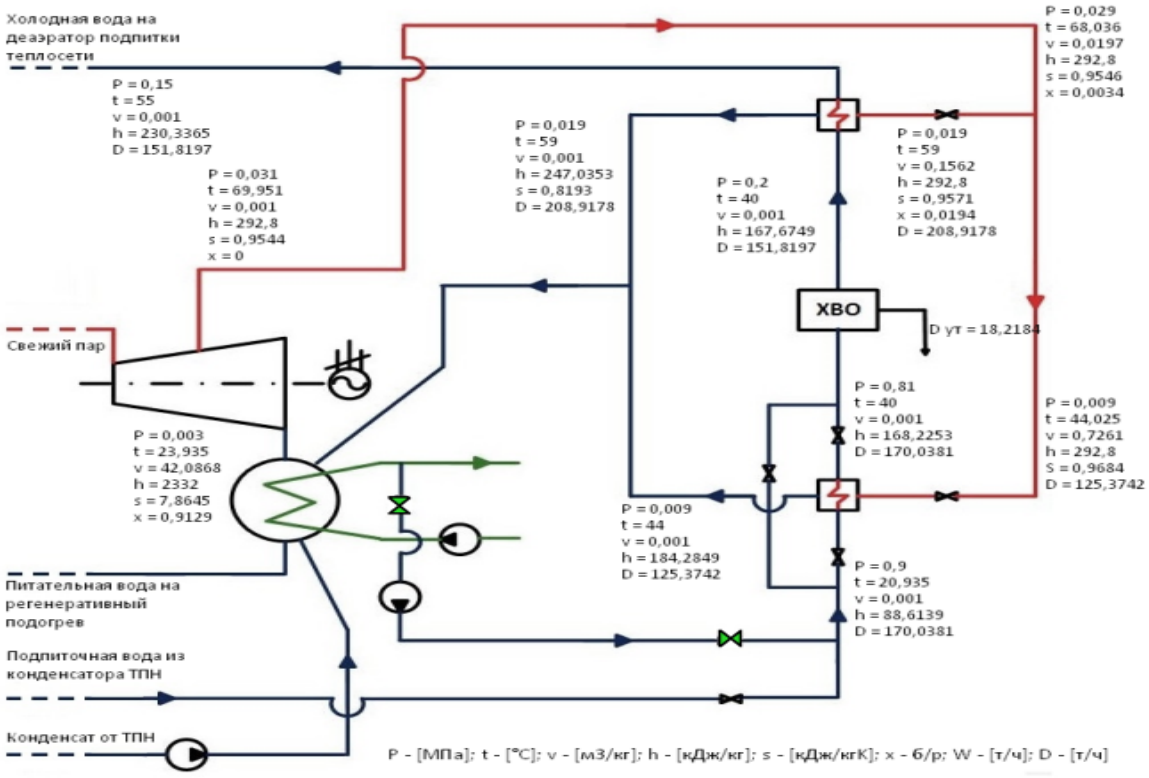


Рисунок 8. Расчет схемы подпитки водой теплосети, участок 2

Расход воды на теплового потребителя составит:

$$W = \frac{Q_т}{h_{пр} - h_{обр}} = \frac{76{,}2 \times 10^3}{545{,}98 - 293{,}16} = 300{,}2 \text{ кг/с}$$

$h_{пр} = 545{,}98$ кДж/кг, $h_{обр} = 293{,}16$ кДж/кг,

$Q_т = 76{,}2$ МВт.

В общем случае, величина подпитки теплосети определяется по выражению:

$$D = 1{,}002 \times D_{гвс} + 0{,}0075 \times a \times Q + V_{тм}, \text{ кг/с}$$

При одинаковой протяженности прямой и обратной магистралей 3000 м и одинаковом количестве данных магистралей равном 2, диаметр прямой магистрали будет составлять:

$$d_{пр} = \sqrt{\frac{4W_{пр} \times \vartheta_{пр}}{3{,}6 \times \pi \times \upsilon_{пр} \times n_{пр}}} = \sqrt{\frac{4 \times 300{,}2 \times 1001{,}07}{3{,}6 \times \pi \times 2 \times 2}} = 0{,}652 \text{ м},$$

где $\upsilon_{пр} = 2$ м/с – скорость воды в прямой магистрали,

$\vartheta_{пр} = 1{,}00107 \times 1000 = 1001{,}07$ м^3/кг – удельный объем воды, $\vartheta_{пр} = f\left(P_{пр}, T_{пр}\right)$.

Диаметр обратной магистрали найдется по выражению:

$$d_{обр} = \sqrt{\frac{4 \cdot (W_{пр} - D_{гвс}) \cdot \vartheta_{обр}}{3{,}6 \cdot \pi \cdot \upsilon_{обр} \cdot n_{обр}}} = 0{,}904 \text{ м}$$

$\vartheta_{обр} = 1{,}00102 \times 1000 = 1001{,}02$ м^3/кг – удельный объем воды, $\vartheta_{обр} = f\left(P_{обр}, T_{обр}\right)$,

$\upsilon_{обр} = 1$ м/с – скорость воды в обратной магистрали.

Считаем, что теплосеть для нашего случая закрытая, водоразбора нет, поэтому $D_{гвс} = 0$ кг/с . Объем воды в тепломагистралях от тепловой электростанции до потребителя определится выражением:

$$V_{тм} = l\,n\frac{\pi}{4}(d^2_{пр} + d^2_{обр}) = 3000\times2\times\frac{\pi}{4}\times(0{,}652^2+0{,}904^2) = 5854{,}6\ м^3$$

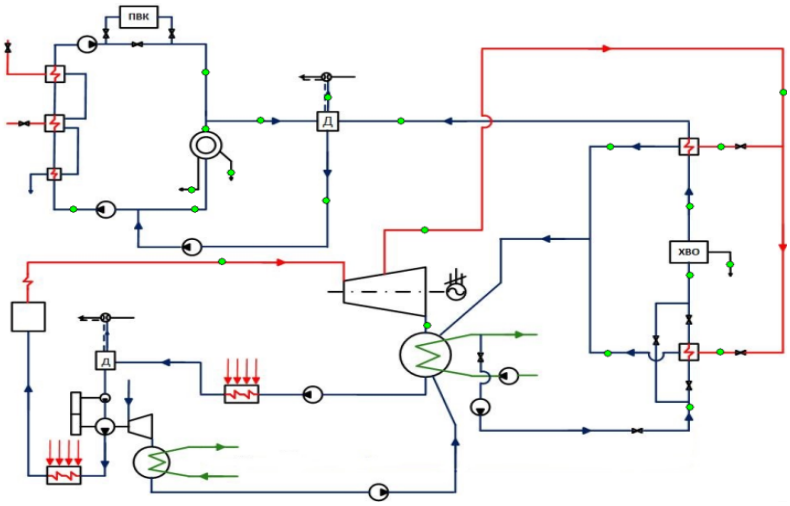


Рисунок 9. Расчетная схема потдпитки теплосети

Расчет сетевых подогревателей:

$t_{пр}/t_{обр} = 130/70$ °С; $\alpha_{ТЭЦ} = 0{,}5$.

$$\alpha_{ТЭЦ} = \frac{Q_б}{Q_т} = \frac{W_{с.в}\times(h_{всп}-h_{обр})}{W_{с.в}(h_{пр}-h_{обр})} \approx \frac{t_{всп}-t_{обр}}{t_{пр}-t_{обр}} \Rightarrow t_{всп} = t_{обр} + \alpha_{ТЭЦ}(t_{пр} - t_{обр})$$

Температура воды после верхнего сетевого подогревателя: $t_в^{ВСП} = 70 + 0{,}5\cdot(130-70) = 100\ ^0C$

Температура насыщения в верхнем сетевом подогревателе определяется по величине недогрева δt=6°С:

$$t^н_{ВСП} = t^{ВСП}_в + \delta t = 100+6 = 106\ °С$$

Давление в верхнем сетевом подогревателе определяем по таблицам свойств воды и водяного пара:

$$P'_{ВСП} = f\left(t^н_{ВСП}\right) = 0{,}125\ МПа$$

Давление в камере отбора турбины с учетом потерь в трубопроводах ΔP=8%:

$$P^{ВСП}_{отб} = \frac{P'_{ВСП}}{1-\frac{\Delta P}{100}} = \frac{0{,}125}{1-\frac{8}{100}} = 0{,}136\ МПа$$

Температура воды за нижним сетевым подогревателем: $t^в_{НСП} = \frac{\left(t^{ВСП}_в + t_{обр}\right)}{2} = \frac{(100+70)}{2} = 85$ °С.

Температура насыщения в нижним сетевом подогревателе определяется по величине недогрева δt=6°С:

$$t^н_{НСП} = t^{НСП}_в + \delta t = 85+6 = 91°С$$

Давление в нижним сетевом подогревателе: $P'_{ВСП} = f\left(t^н_{ВСП}\right) = 0{,}0729$ МПа.

Давление в камере отбора турбины с учетом потерь в трубопроводах $\Delta P=8\%$:

$$P_{отб}^{ВСП} = \frac{P'_{ВСП}}{1-\frac{\Delta P}{100}} = \frac{0,0729}{1-\frac{8}{100}} = 0,0792 \text{ МПа}$$

Энтальпия воды после нижнего сетевого подогревателя: $h_в^{НСП}=f\left(t_{НСП}^в\right)=355,946$ кДж/кг.

В соответствии с ранее определёнными температурами за сетевыми подогревателями: $t_{псв\text{-}2} = 100°C$; $t_{псв\text{-}1} = 85°C$ и температурным графиком теплосети $t_{пр}/t_{обр} = 130/70$ °С, задаваясь давлением воды в прямой магистрали $P_{пр} = 2,5$ МПа и обратной $P_{обр} = 1,6$ МПа.

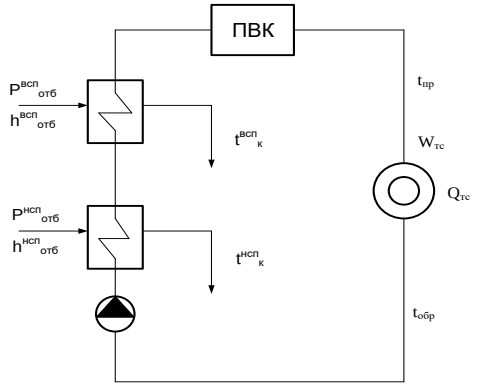


Рисунок 10. Схема сетевой установки

Количество тепла из отборов для данного расчета $Q_{отб} = 732,7$ ГДж/ч = 203,5 МВт.

Коэффициент теплофикации $\alpha_{ТЭЦ} = 0,5$, тогда количество тепла идущее на потребителя, определится:

$$Q_{тп} = \frac{Q_{отб}}{\alpha_{ТЭЦ}} = \frac{76,2}{0,5} = 152,4 \text{ МВт}$$

Определяем расход сетевой воды через сетевые подогреватели:

$$W = \frac{Q_{ТП}}{h_{пр}-h_{обр}} = \frac{152,4\times10^3}{545,98-293,16} = 602,8 \text{ кг/с}$$

Принимаем утечки в системе теплоснабжения 2% от количества циркулирующей воды.

$$W_{ут} = 0,02\times W = 0,02\times602,8 = 12,056 \text{ кг/с}$$

При нагрузке горячего водоснабжения 15% от общей. Абсолютное ее значение:

$$Q_{гв} = 0,15\times Q_м = 0,15\times152,4 = 22,86 \text{ МВт}$$

Общий расход воды на горячее водоснабжение:

$$W_{гв} = \frac{Q_{гв}}{h_{пр} - h_{обр}} = \frac{22{,}86 \times 10^3}{545{,}98\text{-}293{,}16} = 90{,}42 \text{ кг/с}$$

Общий расход подпиточной воды, направляемой из деаэратора на подпитку системы:

$$D_{доб} = W_{гв} + W_{ут} = 90{,}42 + 12{,}056 = 102{,}476 \text{ кг/с}$$

Тепловая нагрузка на сетевые подогреватели нижней и верхней ступени, пиковом водогрейном котле:

$$Q_{всп} = Q_м \times \frac{t_в^{всп} - t_н^{всп}}{t_{пр} - t_{обр}} = 152{,}4 \times \frac{100\text{-}91}{130\text{-}70} = 22{,}86 \text{ МВт}$$

$$Q_{нсп} = Q_м \times \frac{t_н^{нсп} - t_{обр}}{t_{пр} - t_{обр}} = 152{,}4 \times \frac{91\text{-}70}{130\text{-}70} = 53{,}34 \text{ МВт}$$

$$Q_{пвк} = Q_м \times \frac{t_{пр} - t_в}{t_{пр} - t_{обр}} = 152{,}4 \times \frac{130\text{-}100}{130\text{-}70} = 76{,}2 \text{ МВт}$$

Расход пара на подогреватели:

$$D_{нсп} = \frac{Q_{нсп}}{\left(h_1 - h_{нсп}^н\right) \times \eta_{всп}} = \frac{53{,}34 \times 10^3}{\left(2460\text{-}381{,}176\right) \times 0{,}99} = 25{,}0 \text{ кг/с}$$

$$D_{всп} = \frac{Q_{всп}}{\left(h_2 - h_{всп}^н\right) \times \eta_{всп}} = \frac{22{,}86 \times 10^3}{\left(2565\text{-}444{,}44\right) \times 0{,}99} = 10{,}89 \text{ кг/с}$$

Расход подпиточной воды:

$$D_{хо}^{"} = D_{доб} = 102{,}476 \text{ кг/с}$$

Величина выпара из деаэратора Д-0,3 составляет 0,2% – 0,3% от расхода на подпитку. Следовательно,

$$D_{вып}^{д\text{-}0{,}3} = 0{,}002 \times 102{,}476 = 0{,}205 \text{ кг/с}$$

Список литературы:

1. Бойко, Е. А. Тепловые электрические станции (паротурбинные энергетические установки ТЭС): Справочное пособие / Е. А. Бойко, К. В. Баженов, П. А. Грачев. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. – 152 с. – Текст: непосредственный.
2. Мошкарин, А. В., Чухин, И. М. Расчет тепловых схем ТЭЦ: учебное пособие. –Иваново: Ивановский государственный университет, 1985. – 64 с. – Текст : непосредственный.
3. Вес турбины пт 80 100 130 13. По эксплуатации паровой турбины: [сайт]. – URL: https://fresh-deko.ru/ornamental-plants/ves-turbiny-pt-80-100-130-13-po-ekspluatacii-parovoi-turbiny-rashod-teploty-na.html (дата обращения: 30.12.2023). –Текст: электронный.
4. Характеристики паровой турбины ПТ-80/100-130/13 ЛМЗ: [сайт]. – URL: http://belenergetics.ru/analitics/xarakteristiki-parovoj-turbiny-pt-80100-13013-lmz/ (дата обращения: 01.12.2023). – Текст: электронный.

© Чепелева К. В., 2023

УДК 621.312

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ В ЧАСТНЫХ ДОМАХ НА ТЕРРИТОРИИ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

студент **Савенко Александр Вячеславович,**
науч. руководитель: ассистент **Крюков Кирилл Александрович,**
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В данной статье был проведен анализ современных энергосберегающих решений с использованием возобновляемых источников энергии. Приведена оценка эффективности использования солнечных панелей, а также рассчитана средняя окупаемость установки для частного малоэтажного дома в Краснодарском крае.

Ключевые слова: солнечные панели, солнечная установка, возобновляемые источники энергии, частный дом, эффективность.

EFFECTIVENESS OF USE OF SOLAR PANELS IN PRIVATE HOUSES IN THE TERRITORY OF KRASNODAR REGION

Student **Savenko Alexander Vyacheslavovich,**
Academic Advisor: Assistant **Kryukov Kirill Alexandrovich,**
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. This article analyzed modern energy-saving solutions using renewable energy sources. An assessment of the efficiency of using solar panels is given, and the average payback of the installation for a private low-rise building in the Krasnodar Territory is calculated.

Keywords: solar panels, solar installation, renewable energy sources, private house, efficiency.

Комфорт в частных домах – одна из важнейших причин, по которой все больше и больше людей стремится перебраться в малоэтажные застройки вдали от шумного мегаполиса. Только за последний год в Краснодарском крае процент проживающих увеличился в несколько раз (рис. 1). Участки индивидуальной застройки не всегда располагаются в зонах снабжения электричеством и газом, для их обеспечения требуется надежный и бесперебойный источник питания, который бы не зависел от внешних ресурсов.

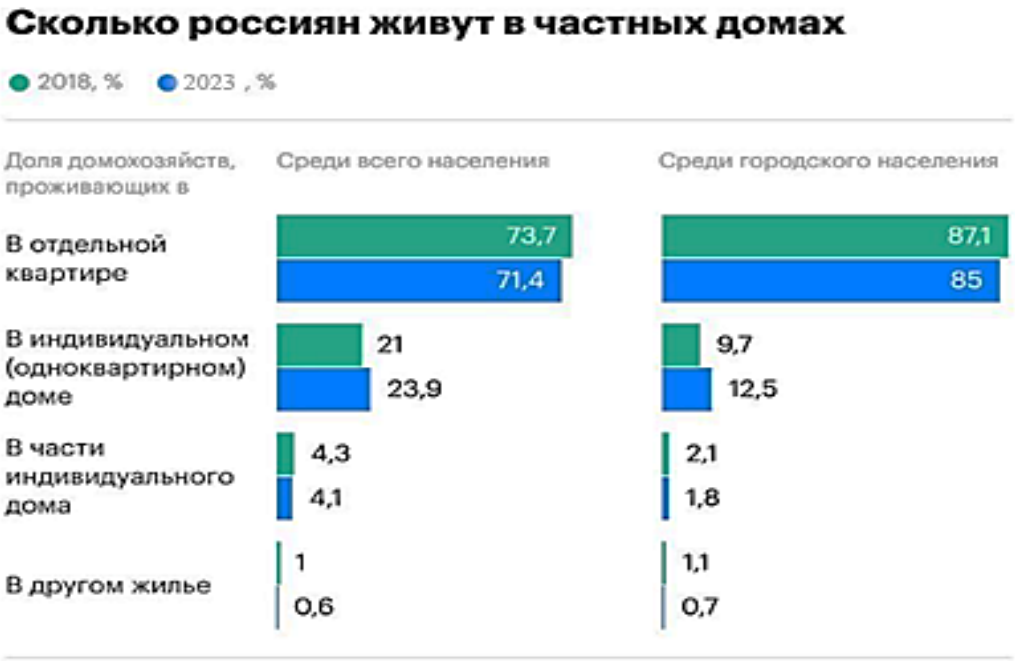


Рисунок 1. Статистика проживающих в частных домах

Этим обусловлен растущий спрос на использование возобновляемых источников энергии, как для жизнеобеспечения энергией объекта, так и для возможности снижения затрат на электроэнергию. Возобновляемые источники энергии вполне могут конкурировать с традиционными энергетическими технологиями, так как являются экономически выгодными. Их применение не наносит вреда окружающей среде, они экологичны, вместе с тем отсутствует надобность в транспортировке и топливных затратах. Альтернативой традиционным источникам энергии в труднодоступных районах юга России может послужить установка солнечных панелей в частных домах. Солнечные панели позволяют генерировать возобновляемую энергию на собственной крыше и повысить автономность в случае отключения электроэнергии, и экономить при использовании их совместно с сетью.

Рассмотрим конкретный пример на территории Краснодарского края с установкой солнечных панелей в частный дом площадью помещений 50 м^2. Рассчитанный на постоянное проживание семьи из 2 человек и среднем энергопотреблении в 17,42 кВт*ч\сут и подключенному к сетевому энергообеспечению. Для начала с помощью СП 31-110-2003 «Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий» рассчитаем искомое значение мощности, необходимой для выбора кол-ва панелей.

$$P_{расч} = P_{ном} * K_c$$

$P_{расч}$ – искомое расчетное значение мощности

$P_{ном}$ – номинальное суммарное значение мощности электроприборов

K_c – коэффициент спроса, учитывающий неодновременность работы электропотребителей

$$P_{расч} = 17.42*0,8=13,93 \text{ кВт*ч\сут}$$

Исходя из полученного расчетного значения мощности выбирается мощность энергокомплекса, в зависимости от желаемого процента замещения, но будем брать исходное число для запаса. Для необходимой расчетной мощности выберем наиболее популярные на рынке солнечные панели из монокристаллического кремния с наивысшим качеством элементов (Grade A), что означает, что снижение мощности при ускоренном тесте старения составляет не более 5 %. Панель из монокристаллического кремния дает оптимальное соотношение мощности к занимаемой ею площади, а высокое качество компонентов увеличивает срок службы, в течение которого панель будет вырабатывать заданные параметры электроэнергии. Такой солнечной панелью является HH-MONO200W, представленная на рисунке. При средней выработке одной панели HH-MONO200W 35 кВт*ч\сут. определить необходимое число солнечных панелей для полного обеспечения электроэнергией объекта можно по формуле:

$$N = \frac{P_{\text{расч}} * S}{W_m},$$

где N – количество солнечных панелей, штук;
S – общая площадь постройки;
W_m – количество вырабатываемой энергии солнечной панелью, кВт·ч.

$$N = \frac{13{,}93 * 50}{35} = 20.$$

Произведен экономически выгодный расчет и примем количество панелей, равное 20 штукам при стоимости 408760 рублей на 16.11.2023, расчет представлен на рисунке 2.

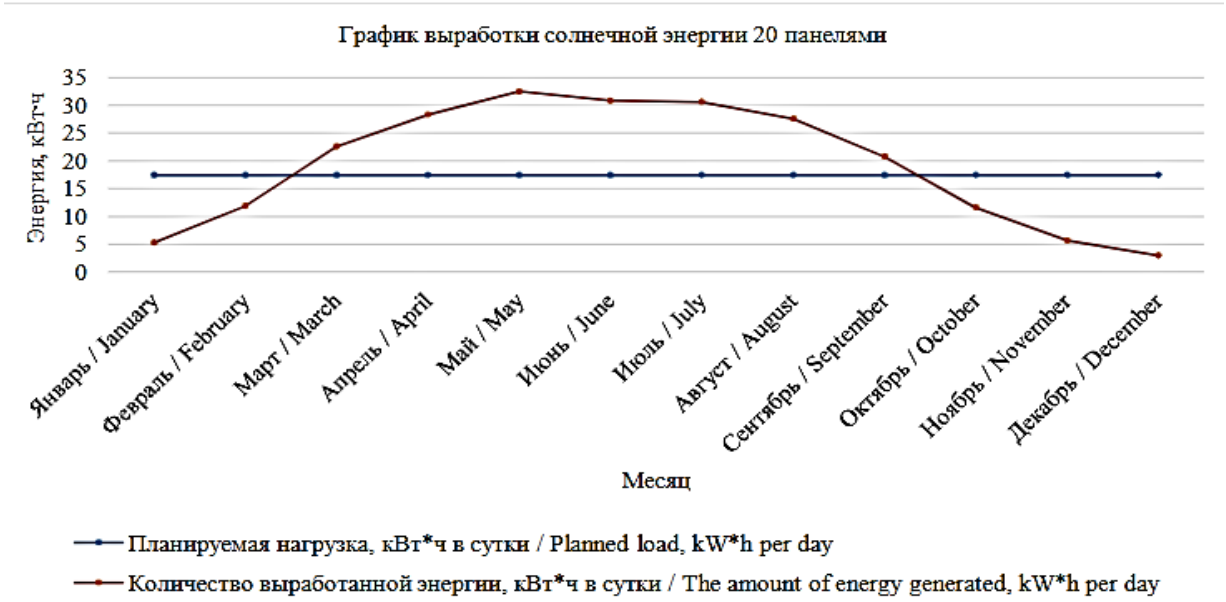


Рисунок 2. График выработки солнечной энергии 20 панелями

Из данного графика видно, что солнечная установка не может полностью обеспечить дом электроэнергией в январе, феврале, октябре, ноябре и декабре.

Поэтому принято решение об установке комбинированной системы с аккумуляторными батареями и дизельным генератором. В качестве накопителя электроэнергии наиболее оправданным является применение гелиевых в связи с их уникальными характеристиками: большое число циклов заряда/разряда, низкий саморазряд, возможность эксплуатации в любом положении, допустимость длительного нахождения в разряженном состоянии, что актуально в зимние месяцы. На сегодняшний день данный тип аккумуляторов активно используется в альтернативной энергетике. Гелиевые аккумуляторные батареи нуждаются только в защите от перезаряда и должны иметь ограничитель напряжения при заряде, что обеспечит максимальный срок службы и количество циклов заряда/разряда свыше 700 циклов. Конкретно под наш объект отлично подходит гелиевый аккумулятор Delta DTM12100L. Преимущество же комбинированного типа солнечной энергосистемы заключается в том, что помимо подключения к панелям у нас будут батареи. Это означает, что аккумуляторы будут действовать как хранилище энергии, поэтому, если в сети произойдет отключение электроэнергии, питание от вашей батареи будет поддерживать свет включенным. Или в случае повышенной генерации энергии аккумуляторы будут накапливать электричество.

К тому же помимо автономности солнечной энергии, она еще и бесплатная, что может неплохо сэкономить денежные средства. Нужно лишь приобрести и правильно установить солнечные панели. По результатам расчета среднемесячного потребления энергии домом, была определена стоимость годового потребляемого электричества, составившая 24170,4 рублей. Начальные инвестиции окупаются за 10-20 лет в зависимости от цен на энергоресурсы и динамики цен на электричество. Если сравнивать статистику за 2023 год и за 2017 год, то можно заметить, что цена за киловатт энергии возросла с 3,11 рублей до 4,2 рублей, что довольно существенно отражается на бюджете населения.

В заключение хотелось бы подвести итог, что в процессе выбора оборудования стало понятно, что автономное электроснабжение даже в районе с такой высокой солнечной активностью с использованием одних лишь солнечных панелей возможно только при установке аккумуляторных батарей для расхода избыточной энергии в летнее время. А в зимнее время необходима дополнительная энергия, так как мощности одной солнечной энергии будет недостаточно. В связи с вышесказанным было принято решение использовать 20 солнечных панелей для бесперебойного электроснабжения в течение 6 месяцев, а для обеспечения бесперебойности с октября по март будет использоваться дизельный генератор в часы с недостаточным поступлением энергии.

Список литературы:

1. Закономерности распределения солнечной радиации по поверхности Земли [сайт]. URL: (дата обращения: 18.11.2023).
2. Солнечная электростанция [сайт]. – URL: https://habr.com/ru/post/460457/ (дата обращения 29.10.2023).

3. Дугинова К. А. Подбор теплового насоса для индивидуального дома в разных зонах РФ // Вопросы устойчивого развития общества. – 2021. – С. 636-640.
4. Паук Ю. Ю., Тускаева З. Р. Солнечные батареи как альтернативный источник энергии // Тенденции развития науки и образования. – 2019. – С. 5-7.
5. Возобновляемые и не возобновляемые источники энергии [сайт]. – URL: https://avtonomny-dom.ru/ekonomiya-elektroenergii/vidyi-vozobnovlyaemyih-istochnikov-energii.html (дата обращения: 05.11.2023).

© Савенко А. В., 2023

УДК 676.028.42

ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ РАСКРОЯ МАТЕРИАЛА

магистрант **Морошкин Илья Кириллович,**
канд. техн. наук, доцент **Ремизова Ирина Викторовна,**
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В работе приводится содержательное описание основных этапов формирования задачи оптимального раскроя материала применительно к предприятиям целлюлозно-бумажной промышленности, а также приводятся основные теоретические положения, определяющие суть рассматриваемой задачи. Приводится базовая математическая модель классической задачи, которая является основой для построения новой математической модели с дополненными параметрами. Приводятся некоторые критерии оптимальности, дополняющие базовую модель и имеющие практическую значимость.

Ключевые слова: целлюлозно-бумажная промышленность, линейное программирование, математическая модель, оптимизация раскроя, бумагоделательная машина.

PRACTICE-ORIENTED FORMULATION OF THE PROBLEM OF OPTIMIZING THE CUTTING OF THE MATERIAL

Master Student **Moroshkin Ilya Kirillovich**
PhD in Technical Sciences, Associate Professor
Remizova Irina Viktorovna
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. The paper provides a meaningful description of the main stages of solving the problem of optimal material cutting in relation to pulp and paper industry enterprises, and also provides the main theoretical provisions that determine the essence of the problem under consideration. The basic mathematical model of the classical problem is presented, which is the basis for constructing a new mathematical model with augmented parameters. Some optimality criteria are presented that complement the basic model and have practical significance.

Keywords: pulp and paper industry, linear programming, mathematical model, cutting optimization, paper machine.

В реалиях целлюлозно-бумажного производства сокращение количества производственных отходов является одним из перспективных способов снижения материальных затрат. Актуальность вопроса оптимизации процесса раскроя бумажного/картонного полотна обосновывается широким спектром используемых форматов бумаги и картона, а также высокой стоимостью продукции в производстве.

На предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности отходы от раскроя бумажного полотна в виде узкой краевой кромки направляются на повторную переработку и увеличивают количество оборотного брака в производстве бумаги и картона. Повторная переработка отходов сохраняет дорогостоящие волокнистые материалы, используемые для выпуска продукции, но вместе с этим требует дополнительных затрат на размол перерабатываемых отходов [1].

Проблеме оптимального раскроя посвящено большое количество научных работ и исследований, первые из которых были опубликованы еще в конце 40-х годов XX века. Однако в связи со спецификой работы каждого конкретного предприятия решение данной задачи осложнено некоторыми трудностями, как, например, целочисленность решения и существование оптимального решения при любых входных данных.

Классическая задача оптимального раскроя была достаточно подробно описана в работах Л. В. Канторовича и В. А. Залгаллера, посвященных математическим методам планирования производства и управления. Данная проблема представляет собой одну из основополагающих оптимизационных задач, прямое решение которых достигается посредством линейного программирования с использованием матрицы коэффициентов ограничений [2].

Математическая модель данной задачи для практического применения должна учитывать ряд факторов, присущих предприятиям целлюлозно-бумажной промышленности. Сложность задачи раскроя относительно конкретного предприятия вызвана, в первую очередь, необходимостью учитывать широкий набор параметров оборудования и заказов, а также большим числом возможных вариантов раскроя, что в свою очередь приводит к построению нестандартных математических моделей и методов расчета.

Содержательное описание задачи состоит в планировании раскроя готовой продукции (съем тамбура с БДМ) на рулоны требуемого формата (ширины) и укомплектования пакета заказов на выработку продукции. Эти заказы в рамках составления планов раскроя описываются такими параметрами, как формат рулона, диаметр рулона (в диапазоне от и до), объем выработки за единицу времени, масса квадратного метра бумажного полотна [3]. Если предприятие может выпускать продукцию нескольких видов, то в таком случае в параметры заказа также входит, как правило, марка выпускаемой продукции.

За выпуск готовой продукции отвечает бумагоделательная машина (БДМ), основными технологическими параметрами которой являются: ширина тамбура, производительность, размеры кромки, масса квадратного метра бумажного полотна. Параметры конкретной БДМ могут по-разному оказывать влияние на технологический процесс, а также разделяются на индивидуальные (те, которые

присущи конкретной БДМ) и управляемые (те, что могут изменяться по мере необходимости).

К индивидуальным особенностям БДМ, как правило, относят ширину тамбура и некоторые параметры контроля качества продукции. К управляемым параметрам относится размер кромки, масса квадратного метра бумажного полотна и производительность машины. В зависимости от условий, набор параметров может дополняться [3].

План раскроя является результатом решения оптимизационной задачи и привязывает определенный набор заказов, поступивших на предприятие, к конкретной БДМ. План содержит в себе всю информацию для выработки продукции на продольно-резательном станке (ПРС) – используемые форматы, частота их появления в задании на раскрой, объем отходов в виде кромки, предполагаемый объем плановой выработки.

Важно понимать, что план раскроя предполагает единство параметров для каждого используемого формата, а общая сумма форматов по ширине тамбура (учитывая тот факт, что один формат может появиться в раскрое несколько раз) не должна превосходить ширину самого тамбура.

Таким образом, главными управляемыми параметрами задачи оптимизации процесса раскроя являются:

– объем выработки при раскрое одного съема (определяет загрузку конкретной БДМ);
– распределение нагрузки между несколькими БДМ;
– производительность каждой из БДМ;
– общий объем выработки от всех раскроев.

Поскольку в рамках одной математической модели учесть абсолютно все факторы невозможно, задача оптимального раскроя может быть достаточно комплексной в зависимости от преследуемых целей, детализации и достоверности получаемой в ходе решения информации.

В рамках задачи может рассматриваться вариант, при котором решение производится относительно множества единиц оборудования с нетипичными значениями параметров. При этом существует вероятность возникновения вторичной задачи, которая решает проблему равномерного распределения нагрузки на каждую единицу такого оборудования. В таком случае решение главной задачи осложняется наличием дополнительных параметров (например, какая-то из единиц оборудования может работать только с конкретным видом продукции).

Составление плана раскроя также может быть усложнено введением дополнительных ограничений и параметров, если этого требует главная задача. Среди таких ограничений можно выделить:

– ограниченное количество ножей на продольно-резательном станке, что накладывает некоторые рамки на максимальное число элементов в одном раскрое;
– ограничение на число различных элементов, используемых в раскрое;
– наличие в раскрое «краевых» заказов.

Классический пример постановки задачи оптимизации одномерного раскроя формулируется следующим образом: требуется найти множество оптимальных планов раскроя, при условии выработки всего заданного объема продукции с минимальным количеством отходом. Математическая модель задачи может быть представлена в виде представленных ниже функции цели и системы дополнительных ограничений [2, 3].

Пусть требуется найти минимум функции F:

$$F = \sum_{k \in \mathrm{K}} c_k x_k \to min, \tag{1.1}$$

где c_k – величина потерь от раскроя k-ым способом;

x_k – число раз, покроенных k-ым способом;

$k = \overline{1, \mathrm{K}}$ – один из множества K способов раскроя.

При ограничениях:

$$\sum_{k \in \mathrm{K}} a_{ik} x_k = B_i, \quad i \in \mathrm{N}; \tag{1.2}$$

где a_{ik} – объем (количество) выработки продукции при выполнении заказа k- ым способом раскроя;

B_i – требуемый объем выработки i-го заказа;

$i = \overline{1, \mathrm{N}}$ – один из множества N заказов для раскроя;

$$L_j - \sigma_j \le \sum_{i \in \mathrm{N}} l_i a_{ik} \le L_j, \quad k \in \mathrm{K}, \quad j \in \mathrm{M}; \tag{1.3}$$

$$x_k \ge 0, \quad k \in \mathrm{K}; \tag{1.4}$$

где L_j – максимальная ширина материала для j-го типа оборудования;

σ_j – обрезная ширина кромки материала для j-го типа оборудования;

l_i – заданный формат продукции при раскрое i-ым заказом;

$j = \overline{1, \mathrm{M}}$ – один из множества M единиц оборудования.

При такой постановке задачи неизвестным будет количество способов раскроя x_k, выработанное каждым из $\overline{1, \mathrm{K}}$ способом.

Постановка задачи (1.1 – 1.4) позволяет достаточно просто прийти к согласованию цели (1.1), представленной минимизацией потерь сырья и ограничений, обеспечивающих нахождение требуемых согласно заказам объемов продукции (1.2) с учетом выпуска заданных форматов продукции и вычетом обрезной ширины кромки (1.3).

В общем виде, данная постановка задачи является упрощенной, теоретической и не учитывает конкретных технологических условий реального производства. Задача (1.1 – 1.4), в представленном виде в практике может быть реализована с малой вероятностью. Задача будет требовать доработки, подстройки под конкретное производство в каждом случае применения. Целевая функция описанной задачи может быть скорректирована в зависимости от поставленных перед производством задач.

Рассматривая задачу с практико-ориентированной стороны применения, можно представить некоторое количество возможных вариантов постановки целевой функции, с учетом функциональных особенностей предприятия и применимых к каждому конкретному случаю дополнительных условий задачи.

К постановке такого вида критерия оптимальности можно отнести нахождение:

– максимума дохода от всей реализованной продукции:

$$F = \sum_{k \in \mathrm{K}} \mathrm{c}_k^s x_k \rightarrow max, \quad (1.5)$$

где c_k^s – доход (от единицы объема) при использовании k-го способа раскроя (определяется ценами входящих в него заказов);

– минимум потерь продукции при отклонении в условиях недостачи материалов или перевыпуске продукции, более заданной нормы

$$F = \sum_{\mathrm{i} \in \mathrm{N}} (\mathrm{c}_i^N f_i^N + C_i^N F_i^N) \rightarrow min, \quad (1.6)$$

где f_i^N, F_i^N – отклонения в объемах недостачи и перевыполнения выработки в рамках i-го заказа;

c_i^N, C_i^N – величины убытков предприятия в объемах недостачи и перевыполнения выработки в рамках i-го заказа.

Результатом решения задач оптимизации, как правило, является достижение максимума или минимума определенной целевой функции (или нескольких функций) с учетом введенных условий и ограничений. В зависимости от условий задачи, в качестве целевой функции может выступать расход материала, максимизация прибыли предприятия от реализации единицы продукции, доля потерь сырья, общее количество выкроенных единиц продукции. Чаще всего такие функции являются линейными функциями количества израсходованного материала и полученных единиц готовой продукции. Причем в некоторых ситуациях важность имеет не только количество, но и способ компоновки единиц раскроя. Например, области бумажного полотна, имеющие пятна (пониженное качество), могут быть пригодными только для выкраивания части продукции.

В иных случаях для решения задач может применяться динамическое программирование, так как планирование раскроя каждого объекта рассматривается одновременно с раскроями оставшихся, а при решении задач раскроя неопределенного количества объектов требуется применение методов линейной оптимизации [4].

Возникающая в ходе решения задачи необходимость учитывать дополнительные параметры может по-разному сказываться на описании математической модели и на сложности используемого алгоритма. Тем не менее, один и тот же алгоритм, не претерпевший критичных изменений, может быть пригоден и для решения модифицированной задачи в определенных условиях. Однако дополнительные ограничения чаще всего негативным образом сказываются на сложности решения [5].

Список литературы:

1. Оптимизация раскроя рулонных материалов: методические указания и варианты заданий для выполнения курсовой работы по дисциплине «Экономико-математические методы и модели в планировании и управлении» / сост. Т. Р. Терешкина, Л. Е. Баранова. – Текст: электронный; М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – изд. 2 перераб. и доп. – СПб. : СПбГТУРП, 2005. – 20 с. URL: http://www.nizrp.narod.ru/mu26-40.htm (дата обращения: 01.12.2023).

2. Канторович, Л. В. Рациональный раскрой промышленных материалов / Л. В. Канторович, В. А. Залгаллер. – Новосибирск: Издательство «Наука», 1971. – 300 с. – Текст: непосредственный.

3. Урбан, А. Р. Математические модели и методы учета сроков продукции в задаче раскроя тамбуров бумагоделательных машин / А. Р. Урбан, В. А. Кузнецов // Учен. зап. Петрозавод. гос. ун-та. Сер.: Естественные и технические науки. – 2014. – № 4 (141). – С. 112-115. – URL: http://elibrary.petrsu.ru/books/21183 (дата обращения: 01.12.2023).

4. Кузнецов, В. А. Задачи раскроя в целлюлозно-бумажной промышленности / В. А. Кузнецов. – СПб.: Изд-во СПбЛТА, 2000. – 132 с.

5. Воронин, А. В. Математические модели и методы планирования и управления предприятием ЦБП / А. В. Воронин, В. А. Кузнецов. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2000. – 256 с.

© Морошкин И. К., Ремизова И. В., 2023

УДК 004.4

ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ И ИХ СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

студент **Чолокоглы Михаил Александрович,**
науч. руководитель: младший научный сотрудник **Гуляев Алексей Игоревич,**
Томский государственный университет систем
управления и радиоэлектроники,
г. Томск, Российская Федерация

Аннотация. В работе проводится обзор четырех программных средств для восстановления удаленных файлов с цифровых носителей: «Recuva», «PhotoRec», «Stellar Data Recovery» и «EaseUS Data Recovery Wizard». В результате анализа предоставляется сравнительный анализ указанных программ, включая их производительность, скорость восстановления, поддерживаемые форматы файлов для восстановления.

Ключевые слова: восстановление информации, программа, цифровой носитель, жесткий диск, утилита, удаление информации, форматирование.

INFORMATION RECOVERY SOFTWARE TOOLS AND THEIR COMPARATIVE ANALYSIS

Student **Cholokogly Mikhail Alexandrovich,**
Academic Advisor: Junior Research Assistant **Gulyaev Alexey Igorevich,**
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics,
Tomsk, Russian Federation

Abstract. The paper reviews four software tools for recovering deleted files from digital storage media: «Recuva», «PhotoRec», «Stellar Data Recovery» and «EaseUS Data Recovery Wizard». The analysis provides a comparative assessment of these programs, including their performance, recovery speed, and supported file formats for restoration.

Keyword: information recovery, program, digital media, hard drive, utility, deleting information, formatting.

Большие объемы конфиденциальной информации пользователей хранятся в информационных системах на разнообразных накопителях. Восстановление данных стало актуальным с момента появления первых компьютеров. В настоящее время каждый из нас зависит от содержимого на своем цифровом носителе [1]. Тем не менее, часто ценные данные теряются из-за человеческого фактора, воздействия вирусов, сбоя накопителя и других факторов. Для решения этой задачи существует множество программных решений, предназначенных для восстановления утерянных, поврежденных или удаленных файлов.

Проанализируем и сравним четыре популярных программных средства для восстановления удаленных файлов с цифровых носителей: «Recuva», «PhotoRec», «Stellar Data Recovery» и «EaseUS Data Recovery Wizard». Для более точного и объективного сравнения производительности и эффективности этих программ был приобретен жесткий магнитный диск: «Western Digital Blue 1 ТБ [WD10SPZX]». На данное устройство была записана разнообразная информация, начиная от документов и изображений, заканчивая мультимедийными файлами. Общий размер занятого места на жестком диске – 8.43 ГБ, количество файлов: 22, папок: 1 (рисунок 1).

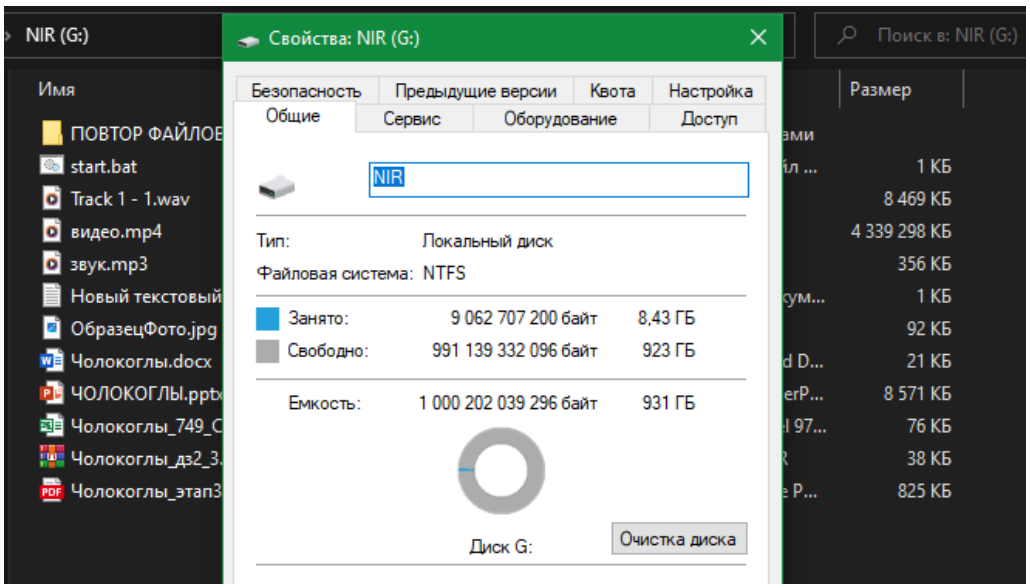


Рисунок 1. Занятое и свободное пространство на жестком диске

Результаты тестирования каждой программы на основе данного жесткого диска будут получены дважды. В первом случае, после простого удаления файлов с помощью комбинации клавиш Shift+Delete, тем самым исключая их из корзины или аналогичного хранилища в системе. Во втором случае, после полного форматирования устройства, что означает удаление всех данных с диска, включая файловую систему и структуру хранения информации. Эти два метода моделируют различные сценарии потери данных и позволяют оценить способность программ восстановления информации в различных условиях.

Многие пользователи предпочитают обращаться к бесплатным программам для восстановления данных, и одной из самых популярных среди них является «Recuva». «Recuva» является утилитой для поиска, редактирования и восстановления информации на жёстких дисках, RAID-массивах и флэш-накопителях [2].

После установки программы Recuva, переходим к тестированию её функциональности в условиях удаления файлов с жесткого диска. Этот этап эксперимента необходим для проверки эффективности инструментов данной программы восстановления данных в случае стандартного удаления файлов с носителя. После базового удаления файлов с физического носителя данных, а именно с жесткого диска откроем программу «Recuva». Для наилучшего

восстановления данных, выберем тип файлов, которые будут восстанавливаться: «Все файлы» (рисунок 2).

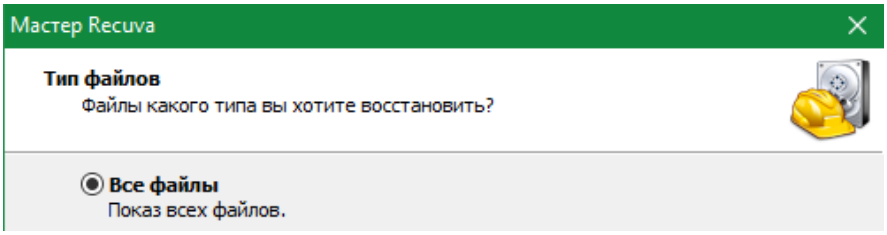


Рисунок 2. Выбор типа файлов

Это решение обеспечит более обширный и всесторонний поиск удаленных файлов. Далее предстоит указать конкретный диск, с которого мы желаем восстановить файлы. В данном случае, рассмотрим диск с меткой «G:\», который можно выбрать в интерфейсе программного обеспечения для восстановления данных (рисунок 3).

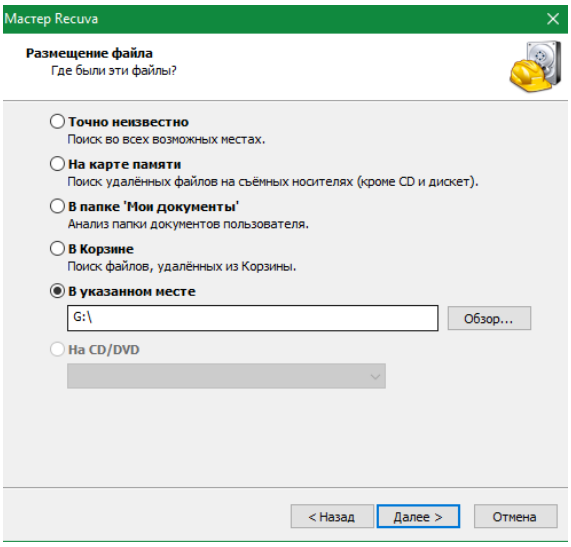


Рисунок 3. Выбор нужного жесткого диска

«Включить углебленный анализ» – эта функция предназначена для того, чтобы провести более глубокий анализ и выявить все удаленные файлы на жестком диске (рисунок 4).

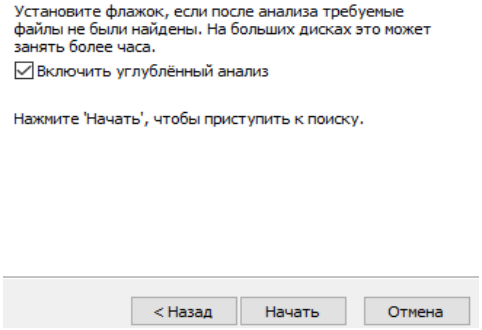


Рисунок 4. Углубленный анализ

После того как углубленный анализ включен, следующим шагом будет нажатие кнопки: «Начать». Это действие запустит процесс поиска и восстановления удаленных файлов на выбранном диске. Процесс включения углубленного анализа предоставляет более тщательное исследование диска, что повышает вероятность обнаружения дополнительных файлов, которые могли быть удалены. Как только процесс начат, программа начнет сканирование выбранного диска и выделит все доступные варианты восстановления данных.

После запуска углубленного анализа, процесс поиска удаленных файлов на выбранном диске занял 64 минуты. В этот период программное обеспечение активно сканировало содержимое диска, выявляя потенциально восстанавливаемые файлы. Представлен список файлов, которые программа обнаружила в процессе анализа (рисунок 5).

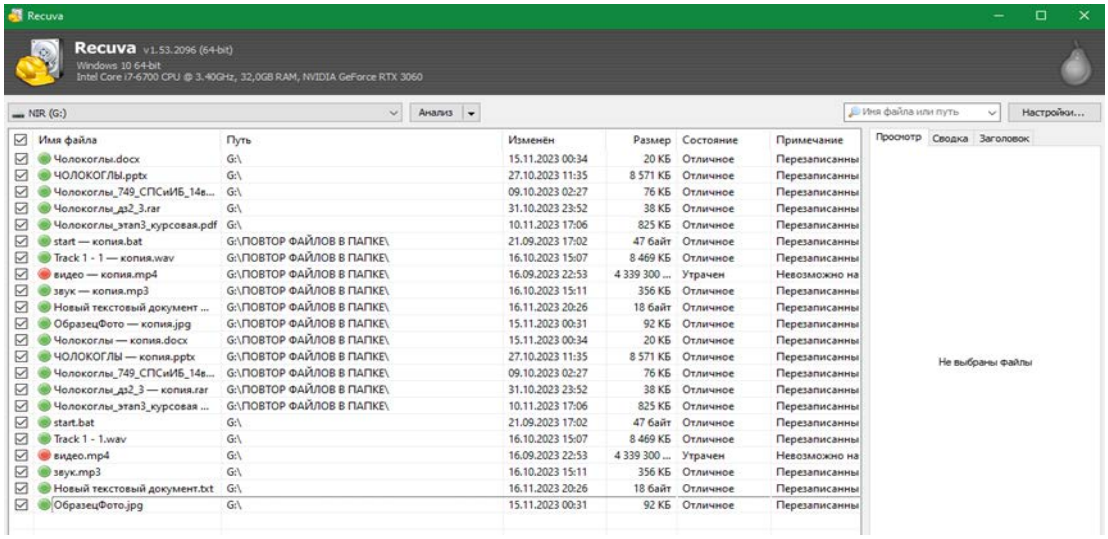


Рисунок 5. Анализ диска

Далее, чтобы восстановить файлы, выберем все необходимые файлы в списке и нажмем кнопку «Восстановить». После этого появится диалоговое окно, где необходимо указать путь, по которому будут восстановлены файлы. Выберем нужный каталог, затем подтвердим свой выбор. После простого удаления файлов и попытке восстановить их через программу «Recuva» была восстановлена информация на 36 МБ. Однако стоит отметить, что из этого объема два видео большого размера так и остались невосстановленными. Этот аспект представляет собой важную информацию, поскольку он указывает на возможные ограничения программы «Recuva» в восстановлении файлов определенного типа или размера. Несмотря на это, все остальные восстановленные файлы, за исключением упомянутых видео, оказались целыми. Это подтверждает общую успешность операции восстановления и является положительным аспектом в контексте сохранения целостности большинства удаленных файлов.

Отформатируем жесткий диск с такими же файлами, после чего выполним аналогичные шаги по восстановлению данных с использованием программы «Recuva».

Первым этапом является форматирование жесткого диска. Этот процесс стирает все данные с диска, возвращая его к начальному состоянию. После завершения форматирования запускаем программу «Recuva» и начинаем процесс поиска удаленных файлов на отформатированном диске. В этот раз на поиск удаленных файлов уходит больше времени – 114 минут. Аналогично предыдущему случаю, удается восстановить большинство файлов, за исключением двух видео большого размера.

Проанализируем еще одну бесплатную программу для восстановления удаленных файлов «PhotoRec». PhotoRec позволяет работать с жесткими дисками, компакт-дисками, различными картами памяти, устройствами, подключаемыми через USB и предназначенными для хранения информации [3].

При запуске программы необходимо выбрать, вести логгирование или нет и подтвердить выбор нажатием клавиши «Enter» [4]. В интерфейсе программы выбираем нужный диск для восстановления (рисунок 6).

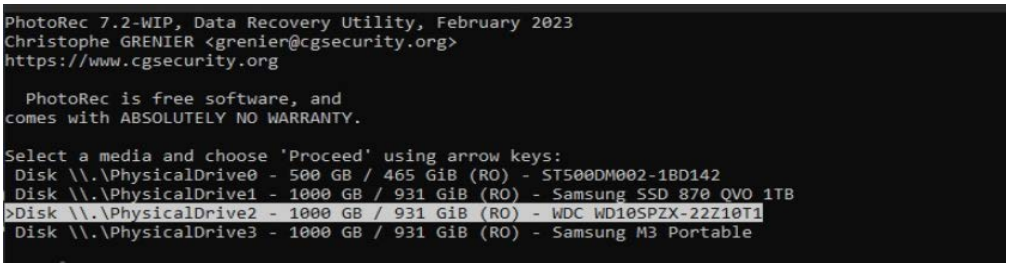


Рисунок 6. Восстановление накопителя

После выбора нужного накопителя есть возможность настроить различные опции. Например, мы можем указать типы файлов, которые необходимо искать, а также выполнить другие настройки. Далее, необходимо выбрать папку, в которую мы хотим сохранить восстановленные файлы. После этого мы нажимаем кнопку «C». Затем появится таймер, который отображает время, необходимое «PhotoRec» для восстановления удаленных файлов (рисунок 7).

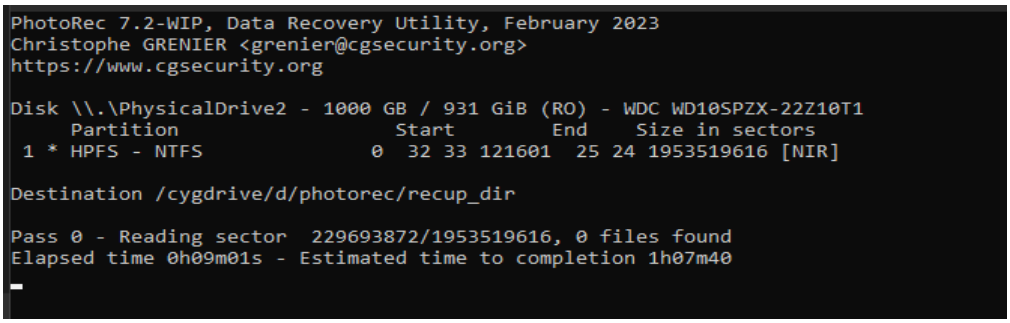


Рисунок 7. Время для восстановления файлов

После того, как процесс восстановления удаленных файлов завершился, заняв 77 минут, видим, что в папке, указанной для восстановления, были созданы еще три новые папки (рисунок 8).

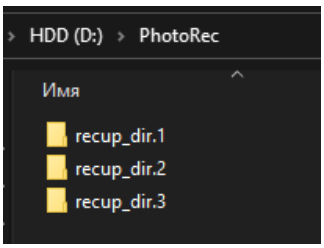


Рисунок 8. Созданные папки

Внутри папки с названием «recup_der1» находятся восстановленные удаленные фотографии. В «recup_der3» была успешно восстановлена музыка, а в «recup_der2» находятся все остальные восстановленные файлы. Важно отметить, что все восстановленные файлы оказались целыми, не поврежденными, что свидетельствует об успешном завершении процесса восстановления данных.

Повторим попытку восстановления, но на этот раз предпримем дополнительный шаг: отформатируем жесткий диск перед запуском программы «PhotoRec», выполним аналогичные действия. На восстановление файлов в этот раз ушло 138 минут. После завершения процесса восстановления были созданы аналогично три новые папки с названиями: «recup_der1», «recup_der2» и «recup_der3», а внутри них находились файлы, аналогичные тем, которые мы восстановили после простого удаления. Однако, важно отметить, что на этот раз возникла проблема – часть файлов в форматах .doc и .pdf оказались повреждены, и открыть их было невозможно. Это свидетельствует о том, что процесс форматирования жесткого диска может повлиять на целостность данных, особенно на некоторые типы файлов. Таким образом, несмотря на успешное восстановление большей части данных, некоторые файлы могли быть повреждены в результате данного процесса.

В погоне за высоким качеством и профессиональными возможностями, пользователи обращают внимание на платные решения, предполагая, что они способны справиться с восстановлением информации на более высоком уровне. Одной из таких программ, привлекающей внимание своей популярностью и функциональностью, является «Stellar Data Recovery». Для успешного функционирования программы «Stellar Data Recovery» требуется приобрести лицензионный ключ на официальном сайте, стоимость которого составляет семь тысяч рублей. После успешной активации программы пользователь получает возможность осуществлять восстановление удаленных файлов. Удалим файлы с жесткого диска и выполним их восстановление.

При запуске приложения пользователь встречается с интуитивно понятным интерфейсом, предлагающим выбрать тип файлов, подлежащих восстановлению (рисунок 9).

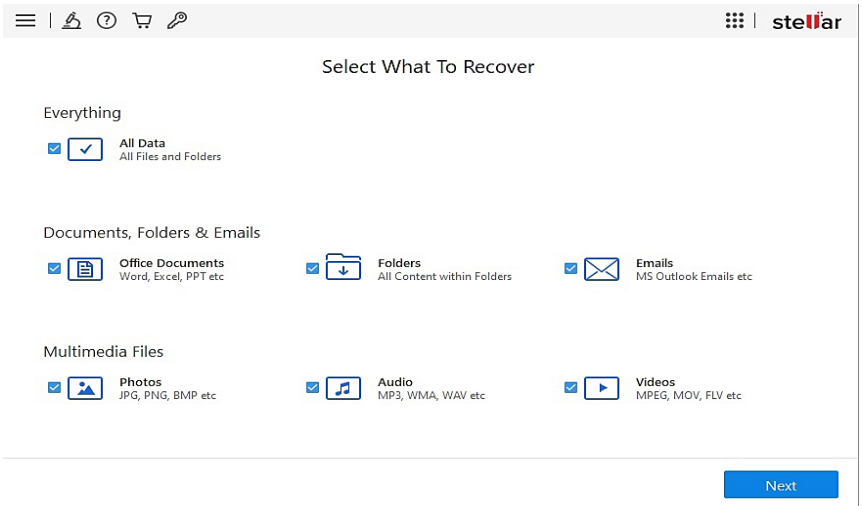


Рисунок 9. Выбор типа файлов для восстановления

Следующим шагом после выбора типа файлов является указание диска, с которого необходимо произвести восстановление данных. После этого начинается процесс сканирования удаленных файлов, требующий определенного времени. В данном случае, на восстановление всех удаленных файлов затрачено 98 минут (рисунок 10).

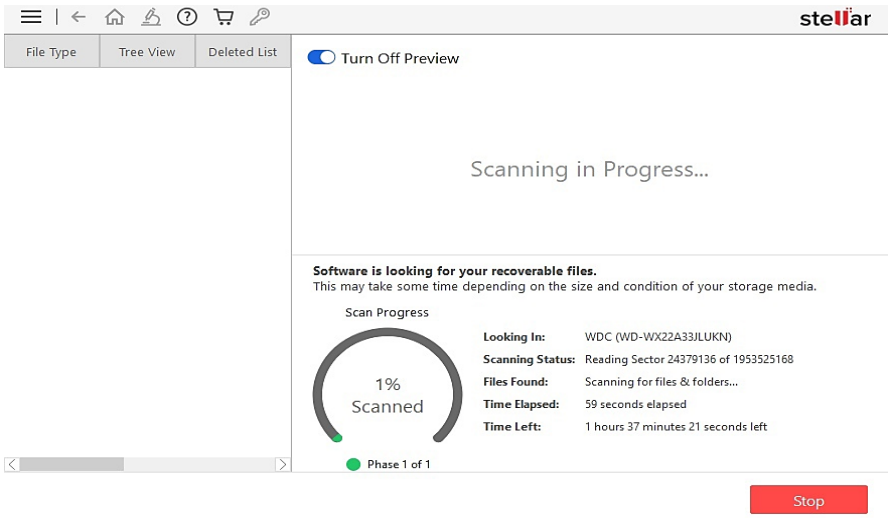


Рисунок 10. Сканирование удаленных файлов

По завершении сканирования программа «Stellar Data Recovery» отображает список файлов, подлежащих восстановлению. В данном случае программа предоставляет возможность восстановления всех файлов, а также обнаруживает большинство дополнительных системных файлов (рисунок 11).

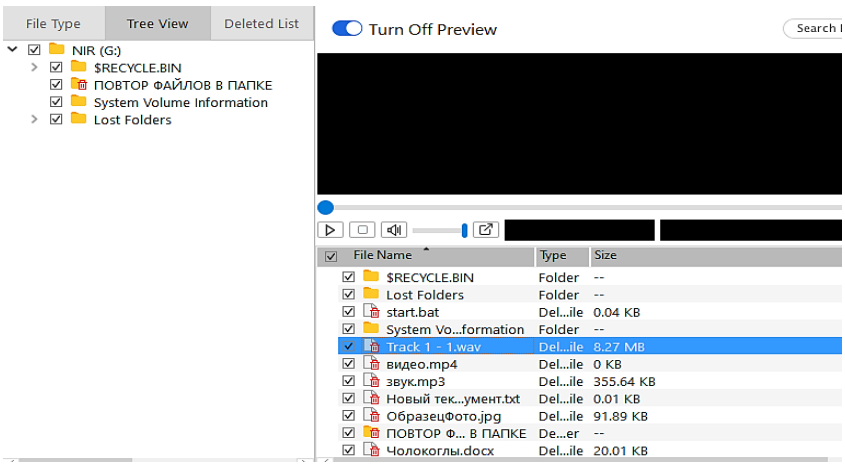


Рисунок 11. Найденные файлы

Кроме того, в интерфейсе программы предусмотрена функция просмотра файлов в режиме реального времени, а также возможность смотреть видео и прослушивать звуки.

Отформатируем жесткий диск и повторим аналогичные действия для восстановления файлов. Процесс восстановления всех файлов занимает 109 минут, и, помимо удаленных файлов, программа также предлагает восстановить системные файлы.

Таким образом, «Stellar Data Recovery» предоставляет широкие возможности не только для восстановления пользовательских данных, но и для восстановления важных системных файлов, обеспечивая полноценную функциональность при работе с утерянными или удаленными файлами.

Проанализируем еще одну платную программу для восстановления удаленных файлов «EaseUS Data Recovery Wizard», ведь она является современной программой для восстановления – это продвинутое средство, которое знакомо с логической структурой файловых систем [5]. Для успешного восстановления файлов при использовании программы «EaseUS Data Recovery Wizard» потребуется приобрести лицензионный ключ, стоимостью восемь тысяч рублей. После получения ключа и его активации проведем эксперимент по удалению файлов с жесткого диска, чтобы затем попробовать восстановить их при помощи данного программного обеспечения. Запустим программу, а также выберем соответствующий жесткий диск, с которого произведем восстановление удаленных файлов (рисунок 12).

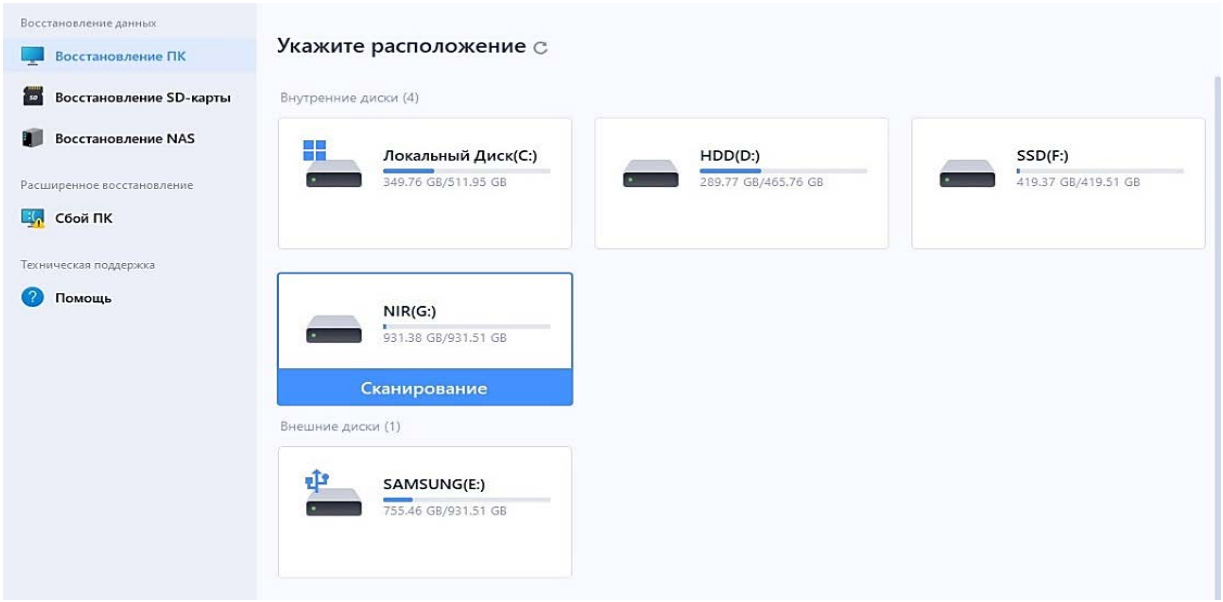


Рисунок 12. Выбор жесткого диска для восстановления

Практически мгновенно после запуска программы, она проводит сканирование и обнаруживает все файлы, которые были предварительно удалены. Кроме того, важно отметить, что «EaseUS Data Recovery Wizard» предоставляет возможность восстановления системных файлов. Заметим, что для завершения этого процесса потребовалось 58 минут. В интерфейсе программы присутствует удобная система сортировки файлов по типам, таким как изображения, видео, документы, аудио и т. д., что обеспечивает пользователям простой и эффективный способ организации и восстановления нужной информации (рисунок 13).

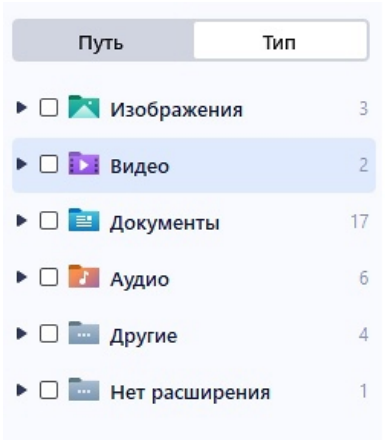


Рисунок 13. Сортировка по формату файлов

Благодаря эффективности программы удалось успешно восстановить все удаленные файлы, и все они оказались целыми. Этот результат подчеркивает высокую эффективность «EaseUS Data Recovery Wizard» в восстановлении данных.

Продолжая тестирование, после форматирования жесткого диска были выполнены аналогичные операции, как и при обычном удалении файлов. В этот раз на выполнение процесса ушло 88 минут. Все файлы были успешно

восстановлены, сохраняя свою целостность. Этот результат подчеркивает надежность программы даже в более сложных сценариях, таких как форматирование жесткого диска, что подчеркивает ее полезность и эффективность в области восстановления данных.

В данном исследовании были проанализированы четыре популярных программы для восстановления данных. Результаты тестирования и анализа работы каждой программы представлены в таблице (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительный анализ программ

Восстановление с жесткого магнитного диска				
Программа	*Простое удаление файлов*		*Форматирование устройства*	
	Время	*Качество*	*Время*	*Качество*
Recuva	1 ч. 4 мин.	Файлы целые, видео (.mp4) не были восстановлены	1 ч. 54 мин.	Файлы целые, видео (.mp4) не были восстановлены
PhotoRec	1 ч. 14 мин.	Все файлы восстановлены, целые	2 ч. 18 мин.	Все файлы восстановлены, файлы формата: .pdf, .doc повреждены
Stellar Data Recovery	1 ч. 38 мин.	Все файлы восстановлены, целые	1 ч. 49 мин.	Все файлы восстановлены, целые
EaseUS Data Recovery Wizard	58 мин.	Все файлы восстановлены, целые	1 ч. 28 мин.	Все файлы восстановлены, целые

В заключении следует отметить, что каждая из рассмотренных программ имеет свои преимущества и недостатки. «Recuva» и «PhotoRec», как бесплатные варианты, показали некоторые ограничения в восстановлении видео и повреждении файлов. В то время как «Stellar Data Recovery» и «EaseUS Data Recovery Wizard», хоть и являются платными, продемонстрировали более высокую эффективность в восстановлении данных, а также сравнительно небольшое время восстановления. При выборе программы стоит учитывать как ценовую политику, так и требования к конкретным типам файлов.

В целом, для простого пользователя, который не хочет тратить деньги на восстановление данных и ищет простоту использования, «Recuva» может быть отличным выбором. Однако стоит помнить о некоторых ограничениях, таких как возможные проблемы с восстановлением определенных форматов файлов, в частности видео в формате .mp4.

Список литературы:

1. Зайцев, Д. В. Программные средства восстановления информации и их сравнительный анализ / Д. В. Зайцев // Информационные системы и технологии в образовании, науке и бизнесе: Материалы всероссийской научно-практической конференции, Улан-Удэ, 09–10 июня 2022 года / Научный редактор А. А. Тонхоноева. – Улан-Удэ: Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова, 2022. – С. 65-73. – EDN MBPCBA.
2. Зуева, В. И. О применении программных средств для восстановления удаленных данных с USB-накопителя / В. И. Зуева // Нанотехнологии. Информация.радиотехника (НИР-23): материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции, Омск, 18 апреля 2023 года / Омский государственный технический университет. – Омск: Омский государственный технический университет, 2023. – С. 291-295. – EDN YTEOSJ.
3. Штомпель, И. Гибкие возможности. Работа с HDD и файловыми системами из консоли. Часть 2 / И. Штомпель // Системный администратор. – 2010. – № 5(90). – С. 44-50. – EDN RERKGF.
4. Тараканов, А. В. Альтернативные методы восстановления информации поврежденной вирусом-шифровальщиком / А. В. Тараканов, О. А. Тимофеев // Молодежная наука: вызовы и перспективы: Материалы I Всероссийской научно-практической конференции, Самара, 09–25 апреля 2018 года / Отв. ред. О.В. Карсунцева. – Самара: Самарский государственный технический университет, 2018. – С. 10-12. – EDN XULIZF.
5. Баринова, А. К. Анализ эффективности программ, предназначенных для восстановления компьютерной информации / А. К. Баринова // Информационные технологии в деятельности органов внутренних дел: Сборник научных статей Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 20 апреля 2023 года. – Москва: Московский университет Министерства внутренних дел Российской Федерации им. В.Я. Кикотя, 2023. – С. 40-42. – EDN PZCLOS.

© Чолокоглы М.А., 2023

УДК 621.313.1

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ С НЕЛИНЕЙНОЙ КРИВОЙ НАМАГНИЧИВАНИЯ В СРЕДЕ SIMULINK

студент **Мерзлая Дарья Михайловна,**
студент **Максимов Яков Вячеславович,**
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент
Благодарный Николай Семенович,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Двигатели постоянного тока имеют долгую историю, начиная с развития электричества в XIX веке. Ключевой вехой в их развитии стало открытие феномена электромагнитной индукции Майклом Фарадеем, что позволило создать первые примитивные двигатели. В настоящее время двигатели постоянного тока широко используются в различных отраслях, благодаря своей надежности, линейной характеристике скорости и простому управлению. В статье описаны шаги, предпринятые для выбора подходящей модели, а также проведен анализ и оценка работы двигателя. Исследование включает в себя анализ эффективности, стабильности и надежности, а также анализ энергопотребления и показателей производительности двигателя. В статье также представлены результаты и выводы, которые подкрепляют полезность выбранной модели двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением.

Ключевые слова: MatLab, двигатель постоянного тока, кривая намагничивания, напряжение, математическая модель.

BUILDING A MODEL OF A DC MOTOR WITH SERIES EXCITATION WITH NONLINEAR MAGNETIZATION CURVE IN SIMULINK ENVIRONMENT

Student **Merzlaya Daria Mikhailovna,**
Student **Maksimov Yakov Vyacheslavovich,**
Academic Advisor: PhD of Technology, Associate Professor
Blagodarny Nikolay Semenovich,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. DC motors have a long history, starting with the development of electricity in the 19th century. A key milestone in their development was the discovery of the phenomenon of electromagnetic induction by Michael Faraday, which made it

possible to create the first primitive engines. Currently, DC motors are widely used in various industries, due to their reliability, linear speed characteristics and simple operation. The article describes the steps taken to select a suitable model, as well as the analysis and evaluation of the engine performance. The study includes an analysis of efficiency, stability and reliability, as well as an analysis of energy consumption and engine performance indicators. The article also presents the results and conclusions that support the usefulness of the selected DC motor model with sequential excitation.

Keywords: MatLab, DC motor, magnetization curve, voltage, mathematical model.

Модели двигателей постоянного тока с последовательным возбуждением с нелинейной кривой намагничивания являются достаточно сложными, но они обладают рядом преимуществ, которые делают их привлекательными для определенных применений.

Магнитный поток является одним из основных параметров в двигателях постоянного тока, поскольку он создает магнитное поле, необходимое для генерации вращательного движения ротора. В двигателях постоянного тока магнитный поток образуется благодаря постоянным магнитам или обмотке с постоянным током.

Магнитный поток возникает в двигателе благодаря явлению электромагнитной индукции, которое описывается законом Фарадея. При прохождении постоянного тока через обмотку двигателя создается магнитное поле, которое проникает в ее сердечник и далее – в остальные части двигателя. Магнитный поток влияет на вращение ротора двигателя и позволяет ему генерировать механическую энергию.

Наиболее важным параметром магнитного потока является его интенсивность. Интенсивность магнитного потока определяет силу, с которой магнитное поле распространяется от источника. В двигателях постоянного тока интенсивность магнитного потока зависит от силы тока в обмотке и геометрии сердечника.

Материал обмотки в двигателях постоянного тока также играет важную роль в их работе. От материала обмотки зависит эффективность и надежность работы двигателя, а также его характеристики, такие как мощность, КПД и скорость.

Важными свойствами материала обмотки являются проводимость, прочность и теплопроводность. Высокая проводимость позволяет эффективно передавать ток через обмотку. Прочность материала обмотки важна, чтобы избежать повреждений или обрывов в проводах при высоких нагрузках или вибрациях. Отличная теплопроводность позволяет эффективно отводить нагрев от обмотки и предотвращает перегрев, что может привести к повреждению двигателя [1].

Одним из наиболее распространенных материалов, используемых для обмотки двигателей постоянного тока, является медь. Медь обладает высокой проводимостью, что позволяет передавать большие токи без большого сопротивления. Она также обладает хорошей прочностью, что делает ее

долговечным материалом для обмоток двигателя. Кроме того, медь имеет хорошую теплопроводность, эффективно отводя тепло от обмотки и позволяя двигателю работать на большой мощности без перегрева.

Однако использование меди требует дополнительных затрат, так как она дороже других материалов. Поэтому в некоторых случаях для обмотки двигателей постоянного тока могут использоваться материалы с более низкой проводимостью, такие как алюминий или его сплавы. Обмотка из алюминия может быть более легкой и более доступной с точки зрения стоимости, но имеет некоторые недостатки, такие как более высокое сопротивление. Это может приводить к потере энергии в виде тепла при передаче тока через алюминиевую обмотку.

Количество витков в обмотке также оказывает влияние на работу двигателя постоянного тока. Большее количество витков в обмотке приводит к увеличению магнитного потока и, следовательно, к увеличению момента силы и скорости вращения двигателя. Однако при увеличении количества витков возникает проблема увеличения сопротивления обмотки, что может приводить к повышенному нагреву и снижению КПД двигателя. Поэтому при выборе количества витков в обмотке необходимо учитывать требования конкретного приложения и балансировать между желаемыми мощностью и надежностью [2].

В целом, выбор материала обмотки и количества витков в двигателе постоянного тока зависит от требований к мощности, надежности, стоимости и теплоотводу. Необходимо учитывать все эти факторы при проектировании и выборе двигателя.

Плюсы двигателей постоянного тока с последовательным возбуждением с нелинейной кривой намагничивания включают:

Широкий диапазон скоростей: двигатели постоянного тока позволяют управлять скоростью вращения ротора с высокой точностью. Благодаря этому, они могут быть использованы в различных приложениях, где требуется точное контролируемое вращение, таких как механические приводы, промышленные роботы и автоматизированные системы.

Высокий момент силы: двигатели постоянного тока способны вырабатывать высокий момент силы даже при низких скоростях вращения. Это делает их эффективными в приложениях, где требуется высокая стартовая мощность, таких как промышленные лифты и эскалаторы.

Легкость управления: благодаря использованию последовательного возбуждения и нелинейной кривой намагничивания, двигатели постоянного тока обеспечивают простое и эффективное регулирование скорости и момента силы. Это позволяет точно управлять двигателем в соответствии с требованиями конкретного приложения.

Двигатели постоянного тока с последовательным возбуждением с нелинейной кривой намагничивания находят применение в разных отраслях промышленности, включая транспорт, возможность точного управления скоростью и моментом силы делает двигатели постоянного тока идеальным выбором для электроприводов в автомобилях, поездах и других транспортных средствах. Робототехника – двигатели постоянного тока широко используются в

промышленных роботах и автоматизированных системах, где требуется точное контролируемое движение. Их высокая точность, надежность и эффективность делают их идеальным выбором для таких приложений.

Основная задача данной работы – смоделировать двигатель постоянного тока с последовательным возбуждением для создания лабораторного стенда. Цель такого стенда – показать, как работает данный двигатель, как можно им управлять, и чтобы можно было наблюдать, как меняются его характеристики в зависимости от способа управления. Данный стенд будет смоделирован с помощью программы MasterSCADA и Matlab. Первоначально моделируем двигатель в Matlab для дальнейшего подключения его в программу MasterSCADA.

Для нашей работы мы использовали программу Matlab и ее инструмент Simulink для проведения исследования временных характеристик определенной системы. Мы создали модель системы в Simulink и задали входные данные и параметры. Это мощная программа для математического моделирования и анализа данных, часто используемая в научных и инженерных исследованиях. Она предоставляет широкий спектр инструментов и функций для работы с числовыми данными, построения графиков, выполнения различных вычислительных операций и разработки сложных алгоритмов [3].

Одним из наиболее популярных инструментов в Matlab является Simulink, который предоставляет среду для моделирования и симуляции динамических систем. С помощью Simulink можно удобно создавать блок-схемы, представляющие комплексные системы, и анализировать их поведение в различных условиях [4].

Двигатель постоянного тока с последовательным возбуждением (ДПТ ПВ), который изображен на рисунке 1 описывается следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} U_{\text{я}} = I_{\text{я}} \cdot R_a + L_a \cdot \frac{dI_{\text{я}}}{dt} + E_{\text{я}} \\ E_{\text{я}} = c_{\text{е}} \cdot \Phi \cdot \omega \\ M = c_{\text{м}} \cdot \Phi \cdot I_{\text{я}} \\ J \cdot \frac{d\omega}{dt} = M - M_{\text{с}} \end{cases},$$

где $U_{\text{я}}$ – напряжение на якорной обмотке двигателя;
$I_{\text{я}}$ – ток якоря;
$R_a = R_{\text{я}} + R_{\text{ов}}$ – полное сопротивление цепи ($R_{\text{я}}$ – сопротивление якоря, $R_{\text{ов}}$ – сопротивление обмотки возбуждения);
$L_a = L_{\text{я}} + L_{\text{ов}}$ – полная индуктивность якорной цепи ($L_{\text{я}}$ – индуктивность якоря, $L_{\text{ов}}$ – индуктивность обмотки возбуждения);
$E_{\text{я}}$ – электродвижущая сила (ЭДС) якоря;
Ф – поток, создаваемый обмоткой возбуждения;
ω – частота вращения вала двигателя;
M – электромагнитный момент двигателя;
$M_{\text{с}}$ – момент сопротивления движению;
$c_{\text{е}}$, $c_{\text{м}}$ – конструкторские постоянные;
J – суммарный момент инерции якоря и нагрузки, приведенный к валу двигателя.

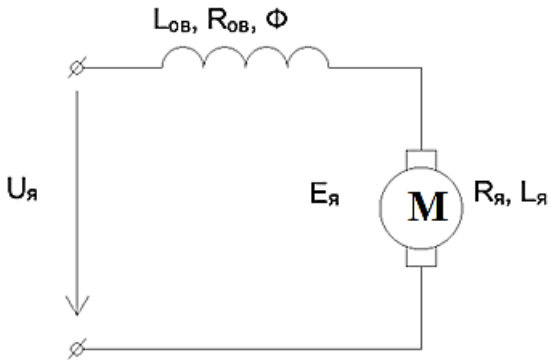


Рисунок 1. Схема ДПТ ПВ

Для создания математической модели двигателя в Matlab Simulink, необходимо преобразовать систему. Произведем замену операторов $\frac{d}{dt}$ оператором s, используя преобразование Лапласа. Теперь система уравнений принимает вид:

$$\begin{cases} U_{\text{я}} = I_{\text{я}} \cdot R_a + L_a \cdot I_{\text{я}} \cdot s + E_{\text{я}} \\ E_{\text{я}} = c_{\text{е}} \cdot \Phi \cdot \omega \\ M = c_{\text{м}} \cdot \Phi \cdot I_{\text{я}} \\ J \cdot \omega \cdot s = M - M_{\text{с}} \end{cases}.$$

Из первого уравнения выносим за скобки $I_{\text{я}}$, $E_{\text{я}}$ переносим в правую часть и выражаем ток якоря:

$$I_{\text{я}} = \frac{U_{\text{я}} - E_{\text{я}}}{R_a + L_a \cdot s},$$

$$I_{\text{я}} = (U_{\text{я}} - E_{\text{я}}) \cdot \frac{\frac{1}{R_a}}{1 + \text{T} \cdot s},$$

где $\text{T} = \frac{L_a}{R_a}$.

Аналогично проделываем с последним уравнением, выражая частоту вращения вала двигателя:

$$\omega = \frac{M - M_{\text{с}}}{J \cdot s}.$$

Затем, после выполнения симуляции, получили результаты в виде графиков, отображающих поведение системы во времени.

По полученным уравнениям можно составить математическую модель ДПТ ПВ. Однако стоит учитывать, что в нашем случае поток нелинейно связан с током якоря, поэтому при моделировании, необходимо это учитывать. Для этого используем универсальную кривую намагничивания (рисунок 2) и с помощью блока Lookup Table создаем график. Математическая модель общего вида ДПТ ПВ приведена на рисунке 3[5].

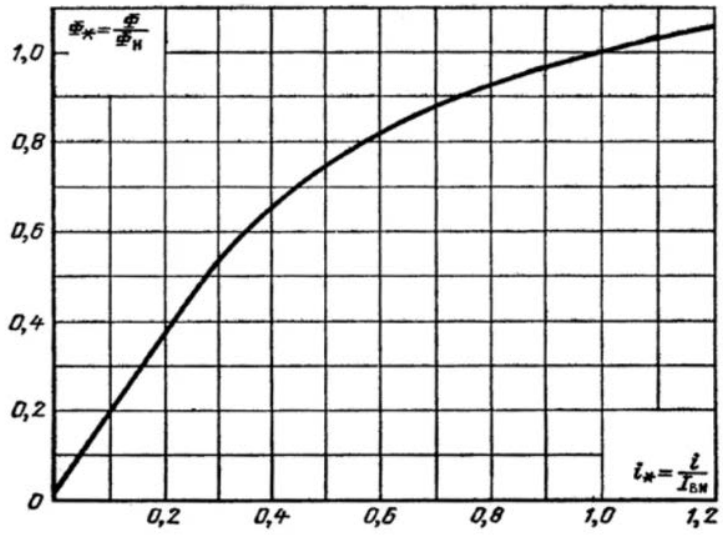


Рисунок 2. Универсальная кривая намагничивания

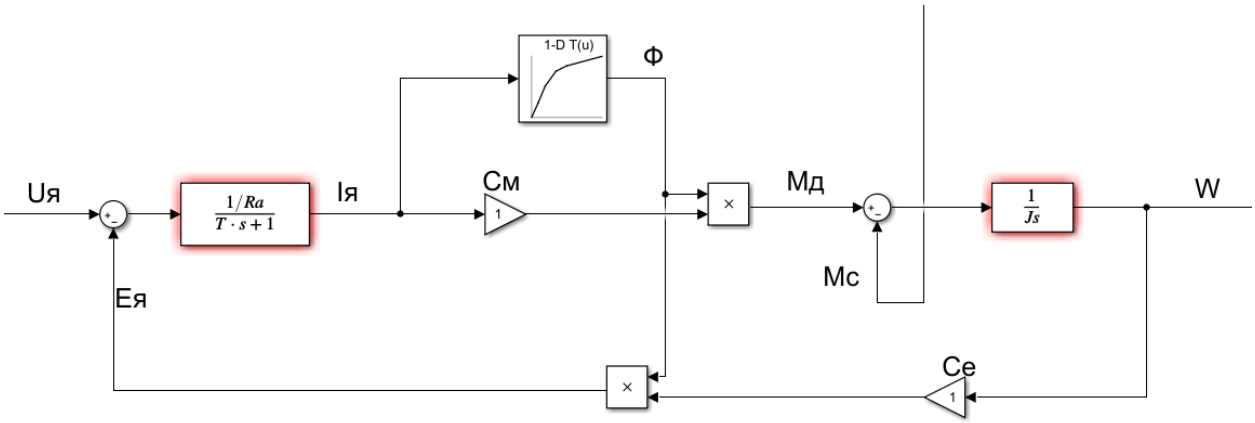


Рисунок 3. Математическая модель ДПТ ПВ

Далее был выбран двигатель ДК-309А и его данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 - данные ДК-309А

P, кВт	U, В	n, об/мин	$I_я$, А	$R_я$, Ом	$R_{ов}$, Ом	L, мГн	L_d, мГн	J, Нм
43	190	1060	260	0,02519	0,01264	2,2	3,3	1,42

Так как в паспорте двигателя известны не все данные, значит нам необходимо произвести дополнительные расчеты. А именно вычислить номинальный момент двигателя и его конструктивные постоянные [МЕТОДА].

$$c_e = \frac{(Uя - IяRя) \cdot 30}{n} = \frac{(190 - 260 \cdot 0{,}02519) \cdot 30}{1060} = 1{,}7$$

$$c_{\text{м}} = \frac{M_{\text{дн}}}{I_{\text{я}}},$$

где $M_{\text{дн}}$ – номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{дн}} = \frac{9{,}55 \cdot \text{P}}{n} = \frac{9{,}55 \cdot 43000}{1060} = 387{,}4 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

тогда

$$c_{\text{м}} = \frac{387{,}4}{260} = 1{,}5.$$

Теперь вычисляем параметры для составления уравнения, чтобы найти ток якоря:

$$R_a = R_{\text{я}} + R_{\text{ов}} = 0{,}02519 + 0{,}01264 = 0{,}03782 \text{ Ом};$$
$$L_a = L_{\text{я}} + L_{\text{ов}} = 2{,}2 + 3{,}3 = 5{,}5 \text{ мГн};$$

$$\text{T} = \frac{L_a}{R_a} = \frac{5{,}5 \cdot 0{,}001}{0{,}03782} = 0{,}146$$

После вычисления всех данных заносим параметры в математическую модель. Математическая модель двигателя ДК – 309а приведена на рисунке 4.

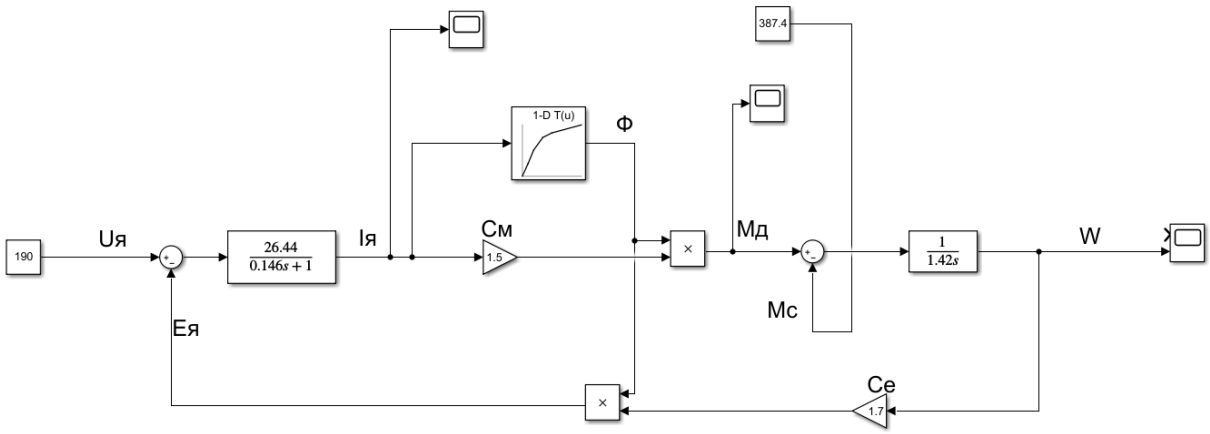


Рисунок 4. Математическая модель двигателя ДК – 309А

На рисунке 5 приведен график зависимости тока якоря от времени при пуске двигателя и номинальных значениях.

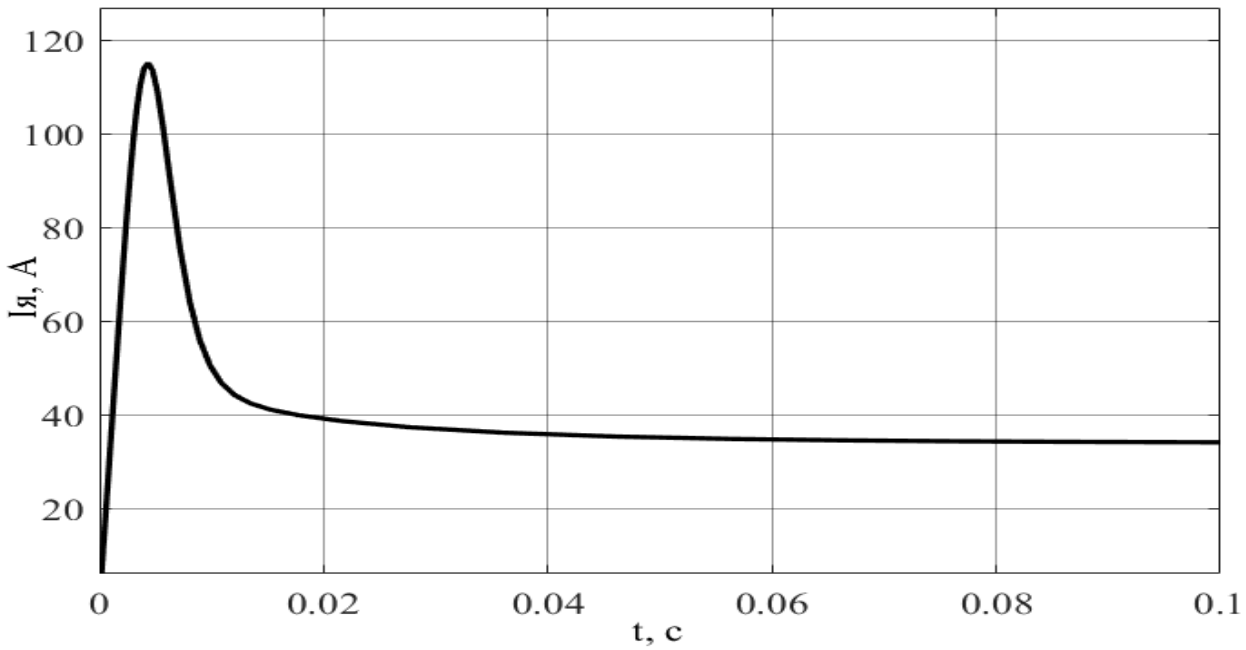


Рисунок 5. Зависимость тока якоря от времени

На рисунке 6 приведен график зависимости частоты вращения от времени.

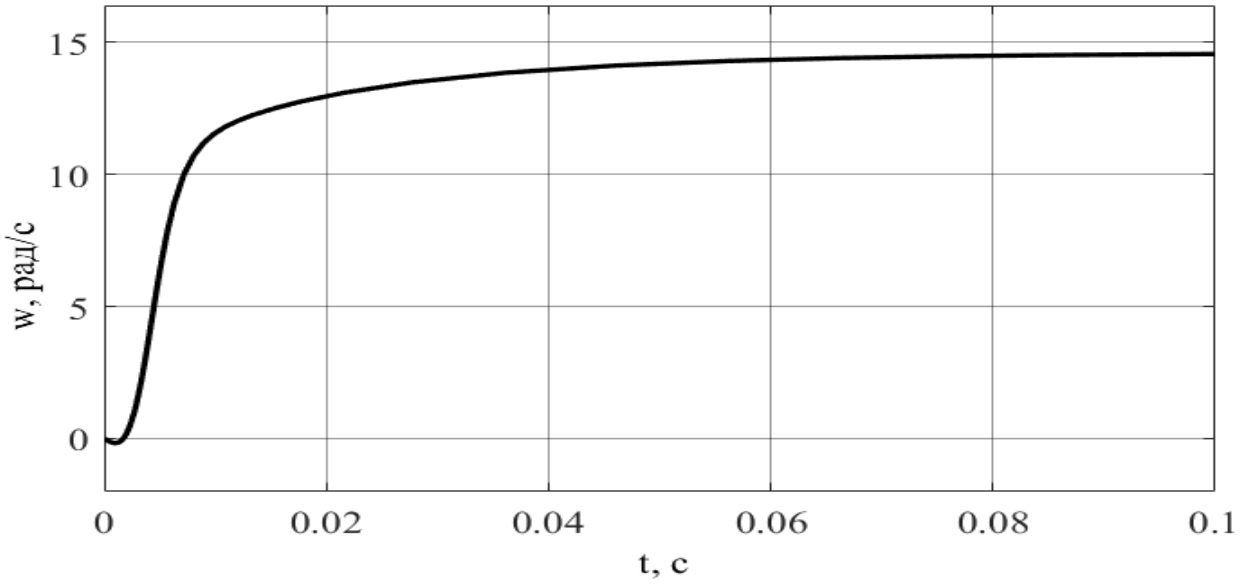


Рисунок 6. Частота вращения ДПТ ПВ

График частоты вращения двигателя показал, что в начальный момент времени частота вращения постепенно увеличивается, достигает своего максимального значения, а затем остается постоянной. Это объясняется тем, что в начальный момент времени инерция двигателя создает большое сопротивление, но по мере увеличения крутящего момента, вызываемого током якоря, сопротивление уменьшается, и двигатель достигает своей устойчивой скорости вращения.

В целом, графики тока якоря и частоты вращения двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением демонстрируют характеристики этого

типа двигателя. Они позволяют увидеть, как эти значения меняются со временем, и понять, как двигатель работает в установившемся режиме.

Благодаря собранным данным с помощью программы MATLAB мы сможем получить значимую информацию, которая будет использоваться для создания эффективного лабораторного стенда в программе MasterSCADA. Данный стенд будет представлять собой визуализированную модель управления двигателем постоянного тока с последовательным возбуждением. Такая установка будет реализована с помощью компьютера, на экране которого будет представлен двигатель и кнопки, с помощью которых и будет управляться двигатель различными способами, например, повышением напряжения. На графиках, которые будут появляться на рабочем экране, можно будет наблюдать, как меняются основные характеристики ДПТ ПВ. Это позволит нам осуществить детальное изучение работы данного двигателя и предоставить более наглядное представление о его функционировании.

Список литературы:

1. Электрический двигатель постоянного тока. – URL: https: // www.asutpp.ru/elektrodvigatel-postoyannogo-toka.html / (дата обращения: 29.10.2023).
2. Permanent Magnet DC (PMDC) Motor – Construction, Working, and Speed Control. – URL: https://www.tutorialspoint.com/permanent-magnet-dc-pmdc-motor-construction-working-and-speed-control.html/ (дата обращения: 25.10.2023).
3. Mathworks. – URL: https: // www.mathworks.com/mwaccount/ profiles/incomplete?uri=https%3A%2F%2Fwww.mathworks.com%2Flogin.html/ (дата обращения: 16.10.2023).
4. Хардиков Е. В. Теория автоматического управления. Учебно-методическое пособие по выполнению курсовой работы. – СПбГТУРП. – СПб, 2015. – 32 с.
5. Ягубов, З. Х. Частотная коррекция линейных систем автоматического управления (Элементы синтеза и курсовое проектирование) [Текст]: учеб. пособие / З. Х. Ягубов, С. В. Полетаев. – Ухта: УГТУ, 2015. – 84 с.

©Мерзлая Д. М., Максимов Я. В., 2023

УДК 519.85

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АДАПТИВНОЙ МОДЕЛИ В СИСТЕМАХ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ КОТЕЛЬНОЙ

канд. техн. наук, доцент **Ремизова Ирина Викторовна,**
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы разработки алгоритмов адаптивных методов построения математических моделей для последующей реализации в системах диспетчерского управления. Объектом для разработки моделей являются отопительные котельные установки. В основе алгоритмов получения адаптивных моделей лежат вероятностные итеративные методы.

Ключевые слова: диспетчерское управление, котельная установка, адаптивная модель, итеративный алгоритм, градиентные методы

THE POSSIBILITY OF USING AN ADAPTIVE MODEL IN BOILER ROOM CONTROL SYSTEMS

PhD in Technology, Associate Professor **Remizova Irina Viktorovna**
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. The article deals with the development of algorithms for adaptive methods of mathematical models for subsequent implementation in Supervisory control systems. The object for the development of models are heating boiler plants. The algorithms for obtaining adaptive models are based on probabilistic iterative methods.

Keywords: dispatching control, boiler plant, adaptive model, iterative algorithm, gradient methods

Вопросы об эффективной работе котельной и повышении эффективности сжигания газового топлива, а также уменьшении выбросов вредных веществ в атмосферу остаются актуальными.

Многие специалисты в области автоматизации оценивают состояние действующего оборудования отопительных и промышленных котельных как физически и морально устаревшее. Часто системы автоматики регулирования находятся в аварийном или нерабочем состоянии. Первым шагом решения проблемы автоматизации может быть усовершенствование или замена имеющегося оборудования.

Современные энергетические объекты, включающие в себя в большинстве своем котельные установки для обеспечения жилых помещений и промышленных зданий отоплением и горячим водоснабжением, медленно, но оснащаются цифровыми средствами контроля и регулирования. Контроль и регистрация показаний контрольно-измерительных приборов и автоматики на электронные носители в режиме реального времени расширяют возможности диспетчеризации.

Современные системы автоматизации и управления предполагают в основе своей использование работающих в совокупности систем диспетчерского управления и программируемых контроллеров, что обеспечивает достижение стабилизации технологических параметров оптимальным образом, позволяет повысить надежность АСУ ТП, увеличить экономию энергоресурсов и понизить влияние человеческого фактора.

Реализация систем управления с помощью программируемых контроллеров и SCADA-систем с учетом постоянного развития и модернизации средств вычислительной техники должна соответствовать следующим требованиям:

– возможность широко варьировать число и вид управляющих и информационных сигналов,

– реализуемость различных законов управления на базе единых технических средств,

– учет тенденций развития современной аппаратно-программной техники, определяемой характером управляемого технологического процесса.

Задачи проектирования новых систем управления и автоматизации все более усложняется. Это связано с повышением уровня интеграции, предъявляемым требованиям к унификации средств измерения и управления, а также к появлению и разработке все новых алгоритмов и методов управления. Появляются новые модели и методы, претерпевают изменения старые. Разработки и методики, ранее не имевшие возможности быть реализованными и представленные только теоретическими выкладками, сейчас могут быть воплощены в жизнь.

То же относится и к задачам, решаемым SCADA-системами – с развитием технологий, претерпевают изменения требования к программному обеспечению. При условии наличия одинаковой среды реализации появляется возможность выполнения алгоритмов, охватывающих одновременно сервера SCADA и контроллеры. Посредством специализированного программного обеспечения SCADA-систем, реализующих диспетчерское управление и сбор данных, может быть полностью реализован проект под конкретный объект отопительной и промышленной котельной. SCADA-система может иметь узко направленный принцип действия и вид деятельности, охватывая поддержание работы только котельной установки, а может быть универсальной и использоваться как основа для разработки проекта сложного АСУ ТП. Шаг вперед в проектировании SCADA систем по направлению децентрализации стал возможным благодаря развитию сетей, коммуникаций и повышению безопасности передачи данных через интернет [1].

В последнее время при разработке модулей для систем диспетчерского управления и сбора данных широкое распространение получает возможность использования алгоритмов адаптивных методов построения математических моделей объектов [2]. Основное достоинство адаптивных методов – учет изменения характеристик рассматриваемого технологического процесса и возможность приспосабливаться к этим изменениям.

Использование адаптивных методов дает возможность непрерывного уточнения модели по мере поступления новой информации об объекте, что позволяет следить за изменяющимися характеристиками нестационарных объектов, учитывая сравнительно малый объем априорной информации.

Развитие теории адаптивного управления вызвано все увеличивающимся количеством сложных объектов управления различной физической природы, параметры которых не определены. Причиной этой неопределенности могут являться множество режимов работы объекта либо невозможность экспериментального исследования этих режимов с целью определения параметров без нарушения технологического процесса, либо, как вариант, сжатые сроки проектирования, не допускающие временных затрат на исследования и расчеты для определения параметров модели объекта.

В котельных большинство видов основного энергетического оборудования характеризуются нестационарностью характеристик. Это происходит из-за износа и старения деталей оборудования. Сюда можно отнести изношенность труб и гарнитуры котлов, течь фланцев в экономайзерах, появление с течением времени внутренних отложений в котельных агрегатах, а также влияние многих иных факторов. Эти причины приводят к тому, что полученные на основании обработки экспериментальных данных и регрессионных моделей, а также методов планирования эксперимента будут точны только в ближайший временной диапазон от получения этих моделей. С учетом проходящего времени точность получаемых моделей будет снижаться. Использование адаптивных методов позволит повысить точность математического описания.

В основе алгоритмов получения адаптивных моделей лежат вероятностные итеративные методы минимизации функции многих переменных, представленной вектором $x = (x_1, x_2, \dots, x_N)$

$$F(x) = M|S(x)|,$$

где $S(x)$ представляет собой случайную функцию, о свойствах которой отсутствует априорная информация, либо функция имеет такой сложный вид, что получение математического ожидания данной функции $M|S(x)|$ в явном виде невозможно.

В тех случаях, когда функция $F(x)$ задана в явном виде, задачу минимизации можно решить, используя различные итеративные методы [3]. При этом итеративная процедура будет иметь вид

$$x_i = x_{i-1} - \propto_i \nabla F(x_{i-1}), \quad (1)$$

где

$$\nabla F(x) = \left(\frac{dF(x)}{dx_1}, \frac{dF(x)}{dx_2}, \dots, \frac{dF(x)}{dx_N}, \right)$$

градиент $F(x)$.

Итеративная процедура построения адаптивной модели начинается с предварительно полученного начального приближения x_0. Исходя из точки x_0, при выполнении некоторых условий, обеспечивающих сходимость итеративной процедуры, при числе итераций $n \to \infty$, стремящихся к бесконечности, последовательное приближение итеративной процедуры (1) позволит получить, с некоторой наперед заданной точностью, значение $x = x^*$, при котором $F(x^*)$ достигает экстремального значения.

В ситуации, когда явное выражение функции $F(x)$ не задано, а получены лишь частные реализации случайной функции $S(x)$, итеративным алгоритмом воспользоваться не представляется возможным, т. к. в этом случае не могут быть получены значения градиента $\nabla F(x)$. Однако, если на основании значений функции $S(x)$ получить реализации градиента этой функции $\nabla_x S(x)$ с учетом наличия вероятностной связи с $\nabla F(x)$, тогда в итеративном методе, построенном на использовании итеративной процедуры (2), можно произвести замену градиента $\nabla F(x)$ реализациями градиента функции $\nabla_x S(x)$. После замены алгоритм будет выглядеть следующим образом:

$$x_i = x_{i-1} - \propto_i \nabla_x S(x_{i-1}), \qquad (2)$$

Так как $\nabla_x S(x_{i-1})$ – градиент частных реализаций случайной функции, то и векторы x_i являются случайными. Следовательно, для определения сходимости надо использовать вероятностные подходы. В теории вероятности существуют различные понятия сходимости. Понятнее и проще оценивать и использовать среднеквадратическое значение сходимости, при котором

$$\lim_{i \to \infty} M|(x_i - x^*)^2| = 0.$$

Значения градиента $\nabla_x S(x)$ являются случайными, и поэтому даже в точке максимального приближения к экстремуму могут быть не равны нулю. Если точность решения задачи является недостаточной, необходимо уменьшать шаг $\propto_i$при увеличении числа итераций n.

Одним из достоинств рассмотренного алгоритма является высокая помехоустойчивость. Уменьшение на некоторой итерации величины шага приводит к подавлению шумов. Сходимость к точке x^* сохраняется.

Если характеристики объекта изменяются во времени, то есть $x^* = x^*(t)$, то сходимость к x^* может не сохраниться, потому как x^* уже не будет фиксированным значением, к которому и осуществляется приближение. Такая ситуация и будет возникать при математическом описании водогрейных и паровых котельных установок. И тогда можно лишь говорить об отслеживании изменяющегося значения $x^*(t)$.

Если $x^*(t)$ будет изменяться достаточно медленно, относительно поступления новой информации в адаптивную модель, модель сможет обеспечить высокую скорость отслеживания. Если же характеристики объекта будут изменяться настолько быстро, что модель не сможет реагировать на такие изменения, то стоит рассматривать колебания изменения $x^*(t)$ как шумы.

Практическое приложение данного адаптивного алгоритма может быть применено и реализовано с использованием промышленных компьютерных

систем, а также специального программного обеспечения, направленного на помощь оперативному персоналу котельной. Реализация рассмотренной адаптивной модели с помощью современных SCADA-систем позволит повысить эффективность в управлении производственных и отопительных котельных установок. Существующие программные пакеты возможно оснастить дополнительными функциями по выработке экспертных заключений, самостоятельной адаптации при изменении в структуре котельной, а также в нештатных ситуациях.

Использование адаптивных методов представляет альтернативу классическим методам идентификации динамических объектов. Использование рассмотренного адаптивного алгоритма позволит автоматически осуществлять настройку контуров регулирования рассматриваемого типа промышленных объектов управления с учетом появляющихся в системе различного вида и типа запаздываний.

В SCADA-системе осуществляется непрерывный контроль текущих значений возмущающих воздействий и при отклонении возмущающих воздействий от номинальных значений на верхнем уровне с помощью персонального компьютера оперативно будет реализован представленный адаптивный алгоритм [4].

Использование при реализации систем диспетчерского управления методов адаптивного регулирования позволяет получить SCADA-системе следующие возможности:

– сокращение времени настройки контуров регулирования и некоторое снижение требований к квалификации обслуживающего персонала;

– гарантия наилучшего качества управления в любой момент времени для широкого класса автоматизируемых объектов промышленной энергетики;

– обеспечение непрерывного процесса подстройки параметров регулятора под изменяющиеся динамические свойства объекта управления;

– увеличение ресурса работы исполнительных механизмов за счет использования адаптивных методов регулирования.

Как показывает практика, адаптивные регуляторы позволяют экономить до 15 % сырья и энергоресурсов по сравнению с ручным управлением или порядка 5 % по сравнению с неоптимально настроенным классическим ПИД регулятором. Кроме того, применение адаптивного регулирования ведет к сокращению сроков и стоимости пуско-наладочных работ [5].

Наличие в рамках системы диспетчерского управления модуля адаптивного регулирования с вышеописанным алгоритмом существенно уменьшит проблему по содержанию большого количества обслуживающего персонала и сведет вероятность отказов оборудования к минимуму.

Список литературы:

1. Акимцев А. В. Адаптивные централизованные системы управления с использованием SCADA-систем. Самарский ГТУ. URL: https://s.eduherald.ru/pdf/2022/1/20836.pdf (дата обращения: 01.12.2023).

2. Бобцов, А. А. Методы адаптивного и робастного управления нелинейными объектами в приборостроении / А. А. Бобцов, В. О. Никифоров, А. А. Пыркин, О. В. Слита, А. В. Ушаков: учебное пособие для высших учебных заведений. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 277 с.: ил. 65.
3. Методы оптимизации: пособие/ Р. Габасов [и др.]. – Минск: Четыре четверти, 2011. – 472 с.: ил.
4. Адаптивное регулирование в SCADA TRACE MODE 6: сайт. URL: http://www.adastra.ru/products/overview/adaptive (дата обращения: 01.12.2023).
5. Акулинин, Е. И. Автоматизация процесса адсорбционного разделения газовой смеси и получения водорода / Е. И. Акулинин, А. А. Ишин, С. А. Скворцов, Д. С. Дворецкий, С. И. Дворецкий // Автоматизация. Современные технологии. – 2018. –Том 72. – № 4. – С. 150-155.

© Ремизова И. В., 2023

УДК 519.87

ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОМАССОПЕРЕДАЧИ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ КОМПОЗИТАХ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ В ФАЗЕ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

доктор техн. наук, доцент **Акимов Алексей Иванович,**
Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина,
г. Оренбург, Российская Федерация

Аннотация. В статье исследована тепломассопередача в многокомпонентных композитах в системах управления производственными процессами в фазе полимеризации композиционных конструкций, где подразумевается идеальный контакт между составляющими. Предполагая, что тепломассопередача многокомпонентного композита происходит в лучевых направлениях, где подразумевается идеальный контакт между составляющими и температура параллельных компонентов двух слоев индифферентна. Используем интерполирование и приближённое вычисление функций. Исследуем температурный этап как пространственное «трехточечное уравнение». Анализ происходит с помощью метода «прогонки». Исследование анализа по лучевой схеме. Определяются зоны жидкой и твердой среды.

Ключевые слова: многокомпонентные композиты, система управления производственными процессами, процесс «полимеризации», математическая модель, изображение «по Ханкелю», оригинал «по Ханкелю», весовая функция.

RESEARCH OF HEAT AND MASS TRANSFER IN MULTI-COMPONENT COMPOSITES IN PRODUCTION PROCESS CONTROL SYSTEMS IN THE POLYMERIZATION PHASE OF COMPOSITE

Doctor of Technology, Associate Professor,
Akimov Alexey Ivanovich,
Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU),
Orenburg, Russian Federation

Abstract. The article examines heat and mass transfer in multicomponent composites in production process control systems in the polymerization phase of composite structures, where ideal contact between the components is assumed. Assuming that heat and mass transfer of a multicomponent composite occurs in ray directions, where ideal contact between the components is assumed and the temperature of the parallel components of the two layers is indifferent. We use interpolation and approximate calculation of functions. Let us study the temperature stage as a spatial «three-point equation». The analysis occurs using the «sweep» method. Study of beamline analysis. Zones of liquid and solid media are determined.

Keywords: multicomponent composites, production process control system, «polymerization» process, mathematical model, Hankel image, Hankel original, weight function.

В статье исследована тепломассопередача в многокомпонентных композитах в системах управления производственными процессами в фазе полимеризации композиционных конструкций, где подразумевается идеальный контакт между составляющими. Предполагая, что тепломассопередача многокомпонентного композита происходит в лучевых направлениях, где подразумевается идеальный контакт между составляющими и температура параллельных компонентов двух слоев индифферентна. Используем интерполирование и приближённое вычисление функций. Исследуем температурный этап как пространственное «трехточечное уравнение». Анализ происходит с помощью метода «прогонки». Исследование анализа по лучевой схеме. Определяются зоны жидкой и твердой среды.

Определим математическую модель проблемы «теплообмена и массообмена» [1]:

$$\frac{\partial U_k(r_k,\tau)}{\partial \tau} = a_k^2\left(\frac{\partial^2 U_k(r_k,\tau)}{\partial {r_k}^2} + \frac{1}{r_k}\frac{\partial U_k(r_k,\tau)}{\partial r_k}\right) + W_k(r_k,\tau), \qquad (1)$$

$$\tau > 0, R_{k-1} \le r_k \le R_k, (k = 1,2,\ldots,N),$$

Переменный температурный параметр $W_k(r_k,\tau) = \frac{q_v(r_k,\tau)}{c\cdot\rho}$,

$$U_k(r_k,0) = \varphi_k(r_k) \qquad (2)$$

ГУ: $r = R_0$

$$\lambda_1 \frac{\partial U_1(R_0,\tau)}{\partial r_1} - \alpha_1\left[U_1(R_0,\tau) - U_{c1}\right] = 0 \qquad (3)$$

$r = R_N$

$$\lambda_N \frac{\partial U_N(R_N,\tau)}{\partial r_N} + \alpha_N\left[U_N(R_N,\tau) - U_{cN}\right] = 0, \qquad (4)$$

УС:

$$U_k(R_k,\tau) = U_{k+1}(R_k,\tau),\ \lambda_k \frac{\partial U_k(R_k,\tau)}{\partial r_k} = \lambda_{k+1}\frac{\partial U_{k+1}(R_k,\tau)}{\partial r_{k+1}}\ . \qquad (5)$$

Параметры найдем в виде замещения [2]

$$U_k(r_k,\tau) = \psi_k(r_k) + T_k(r_k,\tau),\ \text{где}\ T_k(r_k,\tau) = U_k(r_k,\tau) - \psi_k(r_k) \qquad (6)$$

$\psi_k(r_k)$– параметр с однородными ГУ;

$$\frac{d^2\psi_k(r_k)}{dr_k^2}+\frac{1}{r_k}\frac{d\psi_k(r_k)}{dr_k}=0,\ R_{k-1}\le r_k\le R_k, k=1,2,\ldots,N \tag{7}$$

$$\lambda_1\frac{\partial\psi_1(R_0)}{\partial r_1}-\alpha_1[\psi_1(R_0)-U_{c1}]=0 \tag{8}$$

$$\lambda_N\frac{\partial\psi_N(R_N)}{\partial r_N}+\alpha_N[\psi_N(R_N)-U_{cN}]=0 \tag{9}$$

УС:

$$\psi_k(R_k)=\psi_{k+1}(R_k) \tag{10}$$

$$\lambda_k\frac{\partial\psi_k(R_k)}{\partial r_k}=\lambda_{k+1}\frac{\partial\psi_{k+1}(R_k)}{\partial r_{k+1}} \tag{11}$$

Придем к решению вида[3]:

$$\psi_k(r_k)=C_k+D_k\ln(r_k), k=1,2,\ldots,n. \tag{12}$$

$$D_1=\frac{U_{c1}-U_{cN}}{\ln(R_0)-\frac{\lambda_1}{R_0\alpha_1}-\frac{\lambda_1}{\lambda_N}\left(\ln(R_0)+\frac{\lambda_N}{R_N\alpha_N}\right)+\lambda_1\sum_{k=1}^{n-1}\ln(R_k)\left(\frac{1}{\lambda_{k+1}}-\frac{1}{\lambda_k}\right)} \tag{13}$$

,

$$C_1=U_{c1}-D_1\left(\ln(R_0)-\frac{\lambda_1}{R_0\alpha_1}\right), \tag{14}$$

$$D_{k+1}=\frac{\lambda_1}{\lambda_{k+1}}=D_1 \tag{15}$$

$$C_{k+1}=C_k+D_1\ln(R_k)\left(1-\frac{\lambda_k}{\lambda_{k+1}}\right). \tag{16}$$

При $T_k(r_k,\tau)$ будем иметь нелинейное уравнение с однородными ГУ [4]

$$\frac{\partial T_k(r_k,\tau)}{\partial\tau}=a_k^2\left(\frac{\partial^2 T_k(r_k,\tau)}{\partial {r_k}^2}+\frac{1}{r_k}\frac{\partial T_k(r_k,\tau)}{\partial r_k}\right)+W_k(r_k,\tau), \tag{17}$$

$$R_{k-1}\le r_k\le R_k,\ \tau>0,\ k=1,2,\ldots,N$$

НУ:

$$T_k(r_k,0)=\varphi_k(r_k)-\psi_k(r_k) \tag{18}$$

ГУ:

$$\lambda_1\frac{\partial T_1(R_0,\tau)}{\partial r_1}-\alpha_1 T_1(R_0,\tau)=0 \tag{19}$$

$$\lambda_N\frac{\partial T_N(R_N,\tau)}{\partial r_N}+\alpha_N T_N(R_N,\tau)=0; \tag{20}$$

УС:

$$T_k(R_k,\tau)=T_{k+1}(R_k,\tau), \tag{21}$$

$$\lambda_k\frac{\partial T_k(R_k,\tau)}{\partial r_k}=\lambda_{k+1}\frac{\partial T_{k+1}(R_k,\tau)}{\partial r_{k+1}}. \tag{22}$$

При решении (17-22) будем иметь:

$\overline{T_k(\mu_k,\tau)}=\int_{R_k}^{R_{k-1}} r_k T_k(r_k,\tau)M_k(\mu_n,t)dr_k$ – параметр «изображение по Ханкелю»;

$T_k(r_k,\tau)=\sum_{k=1}^{\infty}\frac{M_k(\mu_n,r_k)}{\|M_k\|^2}\overline{T_k(\mu_n,\tau)}$ – параметр «оригинал по Ханкелю»;

$\rho(r_k)=r_k$ – весовой параметр как функция в ЦСК;

$$M_k(\mu_n,r_k)=J_0\left(\frac{\mu_n}{R_k}r_k\right)Y_0(\mu_k)-J_0(\mu_n)Y_0\left(\frac{\mu_n}{R_k}r_k\right)$$

$$\|M_k\|^2=\frac{2R_k^2\left[J_0^2(\mu_n)-J_0^2\left(\mu_n\frac{R_{k+1}}{R_k}\right)\right]}{\pi^2\mu_n^2J_0^2\left(\mu_n\frac{R_{k+1}}{R_k}\right)}-$$

Характеристическое уравнение имеет вид:

$$J_0(\mu)Y_0\left(\mu\frac{R_{k+1}}{R_k}\right)-Y_0(\mu)J_0\left(\mu\frac{R_{k+1}}{R_k}\right)=0,$$

$\mu_n > 0$

Исследуя (17-22) придем к вид (23):

$$T_k(r_k,\tau)=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{M\left(\frac{\mu_n}{a_k}r_k\right)}{\sum_{k=1}^{N}\left\|M_k\left(\frac{\mu_n}{a_k}r_k\right)\right\|^2}\cdot\left\{\left[\sum_{k=1}^{N}\frac{\lambda_k}{a^2{}_k}\int_{R_k}^{R_{k-1}}r_k\left(\varphi_k(r_k)-\psi_k(r_k)\right)M\left(\frac{\mu_n}{a_k}r_k\right)dr_k-P\right]e^{-\mu_n^2\tau}+P\right\} \quad (23)$$

$$\psi_k(r_k)=C_k+D_k\ln(r_k),$$

$$P=\frac{1}{\mu_n^2}\sum_{k=1}^{N}\frac{\lambda_k}{a_k^2}W_k(r_k,\tau)\int_{R_k}^{R_{k-1}}r_k M\left(\frac{\mu_n}{a_k}r_k\right)dr_k\ .$$

Будет исследована тепломассопередача в многокомпонентных композитах в системах управления производственными процессами в фазе полимеризации композиционных конструкций, где подразумевается идеальный контакт между составляющими [5].

$$U_k(r_k,\tau)=C_k+D_k\ln(r_k)+\sum_{n=1}^{\infty}\frac{M\left(\frac{\mu_n}{a_k}r_k\right)}{\sum_{k=1}^{N}\left\|M_k\left(\frac{\mu_n}{a_k}r_k\right)\right\|^2}\times$$

$$\times\left\{\left[\sum_{k=1}^{N}\frac{\lambda_k}{a^2{}_k}\int_{R_k}^{R_{k-1}}r_k\left(\varphi_k(r_k)-C_k-D_k\ln(r_k)\right)M\left(\frac{\mu_n}{a_k}r_k\right)dr_k-P\right]e^{-\mu_n^2\tau}+P\right\}. \quad (24)$$

Список литературы:

1. Акимов, А. И. Исследование теплопередачи в многослойных цилиндрических изделиях на первом этапе производства композиционных / И. А. Акимов, А. И. Акимов, Е. О. Каракулина // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – № 2. – С. 68-72.

2. Акимов А. И. Применение метода изотермических поверхностей для решения задач тепломассообмена в многослойных конструкциях с изменяющимся агрегатным состоянием материалов // Образовательная среда сегодня и завтра: VIII Междунар. науч.-практ. конф. – М.: Изд. НОУ ВО Моск. техн. ин-т, 2013. – С. 312-314.

3. Акимов, А. И. Матричный метод решения комплексированных задач теплообмена, массообмена и термонапряжений в многослойных конструкциях с фазовыми переходами / А. И. Акимов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – № 3. – С. 60-63.

4. Акимов, А. И. Решения задачи массообмена на втором этапе полимеризации производства композиционных материалов в установках автоматического ведения технологического процесса аналитическим методом / А. И. Акимов, В. Н. Елисеев // Инженерная физика. – 2022. – № 6. – С. 3-6.
5. Акимов, А. И. Исследования теплопередачи в многослойных цилиндрических изделиях в установках Шольца на этапе нагрева композиционных материалов / А. И. Акимов, В. Н. Елисеев // Инженерная физика. – 2022. – № 8. – С. 31-34.

© Акимов А. И., 2023

УДК 621.352

АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ КОРАБЕЛЬНЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК НА ОРГАНИЧЕСКОМ ТОПЛИВЕ

аспирант **Морозов Никита Александрович,**
магистрант **Родоманова Кристина Сергеевна,**
науч. руководитель: канд. техн. наук, профессор
Калмук Александр Савельевич,
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В данной статье проводится оценочный анализ международных и отечественных требований по обеспечению экологической безопасности кораблей и судов, рассмотрены разные нормы, требования и стандарты, приведены нормирования величин вредных выбросов от установок, представлены параметры по токсичности и дымности дизелей.

Ключевые слова: энергетическая установка, выбросы, источник загрязнения, дизель, экологичность.

ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS OF OPERATING FOSSIL FUEL SHIP POWER UNITS

Postgraduate Student **Morozov Nikita Aleksandrovich,**
Master Student **Rodomanova Kristina Sergeevna,**
Academic Advisor: PhD in Technology, Professor
Kalmuk Alexander Savelyevich,
Saint-Petersburg State Marine Technical University,
Saint-Petersburg, Russian Federation

Abstract. This article analyzes international and domestic requirements to ensure environmental safety of ships and vessels, considers different norms, requirements and standards, provides norms of harmful emissions from plants, presents parameters on toxicity and smoke of diesel engines.

Keywords: power plant, emissions, pollution source, diesel, environmental friendliness.

В настоящее время в ВМФ используются дизельные, газотурбинные и котлотурбинные энергетические установки. Нормы выбросов вредных веществ с обработавших газах (ОГ) и методы их определения из используемых энергетических установок регламентирует ГОСТ 24585-81 г., предельно-допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны устанавливают ГОСТ В 23416-79 г., ГОСТ В 23186-78 г., ГОСТ В 23185-78 г., ГОСТ В 21118-75 г., ГОСТ В 21116-75 г., ГОСТ В 25233-82 г.

В таблице 1 приводится сравнительная оценка требований нормативных документов, отечественных и международных, по обеспечению экологической безопасности дизельных двигателей.

Таблица 1 – Требования нормативных документов по обеспечению экологической безопасности дизелей

Нормативный документ	Параметр	Токсичные компоненты, г/кВт·ч, (г/л.с.·ч)		
		CO	C_nH_m	NO_x
ОСТ 37.001.234-81	Норматив	9,5 (7,0)	3,4 (2,5)	18,35 (13,5)
Правила № 49 ЕЭК ООН	Норматив	14 (10,3)	3,5 (2,57)	18 (13,25)
EPA (1994 г.)	Норматив	21,0 (15,6)	1,8 (1,4)	6,8 (5,1)
EURO – 1	Норматив	4,5 (3,4)	1,1 (0,8)	8,0 (6,0)
EURO – 2	Норматив	4,0 (3,0)	1,1 (0,8)	7,0 (5,2)
EURO – 3	Норматив	2,0 (1,5)	0,6 (0,45)	5,0 (3,7)
Проект ГОСТ	Норматив	11,2 (8,2)	2,4 (1,8)	14,4 (10,6)
Перспективные требования на разработку «экологически чистого» двигателя по Правилам № 49 ЕЭК ООН	-	4,9 (3,6)	1,2 (0,88)	5 (3,67)

В Правилах ПОПС-90 одним из основных источников загрязнения атмосферного воздуха в ВМФ названы корабельные и судовые энергетические установки. В этих же Правилах установлено, что все транспортные, корабельные и судовые энергетические установки, находящиеся в эксплуатации, должны подвергаться контролю за соблюдением нормативов предельно допустимых выбросов (ПДВ) загрязняющих веществ.

Требование к параметрам выброса в атмосферу вредных веществ от объектов ВМФ сформулировано в ст. 437 Правил ПОПС-90. В ней указано, что «выброс вредных веществ в атмосферу в концентрациях, превышающих предельно допустимые, запрещается».

Данное требование является требованием «практически нулевых выбросов», которое объективно не может быть достигнуто в настоящее время, и речь может идти только о предельно допустимых выбросах (ПДВ), которые предусматриваются п. 2.2.1 ОТТ 1.1.10 – 99 (ч. 2).

Поэтому в видовых ОТТ (дизельных и газотурбинных) приведены нормы ПДВ или временно согласованных выбросов (ВСВ) [1][2].

Для корабельных дизелей действуют включенные в п. 2.8.9 ОТТ 6.1.29-2004 требования по нормам выбросов вредных веществ в соответствии с национальным ГОСТ Р 51249-99: «Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения».

В таблице 2 приводятся значения удельных средневзвешенных выбросов вредных веществ, регламентированные ГОСТ Р51249-99.

Таблица 2 – Предельно допустимые значения удельных средневзвешенных выбросов вредных веществ согласно ГОСТ Р51249-99

Наименование параметров	Обозначение	Назначение дизеля	Норма удельных средневзвешенных выбросов	
			Выпуск до 2000 г.	Выпуск с 2000 г.
Удельный средневзвешенный выброс оксидов азота (NO_X) в приведении к NO_2 г/(кВт ч)	e^p_{NOx}	Тепловозные	18,0	12,0
		Промышленные	16,0	10,0
		Корабельные	17,0	(17,0-9,8)*
Удельный средневзвешенный выброс оксида углерода (CO) г/(кВт ч)	e^p_{CO}	Любое	6,0	3,0
Удельный средневзвешенный выброс углеводородов (CH) в приведении к $CH_{1,85}$, г/(кВт ч)	e^p_{CH}	Любое	2,4	1,0
Удельный средневзвешенный выброс оксидов азота для корабельных дизелей: при частоте вращения $n \leq 130$ мин$^{-1}$ $e^p_{NOx} = 17$ г/(кВт ч); в диапазоне $130 < n \leq 2000$ мин$^{-1}$ рассчитывается по формуле $e^p_{NOx} = 45n^{-0,2}$ г/(кВт ч); при частоте $n > 2000$ мин$^{-1}$ $e^p_{NOx} = 9,8$ г/(кВт ч).				

Настоящие требования являются регламентирующими применительно к дизелям с выходной мощностью более 130 кВт, которые размещены на судах, построенных после 01 января 2000 года, и к дизелям, которые подверглись существенной модернизации с 01 января 2000 года. Правило не распространяется на аварийные дизели, установленные на спасательных шлюпках.

На основании Протокола, для уменьшения выбросов окислов азота по меньшей мере до указанных пределов в двигателе может применяться система их очистки в соответствии с Техническим кодексом по выбросам окислов азота. В связи с требованиями Протокола основные мировые дизелестроительные фирмы (МАН, «Бурмейстер и Вайн», «Вяртсиля», «Мицубиси» и др.) поставляют на рынок двигатели, удовлетворяющие требованиям новой конвенции. Эти фирмы, как правило, предлагают методы снижения выбросов азота с учетом сохранения топливной экономичности, а иногда даже снижения расхода топлива [3].

Таким образом, анализ международных и отечественных требований по обеспечению экологической безопасности кораблей и судов свидетельствует о жестком регламентировании норм выбросов вредных веществ. Выполнение требований указанных документов может быть достигнуто при условии укомплектования кораблей необходимой аппаратурой, а также решения множества вопросов по обеспечению экологических показателей на стадии проектирования и создания корабельной энергетики.

Для корабельных ГТД в ОТТ 6.1.28-2004 (п. 2.8.10) содержится требование по экологической чистоте, предусматривающее разработку мероприятий по снижению окислов азота в ОГ до величины не более 200 мг/нм^3 при условиях 15 % O_2 и температуре 0 ^{o}C.

С 1992 года межгосударственным стандартом ГОСТ 28775-90: «Агрегаты газоперекачивающие с газотурбинным приводом. Общие технические условия», для агрегатов, в которых в качестве привода применяются конвертированные судовые и авиационные газотурбинные двигатели, введено нормирование величин вредных выбросов на уровне:

– NO_x – 150 мг/нм^3, CO – 300 мг/нм^3 при условиях 15 % O_2 и 0 ^{o}C.

Нормирование величин вредных выбросов паровых котлов:

– при работе на жидком (мазут) топливе с приведенным содержанием серы 0,045 % кг/МДж предусмотрено в ГОСТ Р 50831 – 95: «Установки котельные. Теплотехническое оборудование. Общие технические требования» на уровне: NO_x – 250 мг/нм^3; CO – 300 мг/нм^3 и SO_x – 2000 мг/нм^3;

– при работе на дизельном топливе предусмотрено в ГОСТ 28269-89: «Котлы паровые стационарные большой мощности. Общие технические требования» на уровне: NO_x – 240 мг/нм^3; CO – 300 мг/нм^3;

– для котлов малой мощности предусмотрено в ГОСТ 28193-89: «Котлы паровые стационарные с естественной циркуляцией паропроизводительностью меньше 4 т/ч» для дизельного топлива на уровне: NO_x – 230 мг/нм^3 и CO – 115 мг/нм^3; для мазута на уровне: NO_x – 490 мг/нм^3 и CO – 200 мг/нм^3.

Если учитывать концепцию «двойного назначения» применяемой на флоте аналогичной техники, то эти требования соответствующих вышеуказанных промышленных ГОСТов следует считать распространяющимися и на корабельные ГТД и паровые котлы.

Данные по выбросам ВВ в ОГ эксплуатируемых и выпускаемых промышленностью базовых корабельных двигателей на ОТ, а также нормативные показатели выбросов NO_x и CO, представлены в таблице 3.

Из таблицы 3 видно, что величины фактических вредных выбросов корабельных дизелей, газотурбинных двигателей и паровых котлов не соответствуют величинам требований существующей отечественной и международной нормативной базы.

Российское дизелестроение в настоящее время отстает от мирового уровня по токсичности и шуму. Причин отставания много, очевидно лишь одно – низкий технический уровень отечественного дизелестроения. Общий застой в промышленности России в процессе длительной перестройки отразился и на производстве дизельных двигателей и их комплектующих.

В настоящее время уровень производства практически всех двигателестроительных предприятий упал в несколько раз и составляет от 10 до 50 % от уровня производства в СССР.

Таблица 3 – Выбросы вредных веществ от корабельных ЭУ на ОТ

Тип КЭУ	Выбросы ОГ от корабельных ЭУ на ОТ											
	NO_x			CO			$C_x H_y$			SO_x		
	кг/т.топ	мг/м^3	г/кВт ч	кг/т.топ	мг/м^3	г/кВт ч	кг/т.топ	мг/м^3	г/кВт ч	кг/т.топ	мг/м^3	г/кВт ч
Корабельные дизели (на дизельном топливе)												
АДГ-1000 (УДМЗ)	6,4	-	15,7 (10,4 ГОСТ 8,2 Tier 2)	3,22	-	7,9 (3 - ГОСТ)	-	-	-	-	-	-
АДГ-630 (УДМЗ)		-	12,7 (10,4 ГОСТ 8,2 Tier 2)		-	2,8 (3 - ГОСТ)		-	0,3	-	-	-
16Д49 (Колом. З-д)		-	(11 ГОСТ; 8,8 Tier 2)		-			-				
10Д49 (Колом. з-д)			(11,3 ГОСТ 9 Tier 2)									
М507 56ЧН16/17 (Звезда)	42,6	-	9,8 (9,8 - ГОСТ; 7,7 Tier 2)	23,5	-	5,4 (3– ГОСТ)		-	0,35	-	-	-
М400 12ЧН18/20 (Звезда)	-	-	10,3 (10,4- ГОСТ; 8,2 Tier 2)		-	3,0 (3 - ГОСТ)		-	0,3	-	-	-
Корабельные ГТД (на дизельном топливе)												
М90ФР (ДА91**)** (Турборус**)**	40,75	870 (200 – ОТТ)	9,56	1,14	5	-	1,365	-	-	0,68	-	-
М70ФРУ (Сатурн)	10,95	303,9 (200 – ОТТ)	3,06	0,83	22,5	0,25				-		
М75РУ (Сатурн)		160 (200 – ОТТ)	2,15	-	70	0,94				-		
Корабельные котлы												
КВГ-3 (на мазуте) (СКБК)	26,6	400–900 (250 - ГОСТ)		26,7	300		5,3			6,9		
КВГ-3Д (на диз. топ) (СКБК)	26,6	400 – 900 (250 - ГОСТ)		26,7	300		5,3			6,9		

Ряд предприятий пытается ускорить работы по совершенствованию технических параметров судовых дизелей (БМЗ, Коломенский завод, РУМО, Звезда, Волжский дизель имени Маминых). Но, к сожалению, следует отметить, что на других предприятиях (Дагдизель, Пензадизельмаш, Уральский дизельмоторный завод, Дальдизель) объемы исследовательских и проектных работ по развитию и совершенствованию судовых двигателей значительно сократились.

Практически неизменными являются параметры дизелей, нет новых технических решений по повышению мощности, улучшению показателей экономичности, автоматизации и контроля параметров двигателей и т. д.

Остаются неудовлетворительными показатели дизелей российского производства по вредным выбросам. Российские дизелестроительные заводы не уделяют этому вопросу достаточно внимания, поэтому в настоящее время использование их продукции на судах заграничного плавания становится все более проблематичным (за исключением отдельных марок лицензионных дизелей (БМЗ) и новых разработок (Коломенский завод) [4].

Так, например, автоматизированные дизель-генераторы АДГ-630 и АДГ-1000 производства ООО «Уральский дизель-моторный завод», применяемые на новых проектах кораблей ВМФ при их испытаниях по циклу D2 ГОСТ 30574-98 имеют параметры по токсичности и дымности, представленные в таблице 4 Уровень шума указанных ДГ – 112 дБ.

Таблица 4 – Параметры по токсичности и дымности дизелей ОАО «УДМЗ»

Параметры	АДГ-630	АДГ-1000
NOx г/(кВт.ч)	12,7	15,7
CO г/(кВт.ч)	2,8	7,9
CH г/(кВт.ч)	0,3	-
Дымность, %	18,5	20,0

Параметры по токсичности и дымности судовых дизельных двигателей производства ОАО «Звезда» представлены в таблице 5. Специальные внешние устройства для улучшения экологических характеристик дизель-генераторов производства ООО «Уральский дизель-моторный завод» и дизельных двигателей производства ОАО «Звезда» не применяются. Исследования по совершенствованию рабочего процесса с целью улучшения экологических характеристик в настоящее время на ООО «Уральский дизель-моторный завод» не проводятся.

Таблица 5 – Параметры по токсичности и дымности дизелей ОАО «Звезда»

Параметры	12 ЧН18/20	56ЧН16/17
NOx г/(кВт×ч)	10,3	9,8
CO г/(кВт×ч)	3,0	5,4
CH г/(кВт×ч)	0,3	0,3
Дымность, %	18,0	40,0

Таким образом, в части экологии ни один из выпускаемых в настоящее время судовых дизелей российского производства не отвечает в полной мере современным требованиям, поэтому разработка нового судового дизеля или альтернативной ГЭУ, удовлетворяющего таким требованиям по экологичности, для российского судостроения крайне необходима [5].

Создание новых перспективных энергетических установок является одной из первоочередных задач современности. К одной из наиболее перспективных энергетических установок можно отнести и ВНЭУ.

Список литературы:

1. Приказ ГК ВМФ № 320 от 12 декабря 1990 г. (ПОПС – 90), М., 1993.
2. ОТТ 1.1.10-99 (часть 2) «Системы и комплексы (образцы) вооружения и военной техники. Общие требования по экологической безопасности (экологичности)». – М., 1999 г.
3. ГОСТ Р 51249-99 Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Выбросы вредных веществ с отработанными газами дизеля. Нормы и методы определения.
4. Зубрилов С. П., Ищук Ю. Г., Косовский В. И., Охрана окружающей среды при эксплуатации судов. – Л.: Судостроение, 1988. – 25 с.
5. ГОСТ Р 51250-99 Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Параметры дымности отработавших газов. Нормы и методы определения.

©Морозов Н. А., Родоманова К. С., 2023

УДК 456.32:063

WHAT IS THE EFFICIENCY OF TRADITIONAL ENERGY?

Student **Shakhova Anastasia Vasilyevna,**
Academic Advisor: Senior Lecturer **Belovodsky Evgeny Alekseevich,**
Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov,
Belgorod, Russian Federation

Abstract. The paper considers the efficiency of traditional energy. The advantages and disadvantages of this industry are highlighted. Special attention is paid to the aspects of anthropogenic impact on the environment. The analysis of energy consumers has been carried out. The key problems of the development of traditional energy and ways to solve them are identified. It is concluded that it is necessary to solve these problems.

Keywords: energy, traditional energy sources, forms of energy, ecology, energy resources.

КАКОВА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРАДИЦИОННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ?

студент **Шахова Анастасия Васильевна,**
науч. руководитель: ст. преподаватель **Беловодский Евгений Алексеевич,**
Белгородский государственный технологический
университет им. В. Г. Шухова,
г. Белгород, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассматривается эффективность традиционной энергетики. Освещены преимущества и недостатки данной отрасли. Особое внимание уделяется аспектам антропогенного воздействия на окружающую среду. Осуществлен анализ потребителей энергии. Выявлены ключевые проблемы развития традиционной энергетики и пути их решения. Делается вывод о необходимости решения этих проблем.

Ключевые слова: энергетика, традиционные источники энергии, формы энергии, экология, энергетические ресурсы.

Energy is an industry that deals with the transformation, distribution and use of energy resources.

This industry is of paramount importance in human economic activity. All sectors of the economy depend on energy, including agriculture and the non-productive sphere. The main goal of energy is to ensure technological production by converting primary fuel energy into secondary energy, for example, into electrical or thermal energy[1].

Stages of energy production:

1. Acquisition and concentration of energy resources;

2. Transfer of resources to power plants;
3. Conversion of the initial energy into the necessary one with the help of stations;
4. Transfer of finished energy to the consumer.

The basis of the industry is traditional energy. It is characterized by its dominant position. The main share of electricity in the world is obtained from traditional power plants.

Advantages of traditional energy:

1. Reliability and stability. Thermal, hydroelectric and nuclear power plants have been providing reliable power supply without interruptions for many years. These power plants are well-established and therefore operate continuously and supply the necessary energy to meet all human needs
2. Availability and scalability. Traditional energy can be implemented almost anywhere and, if necessary, increased for growing demand.
3. High performance. The mastered methods of energy production ensure high productivity.
4. Long service life. The infrastructure of traditional energy can be designed and built with a view to decades or centuries. This guarantees long-term power supply and minimizes the cost of updating and replacing equipment.
5. Weather resistance. An important factor in providing energy is independence from the weather.
6. Economic efficiency. Traditional energy, when compared with alternative sources, provides a stable supply of energy at a relatively low cost.
7. Infrastructure development. Improving installations and networking contributes to economic and social progress.
8. Ready for operation at any time.

The most common form of energy is electrical energy. It can be considered the basis of civilization. The conversion of primary energy into electrical energy occurs at thermal power plants (TPP), hydroelectric power plants (HPP) and nuclear power plants (NPP).

There are five stages of energy production:

1. Obtaining and concentration of energy resources: extraction and enrichment of fuel;
2. Transportation of energy resources to energy conversion plants;
3. Converting energy into a convenient form;
4. Transmission and distribution of converted energy;
5. Energy consumption by the consumer.

Energy consumers are: industry, transport, agriculture, housing and communal services, the sphere of everyday life and services (Fig.1).

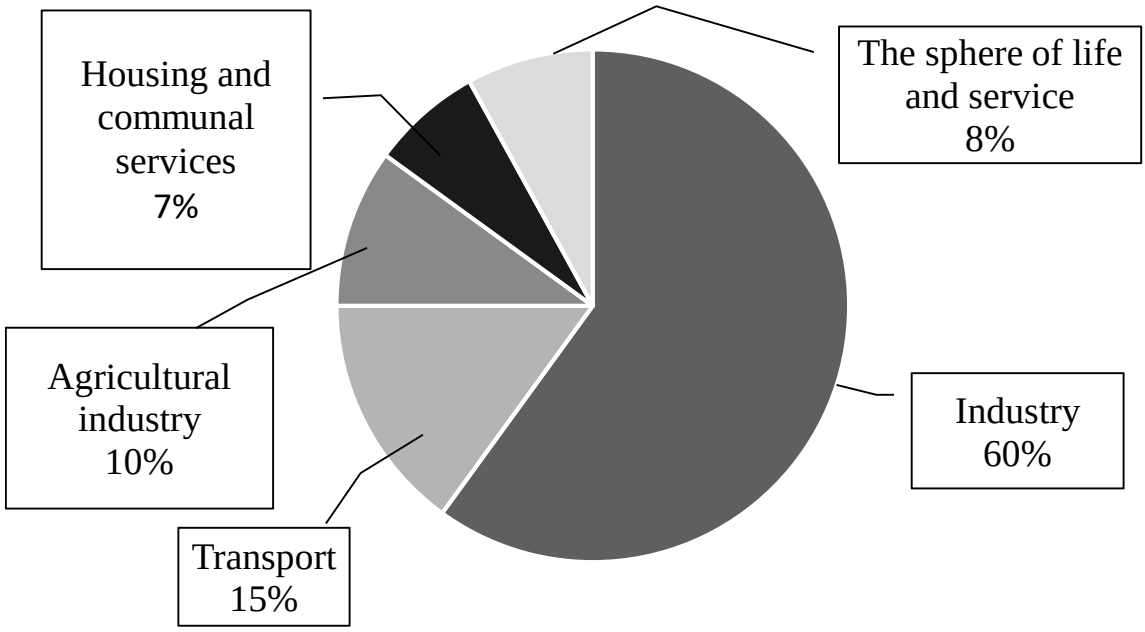


Figure 1. Energy consumers

If the total energy of the primary energy resources used is taken as 100%, then the usefully used energy will be only 35-40%, the rest is lost, and most of it is in the form of heat.

Technological problems of traditional energy[2]:

1. High degree of depreciation of fixed assets;
2. The use of outdated technologies in the production and transportation of electricity;
3. Possible loss of technological sovereignty;
4. Low energy efficiency indicators;
5. Lack of experience in designing and operating energy facilities based on innovative technologies.

Economic problems of traditional energy:

1. Low investment attractiveness;
2. Lack of funds to eliminate the high level of depreciation of production assets;
3. High levels of electricity tariffs;
4. Low motivation to reduce energy transportation costs;
5. Low profitability of distribution networks in areas with low consumption density.

If the previous structure of energy production remains unchanged, then humanity will be on the verge of an energy crisis. Fossil fuels are non-renewable energy resources. With current consumption trends, it is difficult to calculate how many years the reserves will last. If the current trends persist, then the world's fuel reserves will be completely exhausted [3]. Power plants are characterized by high radiation and toxic pollution of the environment. Fuel combustion is not only one of the main sources of pollutants, but also one of the main sources of air pollutants. The activity of power plants causes a greenhouse effect. Who will be responsible for acid precipitation?

Power plants together with transport supply man-made carbon to nature. In addition, the harmful effects also add up to the soil, water and other ecosystems. It can be said that traditional energy has a negative impact on all components of the environment, including humans and other living organisms [4]. TPP emissions are a serious source of benzapyrene, a powerful carcinogen. Its use is associated with the growth of oncological diseases. Not an unimportant problem is the disposal of ash and slag emissions, which requires huge territories. Landfills are not used in any way and are the epicenters of the accumulation of heavy metals and radioactivity.

As for hydropower, there are environmental problems associated with the withdrawal of large areas of fertile land for reservoirs. Natural ecosystems are being destroyed at the construction site, lands are being flooded, and the hydrological regime of rivers is being violated. The accumulation of nutrients in water bodies leads to an intense flowering of algae, including toxic ones. The slow rate of water regeneration significantly reduces its ability to self-purify. The deterioration of the water condition leads to the death of the organisms living in it, increases the incidence of fish and complicates their migration.

Nuclear power was considered the most promising. The reasons for this are huge reserves of nuclear fuel, low environmental impact, minimal emissions and low transportation costs. However, all the advantages are combined with the destruction of ecosystems in which raw materials are deposited, the insecurity of nuclear reactors and the danger of nuclear proliferation. The problem of radioactive waste disposal has not yet found a reasonable solution. Modern nuclear reactors expose people to the threat of global radioactive accidents. This security issue will never be fully resolved. An important disadvantage of nuclear power is the production of weapons. Nuclear reactors produce plutonium, which can be used to create atomic bombs. The management of spent fuel must always be under control.

Science is working to solve energy problems that will reduce the negative impact on the environment.

Several ways to solve the problems of traditional energy:

1. Improvement of cleaning equipment;
2. Reducing the amount of chemicals released into the atmosphere;
3. Energy saving;
4. Alternative energy sources.

The structure of energy markets has undergone significant changes in recent years. The global relations existing between producers and consumers of energy resources no longer suit both sides [5]. There are serious reasons to believe that new trends in energy reality are being formed. If we seriously address the problem of traditional energy, then the industry has the potential for sustainable development. However, it is necessary to continue the search and development of environmentally friendly alternative energy sources to ensure the sustainable development of the planet.

Список литературы:

1. Быстрицкий, Г. Ф. Общая энергетика: Учебное пособие / Г. Ф. Быстрицкий, 2010. – С.67.
2. Шарапов, В. И. О месте альтернативных источников энергии в отечественной энергетике / В. И. Шарапов // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2019. – №8(212). – С. 86-89.
3. Рамазанова, Б. М. Традиционная и нетрадиционная энергетика на современном этапе / Б. М. Рамазанова // News of Science and Education. – 2018. – Т.12. №7. С. 049-053.
4. Караева, А. С. Рентабельность предприятий традиционной электрогенерации как стимул развития альтернативной энергетики / А. С. Караева // Научный вестник Волгоградского филиала РАНХиГС. Серия: Экономика. – 2018. – №1. – С. 60-66.
5. Телегина, Е. А. Мировая экономика и энергетика на переломе: поиски альтернативной модели развития / Е. А. Телегина, Г. О. Халова // Мировая экономика и международные отношения. – 2019. – Т.64. - №3. – С. 5-11.

© Шахова А. В., 2023

УДК 61.13058

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF NEW MAGNETIC RESONANCE IMAGING TECHNIQUES

Student **Gert Sergey Alexandrovich,**
PhD in Technology, Associate Professor **Gorobchenko Stanislav Lvovich,**
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. This topic is devoted to the development and application of new methods of magnetic resonance imaging (MRI). MRI is one of the most widespread methods of research in medical diagnostics, allowing to obtain detailed and accurate images of internal organs, tissues and structures of the human body without the use of radiation methods.

Keywords: Ultrahigh-field, MRI, Functional MRI, Development, brain research.

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ МЕТОДОВ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ

студент **Герт Сергей Александрович,**
канд. техн. наук, доцент **Горобченко Станислав Львович,**
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Данная тема посвящена разработке и применению новых методов магнитно-резонансной томографии (МРТ). МРТ является одним из наиболее распространенных методов исследования в медицинской диагностике, позволяющим получить детальные и точные изображения внутренних органов, тканей и структур человеческого тела без использования радиационных методов.

Ключевые слова: сверхвысокопольные, МРТ, функциональной МРТ, разработка, исследования мозга.

Magnetic resonance imaging is a powerful diagnostic tool in medicine, allowing the creation of detailed three-dimensional images of internal organs and tissues without the use of ionizing radiation. Over time, there has been a progressive development of the latest methods of magnetic resonance imaging (MRI), which significantly improve the quality of the resulting images and provide more accurate identification of pathological changes. One of these new methods is functional MRI (fMRI), which is used to study brain activity. By visualizing changes in blood flow and oxygen

consumption in different areas of the brain, fMRI helps researchers understand how the brain functions during different tasks and in different states.

What are the different types of fMRI scanners

According to the strength of the magnetic field, three types of devices are distinguished. Devices are classified into:

Low-field (up to 1.0 Tesla). Diagnostics on such units is not always informative. Due to the low power, the quality of images deteriorates. The advantage of these devices is a lower price for the procedure.

High-field (1.5-3.0 Tesla). Scanning is informative in 97% of cases due to the high clarity of images. The study of anatomical area takes less time (compared to low-field devices).

Ultra-high field (from 3.5 Tesla). High power provides high detail of images and reduces the duration of scanning.

The type of MRI device determines the results of the study. Scanning on a low-field device sometimes requires a repeat procedure on more powerful equipment.

Depending on the design, open and tunnel tomographs are distinguished. Each variety has advantages and disadvantages

Development of new MRI methods - ultra-high-field and functional MRI

With the development of technology and signal processing methods, new MRI methods have been developed, such as parallel imaging, diffusion MRI, magnetic resonance spectroscopy, ultra-high-field MRI and functional MRI, which will be described in more detail below. These methods allow obtaining more accurate and informative images of organs and tissues, which increases the efficiency of diagnostics of various diseases.

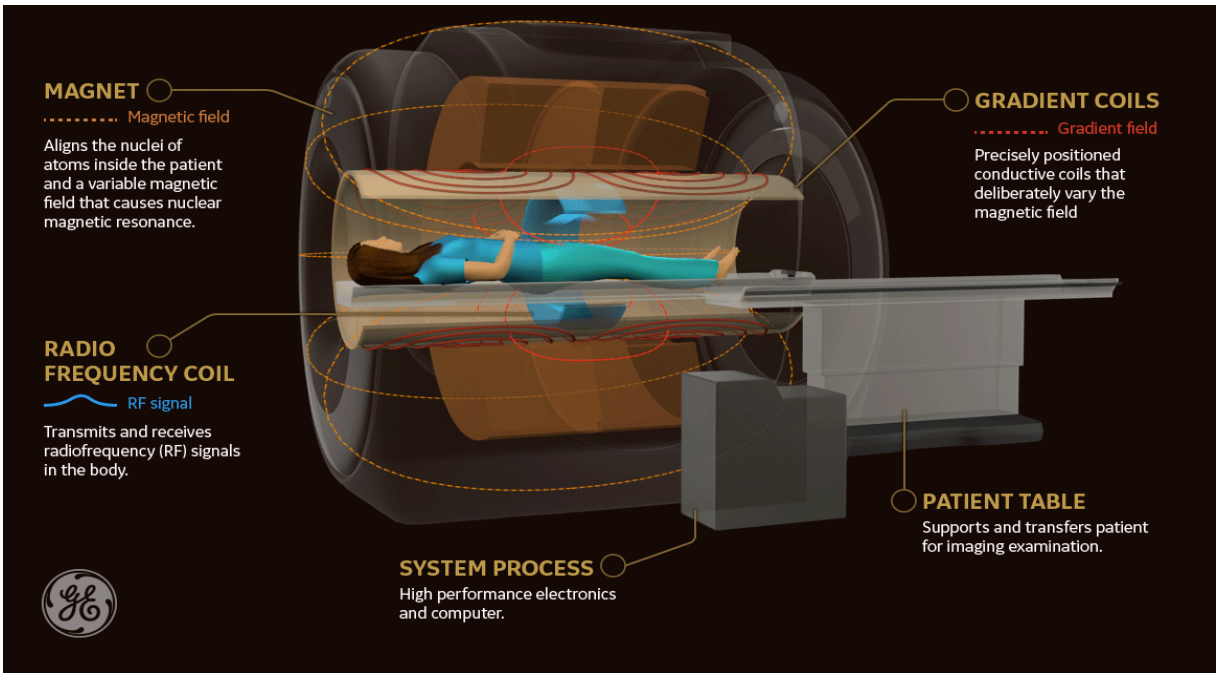


Figure. GE MRI SYSTEM

Ultrahigh-field MRI is a modern method of magnetic resonance imaging, which is performed on high-field magnetic resonance scanners with magnetic field from 7 to 11 Tesla (Terlesla). These scanners have the unique ability to produce higher resolution

and more sensitive images than traditional scanners below a field of 3 Tesla, which opens up new perspectives in medical diagnosis and research.

Advantages of ultra-high-field MRI

High spatial resolution: High-field scanners provide more detailed images of anatomical structures and allow you to detect even the smallest changes in tissues.

Improved sensitivity: Ultra-high-field MRI has increased sensitivity to microstructures and biochemical processes, which allows for more accurate detection of pathologies and functional changes.

Functional MRI studies: One of the key aspects of the application of ultra-high-field MRI studies of the activation of the brain and other organs for a detailed study of their functions.

Study of biomarkers and diseases: This method allows you to study biomarkers and changes in internal structures, which contributes to a more effective early diagnosis of various diseases.

Although ultra-high-field MRI provides significant advantages, there are some challenges, such as thermal and eddy currents, which can affect image quality when using high-field scanners, the need to optimize equipment, improve data processing methods and train specialists. However, with constant research and innovation, these challenges can be overcome, opening up new perspectives for clinical diagnosis and medical research.

Functional magnetic resonance imaging, which is a method of measuring brain activity by analyzing changes in blood flow and oxygen levels in various areas of the brain. The development of new FMRI techniques includes the development of more accurate and sensitive data analysis methods, as well as optimization of the technical parameters of the scan.

Functional magnetic resonance imaging of the brain provides information about mental and motor disorders, as well as neurodegenerative pathologies. The high-precision procedure makes it possible to detect benign and malignant tumors in the structures of the brain, especially those with a dense capillary network. It also identifies specific centers associated with mental disorders. The results of the study are presented in the form of maps of neuronal activity, which are projected onto a reconstructed model of the cortex. Thus, the doctor can identify the following changes in the structures of the brain:

- Chronic and protracted central nervous system pathologies;
- Complications or consequences of injuries;
- Changes in the pituitary gland;
- Oncological processes.

Functional magnetic resonance imaging of the brain is a branch of neuroimaging. This diagnostic method has a number of advantages, such as:

- Non-invasiveness - completely painless;
- No negative effects on the body;
- Scanning can be performed an unlimited number of times;
- No special training required;
- Allowed for children and pregnant women;
- High accuracy mapping of brain regions.

Among the disadvantages of the study, it should be noted the need to remain motionless during the FMRI examination, which may be difficult for patients with mental disorders. To solve this problem, the doctor may prescribe a sedative before the procedure. The second disadvantage is the high cost of the study, however, with an increase in the number of clinics offering CT scanning services, prices are becoming more affordable.

Conclusion: New MRI techniques will find application in various fields of medicine, such as:

Neuroradiology: Brain research, detection of activity sites and detection of anomalies in neural networks.

Cardiology: Study of the structure and functions of the cardiovascular system, detection of pathologies and monitoring of treatment.

Oncology: Detection of tumors, assessment of their size and characteristics, as well as monitoring the effectiveness of treatment.

Medical rehabilitation: The study of structural and functional changes in muscles and joints, as well as monitoring the effectiveness of rehabilitation programs.

The development and application of new MRI methods open up new opportunities for improving the diagnosis and study of the internal structures of the human body. These methods will help improve the quality of patient care and provide a more accurate diagnosis of various diseases.

Список литературы:

1. Блок К. Т., Умар Ф., Ланг Р. М. Альтернативные подходы к магнитно-резонансной томографии (МРТ) [сайт]. Издательство StatPearls; Остров сокровищ (Флорида): январь 2022 г. – URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK513461/ (дата обращения: 01.11.2023).

2. Хоффманн У., Фикльшерер С., Моравски М. Методы МРТ и их применение в неврологии [сайт]. CRC Press/Taylor & Francis; 2017. – URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK519514/ (дата обращения: 01.11.2023).

3. Ли С.-К. Магнитно-резонансная томография внутриосевых опухолей головного мозга: рекомендации по точной диагностике и точному планированию хирургического вмешательства. Корейский нейрохирургический центр [сайт]. 2015; 58(2):97-103. – URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4400816/ (дата обращения: 01.11.2023).

4. Отазо Р., Содиксон Д. К. Ускоренная магнитно-резонансная томография. Магнитно-резонансная томография [сайт]. Февраль 2013 г.; 37(2):253-71. – URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23225646/ (дата обращения: 01.11.2023).

© Герт С. А., Горобченко С. Л., 2023

УДК 632.039.5

ВОДНЫЙ РЕЖИМ РЕАКТОРА ТИПА ВВЭР

студент **Титенков Вячеслав Владимирович,**
студент **Лавриков Василий Андреевич,**
науч. руководитель: канд. фил. наук, доцент
Рахматуллина Диана Эдуардовна,
Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассмотрены различные аспекты водного режима для реакторов типа ВВЭР, начиная с его основных принципов и компонентов, далее – влияние водного режима на безопасность и эффективность работы реакторов. Представлены основные методы контроля и регулирования водного режима и современные технологические разработки в этой области.

Ключевые слова: водный режим, ВВЭР, безопасность, методы контроля и эффективности, очистка воды, эксплуатация.

WATER MODE OF THE PWR

Student **Titenkov VyacheslavVladimirovic,**
Student **Lavrikov Vasiliy Andreevich,**
Academic Advisor: PhD in Philological, Associate Professor
Rakhmatullina Diana Eduardovna
Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russian Federation

Abstract. The article discusses various aspects of the water regime for VVER-type reactors, starting with its basic principles and components, then the influence of the water regime on the safety and efficiency of reactors. The main methods of monitoring and regulating the water regime and modern technological developments in this area are presented.

Keywords: water regime, PWR, safety, methods of control and efficiency, water purification, operation.

Regulation of the water regime is of great importance in the operation and safety of VVER type reactors. In these reactors, water acts not only as a coolant, but also as a moderator, flowing through the reactor to cool the fuel cells and reduce the neutron energy, ensuring the stability of the nuclear reactor process. This is achieved by preventing the formation of:

1) Scale and deposits on the heat exchange surfaces of various equipment, including turbine condensers and fuel rods.

2) Sludge in emergency radiation risk reduction systems and pipelines and in thermal networks.

3) Corrosion of the internal surfaces of water treatment equipment and thermal power equipment, as well as heating networks.

4) Deposits in the flow part of the turbines [1].

In nuclear reactors based on uranium fission, each fission of the U-235 uranium nucleus generates up to 2.5 new neutrons. However, to ensure the stability of the reactor, it is necessary to remove an excessive amount of neutrons from the process (about 60%). This problem can be solved in several ways [2]:

1) Adding substances to the fuel that are capable of absorbing extra neutrons, such as gadolinium, samarium, europium and others.

2) Introduction of special control rods with neutron absorbers into the reactor core, for example, boron-carbide compounds or boric special steels.

3) Introduction of a variable amount of soluble compounds of chemical elements with an increased ability to absorb neutrons into the coolant flow [3].

In reactors of the VVER-PWR type, orthoboric acid H3BO3 is usually used for this purpose), which has a solubility in water of more than 40% by weight at high temperatures, in the form of the isotope B-10. The active neutron absorber in natural boron is the light isotope of boron «B-10» contained in it in an amount of 19%, the absorption cross section of thermal neutrons in which reaches a value of 3900 barns [4].

Requirements for rationing the water regime of VVER reactors with boron regulation include:

1. pH control within safe corrosion limits.

3. Limitation of radiolytic oxygen.

3. Limiting the concentrations of chlorides and fluorides in the reactor water.

4. Effective removal of corrosion products of structural materials.

To fulfill these conditions, purification and make-up plants are used in the reactor plant [5].

Boron regulation is a method of regulating the reactivity of a water–water reactor by adding boric acid (H3BO3) to the primary coolant.

At the start of the reactor plant (RU), the primary coolant already contains boric acid with a concentration of 1.5 g/ kg (for the VVER-1000 reactor).

In the normal mode, the boron regulation system, consisting of boron regulation pumps, tanks for the preparation and storage of boric acid solutions, as well as pipelines, functions so that the solution is taken from a container with a concentration of boric acid equal to the concentration in the primary coolant. This makes it possible to compensate for concentration losses in case of coolant leaks provided for by the normal operation mode.

To reduce the reserve value of the operational reactivity reserve, boric acid is taken from a container with a concentration of 40 g/ kg.

To increase the value of the operational reactivity reserve, pure distillate enters the primary circuit coolant.

The use of boron is due to:

1) A good thermal neutron capture cross section with the natural isotope boron 10B, approximately 3820.5 barns.

2) The softness of the effect of boron on the neutron flux in the core (AZ), in other words, when it is used, there is no distortion of the neutron flux and there is no heterogeneity of the energy release spectrum.

3) The possibility of maintaining the value of the operational reactivity reserve within the required limits, which excludes the possibility of uncontrolled acceleration of the reactor due to the introduction of a large positive reactivity due to errors of operational personnel.

The change in the concentration of boric acid in the primary circuit during operation:

The equation of the balance of the amount of acid in normal operation (the leakage rate is fully compensated by the recharge rate) is as follows:

$$\frac{dC}{dt} = -\frac{G_П}{\gamma \cdot V}[C(t) - C_П]. \quad (1)$$

S_P, (g/kg) — concentration of boric acid in the boron control tank;

G_P, (kg/c) — boron consumption, which is compensated by the filling system of the primary circuit;

γ (kg/m3) is the density of the primary circuit coolant;

V (m3) is the volume of the primary circuit coolant.

t (c) is the time of water exchange;

C (g/kg) is the concentration of boronic acid in the primary coolant.

Consider the solution of the equation, provided that at some point in time t=0 the boron concentration was equal to C 0:

$$C(t) = C_П - (C_П - C_0)\exp\left(-\frac{G_П}{\gamma \cdot V}t\right). \quad (2)$$

Based on this solution, we will draw up a graph of the growth of boric acid concentration at an initial value of $C_0 = 0$ (Fig. 1):

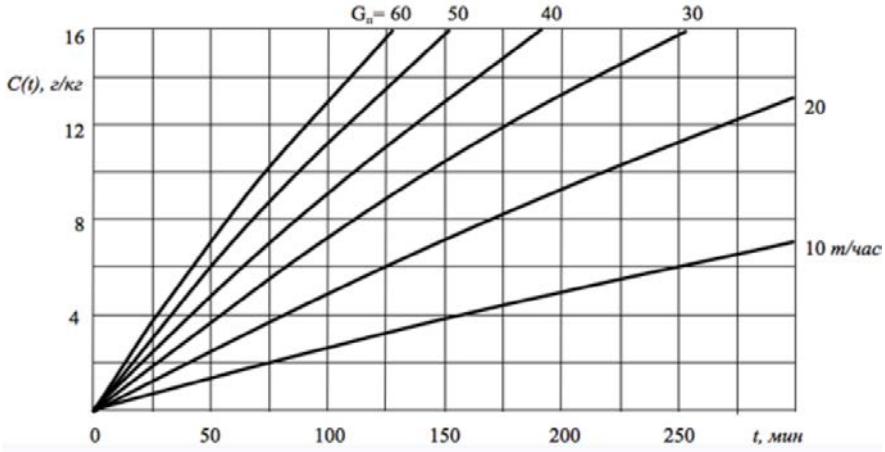


Figure 1. The increase in the concentration of boric acid in the coolant of the 1st circuit.

The graph shows that with the initial value of the concentration of boric acid equal to zero, the concentration increases with time [4 - 6].

Thus, boron regulation allows maintaining the required value of the operational reactivity reserve in the reactor by compensating for the loss of boric acid concentration in the primary coolant.

To ensure the safe operation of VVER reactors with boron regulation, it is necessary to strictly observe the regulated parameters of the water regime. This includes pH control using alkalis, effective oxygen concentration management, and maintaining low concentrations of chlorides and fluorides. Taking into account the characteristics of ammonia and its effect on embrittlement of materials, as well as radiolytic oxygen, it is recommended to use KOH at high temperatures. It is also possible to use a combined potassium-ammonia water regime to combat the chemical effects of boric acid. It is also important to ensure the purity of boric acid and make-up water, as well as to effectively remove corrosion products of structural materials.

Список литературы:

1. Зорин В. М. Атомные электростанции: учебное пособие. – М.: Издательский дом МЭИ. – 2017.
2. Маргулова Т. Х. Атомные электрические станции: учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1984.
3. Андрианов С. Г., Ильченко А. Г., Каёкин В. С. Расчет тепловых схем атомных электрических станций: учебно-методическое пособие / Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина». – 2016.
4. Лебезов, А. А. Применение борной кислоты в водоохлаждаемых реакторах / А. А. Лебезов, Ю. А. Кузина, А. В. Морозов // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. – 2023. – № 2. – С. 146-165.
5. Степанова, Е. Г. Результативность преподавания иностранного языка в техническом вузе / Е. Г. Степанова, Д. Э. Рахматуллина // Современные цифровые технологии: проблемы, решения, перспективы: национальная (с международным участием) научно-практическая конференция, Казань, 19–20 мая 2022 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 361-364.
6. Рахматуллина, Д. Э. Проектный метод в преподавании иностранного языка в техническом вузе / Д. Э. Рахматуллина // Внедрение научных исследований в образовательный процесс вуза: материалы II Международного Круглого стола, посвященного Дню преподавателя высшей школы, Казань, 18 ноября 2022 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2023. – С. 57-62.

© Титенков В. В., Лавриков В. А., 2023

МАТЕРИАЛЫ
III Всероссийской научно-практической конференции обучающихся и преподавателей «ЭНЕРГЕТИКА, УПРАВЛЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ: ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ»

2024

Редактор и корректор Е. О. Тарновская
Технический редактор Е. О. Тарновская

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 04.03.2024. Изд. № 5238/23

Высшая школа технологии и энергетики СПб ГУПТД
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4