

ЭНЕРГЕТИКА, УПРАВЛЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ: ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ

МАТЕРИАЛЫ IV Всероссийской научно-практической конференции обучающихся и преподавателей



**Санкт-Петербург
2025**

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

IV 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
2025

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 IV 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, 2025. — 347 с.

ISBN 978-5-91646-427-6

В настоящем сборнике представлены материалы IV Всероссийской научно-практической конференции обучающихся и преподавателей «Энергетика, управление и автоматизация: инновационные решения проблем», состоявшейся 16 декабря 2024 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 978-5-91646-427-6

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2024

© Коллектив авторов, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Рахматуллин С. С., науч. рук. Касимов В. А. АНТЕННОЕ НАВЕДЕНИЕ СИГНАЛА В ФАЗНЫЙ ПРОВОД ДЛЯ ЗАДАЧ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ.....	8
Сизьмина Д. В., науч. рук. Артемьев В. С. МОДЕЛИРОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ СЕРВИСА ПОМОЩИ СТУДЕНТАМ.....	15
Уфимцев А. В., Филипас А. А. УСТАНОВКА МОНИТОРИНГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА.....	23
Суслов В. А. ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЕ КОНТАКТА НА СУШИЛЬНЫХ ЦИЛИНДРАХ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНЫХ МАШИН.....	28
Белоусов В. Н., Смородин С. Н., Тышкевич П. И. ТЕРМИЧЕСКОЕ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ТОКСИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ В СТАЦИОНАРНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЕ.....	33
Живаева К. Г., Смородин С. Н., Белоусов В. Н. МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ СКОРОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА СРК.....	40
Суслов В. А. ПРОЦЕССЫ ТЕПЛООБМЕНА И ГИДРОДИНАМИКИ ПРИ ЛАМИНАРНОМ ТЕЧЕНИИ В ТРУБЕ.....	45
Овдиенко С. Н., Волкова Е. А. ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ РИСКОВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЦЕПОЧКАМИ ПОСТАВОК В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ.....	51
Глоткина Л. А., науч. рук. Демидкина Д. А. ВЗАИМОДОПОЛНЯЕМОСТЬ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ И НЕВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В СОВРЕМЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ.....	57
Борисов С. П. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НЕСИММЕТРИЧНОГО МАГНИТНОГО РЕЖИМА НА РАБОТУ ТРЕХФАЗНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ И ПРОБЛЕМЫ РАСЧЕТА ТАКОГО РЕЖИМА.....	61
Глоткина Л. А., науч. рук. Демидкина Д. А. ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ – ЭНЕРГИЯ БУДУЩЕГО.....	66

Поляков П. А., Голиков Г. И., науч. рук. Конников Е. А. АНАЛИТИКА БОЛЬШИХ ДАННЫХ: ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И PYTORCH.....	70
Гулин В. М. СТАТИСТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ В СООТВЕТСТВИИ С ПРИНЦИПОМ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА «ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ, ОСНОВАННОЕ НА СВИДЕТЕЛЬСТВАХ».....	75
Шакурова Л. Э. ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДСКАЗАТЕЛЬНОЙ АНАЛИТИКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ.....	81
Кесарев Н. Р., Няппинен Г. А., науч. рук. Иванов В. Л. ИССЛЕДОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛЭП ПОСТОЯННОГО ТОКА.....	88
Мерзлая Д. М., науч. рук. Зятиков И. Д. СПОСОБ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ПЕРЕКОСА КОЗЛОВОГО КРАНА.....	92
Мерзлая Д. М., науч. рук. Ершов К. К. ПРИМЕНЕНИЕ АВТОНОМНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ НА СУПЕРКОНДЕНСАТОРАХ В ОБЩЕСТВЕННОМ ТРАНСПОРТЕ	98
Щербин А. А., науч. рук. Логинов И. В. ТЕХНОЛОГИЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К НАВЫКАМ БИЗНЕС- АНАЛИТИКОВ НА ОСНОВЕ NLP-ПОДХОДА.....	103
Шаряков К. В., Шарякова О. Л. МОДУЛЬНЫЙ КОНЦЕПТ ОБУЧАЮЩЕГО СТЕНДА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ.....	108
Васильева Д. М., Леу Е. В., науч. рук. Попов А. А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В АВАРИЙНО-ДИСПЕТЧЕРСКИХ СЛУЖБАХ В СФЕРЕ ЖИЛИЩНО- КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА.....	114
Поплавская П. С., Демкина Е. И., науч. рук. Иванов В. Л. НЕЙРОЧИП: МОЗГ НА МИКРОСХЕМЕ.....	121
Казаков В. Г., Громова Е. Н., Максимов В. С. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫПАРИВАНИЯ ЧЕРНЫХ СУЛЬФАТНЫХ ЩЕЛОКОВ.....	133
Косенков В. А. науч. рук. Смирнов Л. В. СОВРЕМЕННАЯ АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА.....	139

Левштанова А. А., науч. рук. Залавская О. М. ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ МОДЕРНИЗАЦИИ КОММУНАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ.....	144
Тен Т. Л., Дрозд В. Г. АВТОМАТИЗАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКОЙ С ПОМОЩЬЮ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ.....	152
Багров В. В., науч. рук. Ковалев Д. А. АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТАМИ-МАНИПУЛЯТОРАМИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ.....	160
Мосин В. Г. ПРОПОРЦИЯ ПАРЕТО В ОЦЕНКЕ ЗАГРУЖЕННОСТИ СЕРВИСНЫХ ЦЕНТРОВ ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ НАИБОЛЕЕ ЧАСТОТНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДЕФЕКТОВ.....	168
Астахов А. М., науч. рук. Черненькая Л. В. ВЫЧИСЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОЙ МОЩНОСТИ ПРОЖЕКТОРА ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА.....	172
Калашникова Е. О., науч. рук. Зуева Е. П. АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ: НОВОЕ СЛОВО В БЕЗОПАСНОСТИ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	177
Фокин Н. П., науч. рук. Зуева Е. П. ДОБЫЧА КАМЕННОГО УГЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	183
Камнева Д. С., Назирова Л. А., Шемякина В. Д., науч. рук. Дерюгина О. П. АНАЛИЗ ВИСБРЕКИНГА И ДРУГИХ ТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЦЕЛЯХ МОДЕРНИЗАЦИИ АФИПСКОГО НПЗ.....	190
Хажакян В. О., Михонов В. В., науч. рук. Бабин С. В. ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В ЗИМНЕ-ОСЕННИЙ ПЕРИОД.....	200
Беклемешева А. С., Антуфьев А. С., науч. рук. Хлыновский А. М. МЕТОДЫ УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ.....	205
Беклемешева А. С., Антуфьев А. С., науч. рук. Хлыновский А. М. РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОГО МОДУЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ТБО С ПРОИЗВОДСТВОМ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА – ПЕНОСТЕКЛО.....	211
Дубина Д. Н., науч. рук. Дробот Е. С. ВЛИЯНИЕ ОБЩЕСТВА НА РАЗВИТИЕ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ.....	217

Адкина А. С., науч. рук. Дробот Е. С. ВЛИЯНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА ЭКОЛОГИЮ.....	223
Пыльцова Д. О., Кувшинова Е. В., науч. рук. Ташлыков О. Л. АНАЛИЗ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ БЕНТОНИТОВОЙ МАТРИЦЫ.....	230
Кравчук А. А., науч. рук. Доманов В. И. ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ.....	234
Рубцов К. Д., науч. рук. Жуйко Л. И. ВАЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗАЦИИ СБОРА И АНАЛИЗА ДАННЫХ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ.....	240
Лукманов А. А. ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ РЕШЕНИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС: КАДРОВЫЙ БАРЬЕР.....	246
Ремизова И. В., Новикова М. А. РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ РЕАКТОРА ОКИСЛЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА В СРЕДЕ CLIPS.....	252
Анцупов Н. А. ОБНАРУЖЕНИЕ И ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭНТРОПИИ ВИНЕРА.....	259
Альтерман Я. А., науч. рук. Чабина Е. А. СОВРЕМЕННЫЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ЭТАПЕ СТРОИТЕЛЬСТВА И ВО ВРЕМЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЯ.....	265
Виноградов М. М., науч. рук. Благодарный Н. С. РАЗРАБОТКА ТРЕХМЕРНОГО ВИРТУАЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРА ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА КВ-ГМ/2-58,2-150.....	270
Александров А. М., науч. рук. Оробинский А. М. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ НА БАЗЕ СОВРЕМЕННОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕСИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА.....	276
Круглякова П. В., науч. рук. Оробинский А. М. АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОКОНТРОЛЛЕРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТАНКОВ И МЕХАНИЗМОВ С АВТОМАТИЗИРОВАННЫМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ....	282

Ошлыков Т. Е., науч. рук. Оробинский А. М. АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СТАНКОВ И МЕХАНИЗМОВ НА БАЗЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ СХЕМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЧАСТОТЫ.....	287
Борко В. В., науч. рук. Благодарный Н. С. ТЕХНОЛОГИЯ ОБУЧЕНИЯ В XXI ВЕКЕ: ОБЗОР КОМПАНИЙ, ФОРМИРУЮЩИХ БУДУЩЕЕ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ.....	292
Журавлев Т. И., науч. рук. Шафикова А. И. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА И ЗАЩИТА СЕТИ С ПОМОЩЬЮ АВТОМАТИЗАЦИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ.....	302
Рождественский В. Д., Сафронов А. А. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕСЩЕТОЧНОЙ ДИОДНОЙ СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ.....	310
Рожков В. И., Игнатьева Т. Ю. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ ЗА РАБОТОЙ ОПЕРАТОРА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РУЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ НА ПУЛЬТЕ УПРАВЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА.....	315
Стряпухин С. Н., науч. рук. Королев В. И. РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА БАЛКИ МОСТОВОГО КРАНА С ПЕРЕМЕЩАЕМЫМ ГРУЗОМ.....	324
Крапивин М. И., Урлапов С. С., науч. рук. Пузина Е. Ю. АНАЛИЗ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УЧАСТКА НОВЫЙ УОЯН – АНГАРАКАН.....	329
Maksyutov I. R., Academic Advisor Gilyazeva G. Z. THE USE OF SHORT CIRCUIT INDICATORS FOR OVERHEAD AND CABLE LINES WITH A VOLTAGE CLASS OF 6-35 KV TO DETERMINE THE LOCATION OF DAMAGE AND MONITOR THE CONDITION OF THE LINES.....	337
Zakhvatov D. E., Academic Advisor Gilyazeva G. Z. DIGITAL SUBSTATION CYBERSECURITY ANALYSIS.....	343

АНТЕННОЕ НАВЕДЕНИЕ СИГНАЛА В ФАЗНЫЙ ПРОВОД ДЛЯ ЗАДАЧ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ

магистрант **Рахматуллин Самат Султанович**,
науч. руководитель: доктор техн. наук, доцент **Касимов Василь Амирович**,
Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. В настоящей работе, базирующейся на анализе научной литературы, предпринимается попытка исследовать ключевые особенности мониторинга и диагностики воздушных линий электропередачи (ВЛЭП). Рассматриваются основные аспекты применения локационного мониторинга ВЛЭП. Предлагается инновационное решение подключения локатора к ВЛЭП для наведения высокочастотного сигнала в фазный провод электросети с использованием г-образного трансформирующего элемента на базе антенны. Такое устройство может быть использовано в целях общего противоаварийного управления энергосистем.

Ключевые слова: электроэнергетика, энергосистема, локатор, антенна, мониторинг, противоаварийное управление.

ANTENNA POINTING OF A SIGNAL IN A PHASE WIRE FOR TASKS OF EMERGENCY CONTROL AUTOMATION

Master Student **Rakhmatullin Samat Sultanovich**,
Academic Advisor: Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
Kasimov Vasil Amirovich,
Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russian Federation

Abstract. This paper, based on the analysis of scientific literature, attempts to investigate the key features of monitoring and diagnostics of overhead power lines (OPL). The main aspects of the application of OPL localization monitoring are considered. An innovative solution of connecting a locator to overhead power lines for pointing a high-frequency signal into the phase wire of the power grid using a g-shaped transforming element based on an antenna is proposed. Such a device can be used for general emergency control of power systems.

Keywords: electric power industry, power system, locator, antenna, monitoring, emergency control.

Общеизвестно, что устойчивое развитие секторов топливно-энергетического комплекса требует непрерывного совершенствования методов управления, мониторинга и диагностики объектов электроэнергетической инфраструктуры. Важным элементом современной электроэнергетики является

воздушная линия электропередачи, предназначенная для транспортирования электрической энергии от генерирующих источников к промышленным и бытовым потребителям.

С целью повышения надежности и безопасности функционирования и эксплуатации энергосистем в настоящее время актуальным направлением в исследованиях является использование различных инновационных способов мониторинга ВЛЭП, среди которых следует акцентировать внимание на локационном методе наблюдения за состоянием параметров электросети. Локационное зондирование ВЛЭП включает в себя сбор, обработку и анализ данных о состоянии последних, а также об их расположении и окружающей внешней среде [1, с. 3].

Цель настоящей работы – представить уникальное антенное решение для наведения высокочастотного сигнала в фазный провод ВЛЭП, который может быть использован для передачи аварийных команд между различными объектами электроэнергетики.

В настоящее время мониторинг ВЛЭП возможно осуществить как традиционными, так и инновационными методами, способами и средствами.

Традиционно в секторе электроэнергетики распространено осуществление визуального осмотра для периодических проверок состояния ЛЭП. Мероприятия по визуальному осмотру возможно реализовать как с помощью наземного, так и воздушного транспорта. Несмотря на простоту и быстроту реализации наземного осмотра, данный способ характеризуется существенными тратами времени и ресурсов. Применение авиации (как правило, небольших вертолетов) в целях наблюдения за ВЛЭП также является традиционным. Этот способ более эффективен по сравнению с наземными осмотрами, однако его реализация сопровождается значительными финансовыми затратами [1, с. 4].

Что касается современных технологий, то они существенно расширяют возможности мониторинга. К инновационным методам и средствам наблюдения за ВЛЭП относятся:

1. Дроны. Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для мониторинга ВЛЭП дает возможность получать высококачественные изображения и иную необходимую информацию с труднодоступных участков.

2. Геоинформационные системы (ГИС). Благодаря их использованию сотрудники электросетевых и энергоснабжающих организаций могут комплексно исследовать данные как о расположении ВЛЭП, так и о техническом состоянии последних.

3. Антенная аппаратура, датчики и сенсорные технологии. Установка датчиков на опорах ВЛЭП открывает возможность собирать информацию о нагрузках в сети, наличии вибрационных и иных критических процессов в режиме Real-time [2, с. 148].

Видим, что современные технологии мониторинга значительно отличаются от традиционных, являясь более эффективными. Обобщим некоторые из вышеупомянутых преимуществ использования новых средств наблюдения:

1) повышение точности и оперативности получаемых данных о состоянии ВЛЭП;

2) сокращение финансовых затрат за счет автоматизации процесса мониторинга;

3) повышение производственной безопасности и снижение риска для персонала энергетических компаний.

Ключевые недостатки применения современных технологий мониторинга:

1) нуждаемость многих энергопредприятий в соответствующих инвестициях на разработку и внедрение новых методов мониторинга;

2) высокие требования к квалификации ответственного персонала;

3) риски, связанные с обеспечением информационной безопасности [2, с. 149].

В настоящей статье предпринимается попытка представить способ осуществления локационного мониторинга с помощью подключения специальной согласующей г-образной антенны к фазному проводу ВЛЭП.

Анализ литературы показал, что локационное зондирование ВЛЭП является методом неразрушающего контроля, основанным на использовании электромагнитных волн для получения различной информации о состоянии линии. Данный метод мониторинга и диагностики помогает сотрудникам в сфере электроэнергетики определять местоположение повреждений изоляции, обрывов проводов, коррозии металлических элементов и иных неисправностей, которые могут привести к авариям и перебоям в электроснабжении [3, с. 10].

Принцип работы локационного зондирования основан на измерении времени прохождения электромагнитного сигнала от высокочастотного передатчика до ВЧ-приемника. Передатчик генерирует короткий импульс электромагнитной энергии, который распространяется вдоль ВЛЭП. Когда сигнал достигает дефекта, часть энергии отражается обратно к приемнику. Измеряя время задержки между отправленным и принятым сигналами, можно определить местоположение образовавшегося на линии дефекта [3, с. 11].

В настоящее время существует несколько типов локационных систем, которые различаются по частоте сигнала, методу его обработки и точности определения местоположения повреждений. Наиболее распространенными являются импульсные и частотные локационные системы. Первые используют короткие импульсы для измерения времени задержки, а вторые анализируют изменения частоты сигнала, вызванные отражением от дефектов [3, с. 11].

Сегодня локационное зондирование широко применяется в электроэнергетике для контроля состояния ВЛЭП различного напряжения и протяженности. Метод используется как для регулярного технического обслуживания линий, так и в целях выявления дефектов после возникновения аварий в энергосистеме или стихийных бедствий на территориях, на которых протянуты эксплуатируемые электрические провода [4, с. 232].

Анализ литературы показал, что реализация эффективного локационного мониторинга направлена на решение следующих задач:

1. Устранение аварий в энергосистеме. Данный тип зондирования открывает возможность своевременного обнаружения повреждений и неисправностей в электросети для минимизации эксплуатационных рисков.

2. Оптимизация планирования работ по техническому обслуживанию ВЛЭП. Она способствует существенной экономии ресурсов и снижению трудозатрат.

3. Упрощение проектирования новых электроэнергетических объектов и модернизации существующих воздушных электросетей [4, с. 233].

Для решения задачи локационного мониторинга, включая наведение высокочастотного сигнала в фазу, который будет использоваться в дальнейшем с целью задействования устройств противоаварийной автоматики, в настоящей статье предлагается использовать так называемое локаторное устройство. Локаторы могут быть подвешены к проводам ВЛЭП как симметричным, так и несимметричным образом. Второй способ является более перспективным, поскольку отличается простотой конструкции и возможностью подавать питание через кабель коаксиального типа. Несимметричное согласование предлагается выполнить в виде протяженной антенны типа inverted-L [5, с. 27].

В качестве штыревой антенны используем грозозащитный трос, а в качестве объекта инъекции импульса – один из фазных проводов ВЛЭП. В таком случае получим г-образный трансформирующий элемент (рис. 1), который применяется в целях подключения проводов различного назначения к коротковолновым антенным устройствам, выполненным из проводящего материала [6, с. 16].

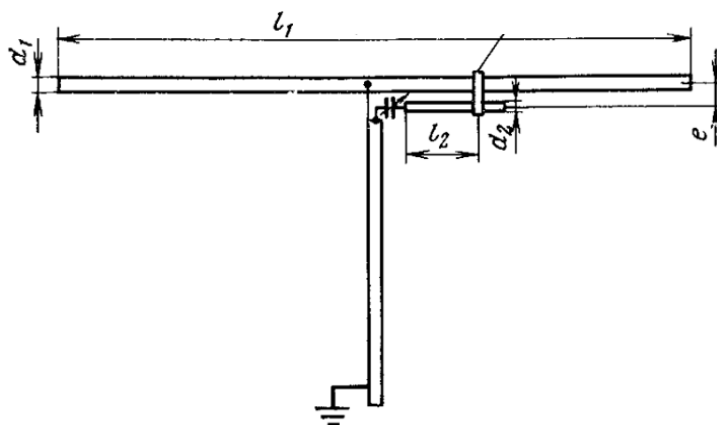


Рисунок 1. Схема г-образного трансформирующего элемента

На рис. 1 видим, что регулирование параметров сигнальной волны возможно осуществить путем изменения не только диаметра и протяженности проводов, но и расстояния между ними.

Далее реализуем данную схему в программном виде с помощью создания соответствующей компьютерной модели, основой для которой будет являться модель существующей ВЛЭП. В качестве инструмента для проведения последующего моделирования и выполнения расчетов будет использоваться компьютерно-программный комплекс Power Systems Computer Aided Design, более известный как PSCAD [7, с. 55].

Модель распространения локационных сигналов по реальной существующей ВЛЭП, эксплуатируемой в Республике Татарстан, представлена на рис. 2 [3, с. 16].

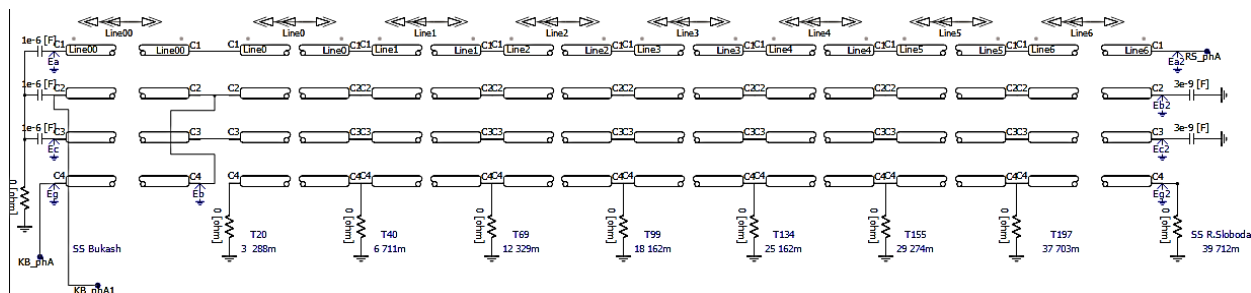


Рисунок 2. Модель существующей ВЛЭП в программе PSCAD

Необходимо преобразовать данную модель в рассмотренную выше схему с г-образным согласующим элементом. Это возможно сделать путем отказа от использования так называемой аппаратуры присоединения, то есть высокочастотных заградителей, конденсаторов связи и фильтров присоединения [4, с. 233].

Отступим от левой подстанции на расстояние, равное 300 м (с целью устранения нежелательных помех), и установим на данном участке антенну типа inverted-L, выполненную из имеющегося на ВЛЭП протяженного грозозащитного троса. Однако важно отметить, что расстояние между грозотросом и фазным проводом весьма велико, в связи с чем его необходимо уменьшить (например, до 5 см, поскольку данное значение является стандартным при установке антенн с г-образной конструкцией). Это возможно сделать с помощью процедуры разрыва кабеля грозозащиты. После того, как кабель разорван, его следует подключить к фазе через некоторое активное сопротивление, значение которого, согласно справочным данным, установим равным 75 Ом. Последним этапом является подключение генератора для наведения локационного сигнала в фазный провод. Один конец генератора выведем на соответствующую фазу, а другой непосредственно подключим к кабелю грозозащиты. Сопротивление генератора выберем стандартно равным 100 Ом. Полученная в PSCAD модель г-образной трансформирующей аппаратуры представлена на рис. 3.

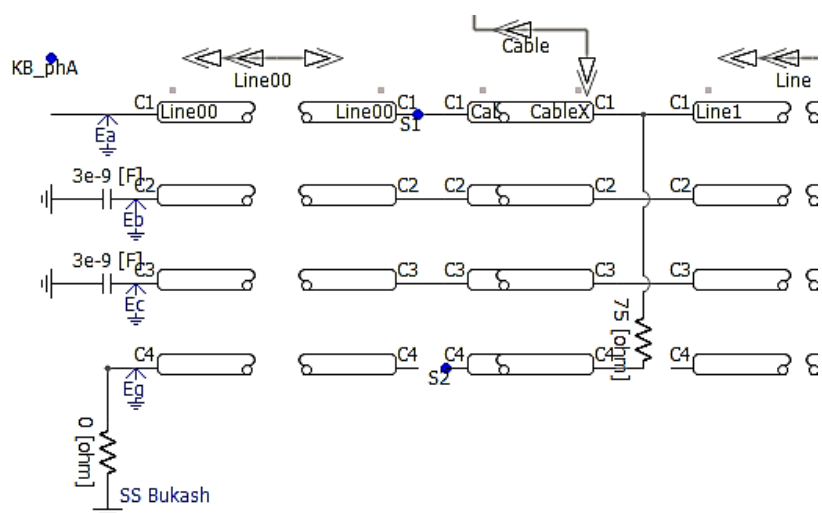


Рисунок 3. Модель г-образного трансформирующего устройства в PSCAD

Данная схема подключения локатора в электротехнике и радиофизике называется шунтирующим согласованием. Такое согласование позволяет использовать наведенный от антенны сигнал для задач локационного мониторинга ВЛЭП и общего противоаварийного управления [4, с. 234].

После запуска расчета в PSCAD возможно получение осциллографических данных о соответствующем сигнале, в том числе значение амплитуды его напряжения, выраженное в относительных единицах (рис. 4).

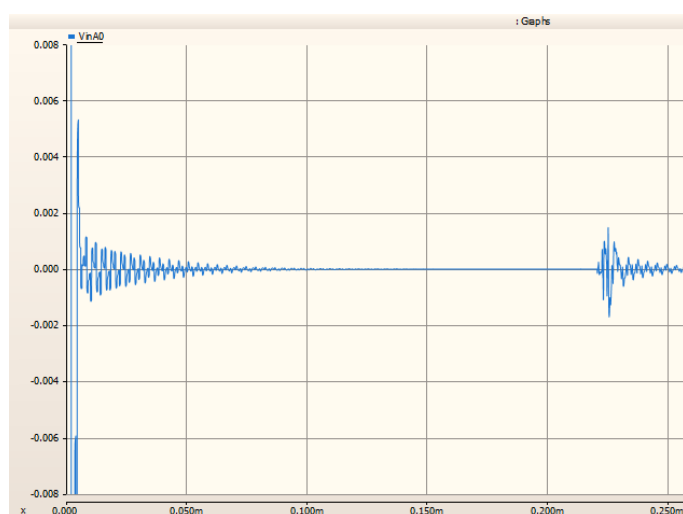


Рисунок 4. Амплитуда наведенного сигнала при моделировании в PSCAD

Таким образом, локационное зондирование является эффективным методом контроля состояния ВЛЭП. Оно позволяет своевременно обнаруживать дефекты и предотвращать аварии, что способствует повышению надежности и безопасности функционирования энергосистем. Анализ показал, что в настоящее время существует большое количество методов локационного мониторинга, среди которых особое распространение получают инновационные решения, включая использование различных антенн. Предложенная в работе схема подключения антенны типа inverted-L через г-образное согласование является

новым экономичным технико-технологическим решением, которое открывает возможность реализации задач по наведению высокочастотных сигналов в фазный провод. Результаты моделирования показали возможность получения такого сигнала, который в последующем может быть передан в подстанционные устройства противоаварийной автоматики.

Список литературы:

1. Абдурасулов, Ш. А. Системы мониторинга ЛЭП / Ш. А. Абдурасулов, О. Н. Пушкарев. – Текст: непосредственный // Инициативы молодых – науке и производству: Сборник статей II Всероссийской научно-практической конференции для молодых ученых и студентов, Пенза, 19–20 октября 2021 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2021. – С. 3-6.
2. Абдуллоев, М. Н. Обзор иностранного рынка диагностики ЛЭП / М. Н. Абдуллоев. – Текст: непосредственный // Мавлютовские чтения: Материалы XV Всероссийской молодежной научной конференции. В 7-ми томах, Уфа, 26–28 октября 2021 года. Том 3. – Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2021. – С. 148-153.
3. Минуллин, Р. Г. Локационный мониторинг воздушных линий электропередачи с обнаружением гололедных отложений и визуализацией результатов зондирования / Р. Г. Минуллин и др. – Текст: непосредственный // Электрические станции. – 2022. – № 12. – С. 10-19.
4. Минуллин, Р. Г. Способы подключения аппаратуры локационного мониторинга к воздушным линиям электропередачи / Р. Г. Минуллин и др. – Текст: непосредственный // Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике: Материалы XIV Всероссийской научно-технической конференции, Чебоксары, 06–08 июня 2024 года. – Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова, 2024. – С. 232-235.
5. Окунев, Е. В. Вариант согласования штыревых антенн с проводящей поверхностью / Е. В. Окунев и др. – Текст: непосредственный // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2020. – № 1. – С. 26-30.
6. Верба, Б. П. Структурно-параметрический синтез согласующих устройств для КВ-и УКВ-антенн / Б. П. Верба, К. В. Шишаков. – Текст: непосредственный // Интеллектуальные системы в производстве. – 2020. – № 2. – С. 14-27.
7. Рахматуллин, С. С. Моделирование высоковольтных линий переменного тока с помощью PSCAD / С. С. Рахматуллин, В. Р. Сагиров, Л. Р. Мавляутдинов. – Текст: непосредственный // Междисциплинарность науки как фактор инновационного развития: Сборник статей Международной научно-практической конференции, Стерлитамак, 27 марта 2022 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью «ОМЕГА САЙНС», 2022. – С. 55-57.

© Рахматуллин С. С., 2024

МОДЕЛИРОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ СЕРВИСА ПОМОЩИ СТУДЕНТАМ

студент **Сизьмина Дарья Вячеславовна**,
науч. руководитель: ст. преподаватель **Артемьев Виктор Степанович**,
Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова,
Москва, Российская Федерация

Аннотация. Моделирование бизнес-процессов – это важный аспект управления организациями, который помогает визуализировать, анализировать и оптимизировать процессы. Это позволяет увидеть проблемные зоны, нуждающиеся в изменениях. В работе рассматриваются основные подходы, применяемые в моделировании бизнес-процессов, а также построен бизнес-процесс сервиса помощи студентам в выполнении поставленных перед ними задач.

Ключевые слова: функциональная модель, моделирование, методология описания бизнес-процессов, процессная модель, информационная система.

MODELING BUSINESS PROCESSES OF A STUDENT ASSISTANCE SERVICE

Student **Sizmina Daria Vyacheslavovna**,
Academic Advisor: Senior Lector **Artemyev Victor Stepanovich**,
Plekhanov Russian University of Economics,
Moscow, Russian Federation

Abstract. Business process modeling is an important aspect of managing organizations that helps to visualize, analyze and optimize processes. This allows you to see problem areas that need changes. The paper examines the main approaches used in business process modeling, and also builds a business process for a service to help students in completing their tasks.

Keywords: functional model, modeling, methodology for describing business processes, process model, information system.

В современном образовательном процессе студенты сталкиваются с множеством вызовов, требующих не только знаний, но и навыков эффективного управления временем, ресурсами и информацией. Сервисы помощи студентам становятся важным инструментом для повышения их академической успеваемости и общего благополучия. Моделирование бизнес-процессов таких сервисов представляет собой актуальную задачу, позволяющую оптимизировать их работу, улучшить качество предоставляемых услуг и повысить удовлетворенность

пользователей. В данной статье рассматриваются ключевые аспекты моделирования бизнес-процессов сервиса помощи студентам [1, с. 12-15].

В этом контексте выделяются два популярных подхода, методология и нотация. Контекстная диаграмма представляет собой структурированный подход к описанию бизнес-процессов, акцентируя внимание на конечных результатах, предлагая четкую структуру для анализа процессов, а также включая диаграммы. Важным этапом в построении контекстных диаграмм является определение целей процесса, что позволяет установить, чего именно должен достичь процесс, например, улучшение качества обслуживания клиентов.

Следующим шагом является идентификация входов и выходов, что позволяет определить ресурсы, необходимые для выполнения процесса, и результаты, которые он должен генерировать. Анализ ресурсов помогает выявить людей, технологии и информацию, задействованные в процессе. Процесс разбивается на подзадачи и подпроцессы для более детального анализа, что создает иерархическую структуру [2, с. 221-233]. На завершающем этапе используются метрики для оценки производительности процессов и выявления узких мест.

Схема, составленная в методологии, представляет собой многоуровневую модель, визуализирующую процесс оказания помощи студентам. Данная схема позволяет понять основные компоненты системы и их взаимодействие. Рассмотрим первый уровень разработанной схемы. Главный блок – помощь студентам, основная цель бизнес-процесса, на вход идет студент, которому необходима помощь, выход представляет собой выполненное задание, управление деятельностью (верх) берет на себя учебная литература, основатель сервиса и критерии проверки работ. Механизмы и инструменты (низ) – это студенты, завершившие обучение, преподаватели и репетиторы.

Данный уровень демонстрирует общий процесс: от запроса помощи до получения выполненного задания. Управляющие элементы обеспечивают поддержку и контроль качества предоставляемых услуг. Наличие учебной литературы и критериев проверки работ позволяет стандартизировать процесс и повысить его эффективность (рисунок 1). Четко выстроенная система обратной связи между исполнителем и получателем услуги помогает оперативно вносить корректировки, что существенно снижает вероятность ошибок и повышает качество конечного результата. Управляющие элементы, такие как контрольные точки, промежуточные отчеты и регулярные проверки, позволяют не только отслеживать прогресс выполнения задания, но и оценивать соответствие установленным стандартам. Подобный подход способствует повышению прозрачности процессов и созданию механизма постоянного улучшения, что особенно важно в условиях быстрого изменения требований и стандартов в различных отраслях.

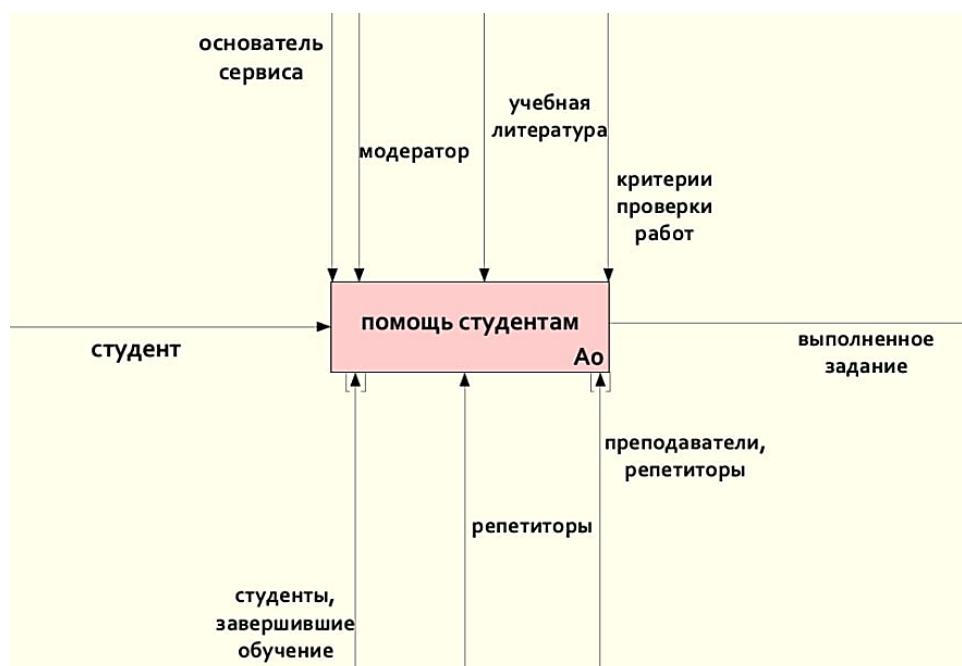


Рисунок 1. Схема информационной системы помощи студентам

Второй уровень представляет собой более детальное описание процесса, рассмотрим его. На вход по-прежнему идет студент, которому необходима помощь, управление деятельностью, механизмы и инструменты те же, однако описаны шаги, которые обеспечивают работу бизнес-процесса. Первым идет оформление заявки, заявка попадает к модератору, модератор передает заявку преподавателю, затем происходит обсуждение с преподавателем. Следующим шагом будет начало производства работы для студента и ее отправка через удобный для студента мессенджер. Финальное действие – это получение обратной связи. Представленная схема детализирует процесс взаимодействия студента с системой, показывая последовательность действий и важные этапы. Такая последовательность действий обеспечивает не только ясность и прозрачность, но и высокую степень персонализации услуг. Каждый этап сопровождается проверкой на соответствие запросам студента, что минимизирует вероятность несоответствий и обеспечивает высокий уровень удовлетворенности. Использование мессенджеров для передачи готовых материалов позволяет ускорить процесс и сделать его более удобным для пользователя, обеспечивая гибкость взаимодействия. Обратная связь, получаемая на финальном этапе, является важным элементом для дальнейшего улучшения сервиса, позволяя учитывать пожелания студентов и совершенствовать образовательные процессы. Каждый шаг процесса четко определен, что позволяет избежать недоразумений и ускоряет выполнение задач (рисунок 2).

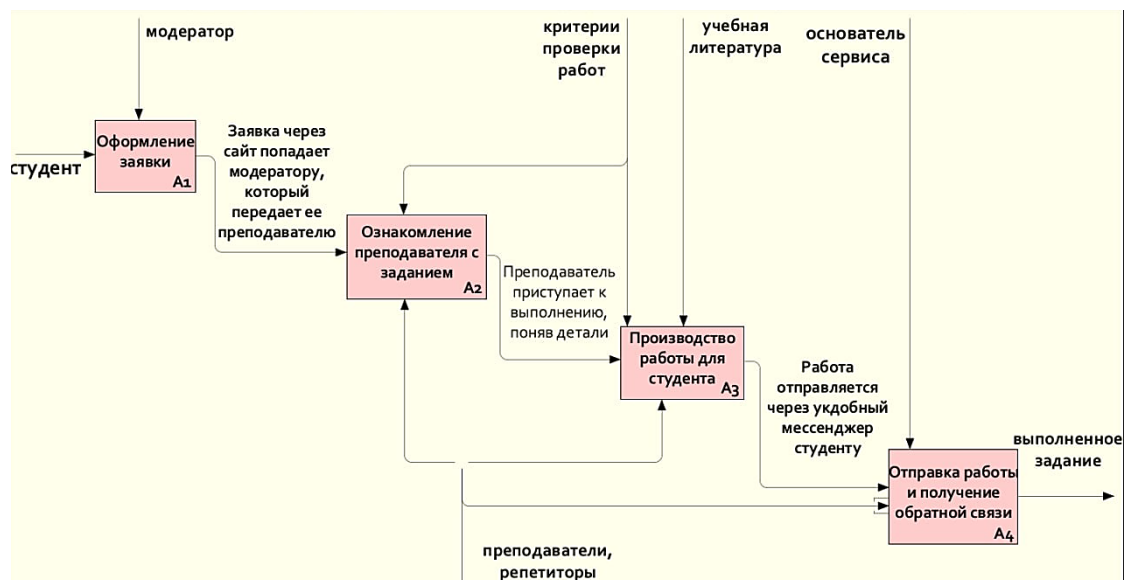


Рисунок 2. Декомпозиция системы помощи студентам

Третий уровень представляет собой более детальное пояснение каждого действия второго уровня. Процесс оформления заявки имеет следующие шаги: студент заходит на сайт, нажимает кнопку оформить заявку, заполняет выгруженную на сайт форму и отправляет заявку. Результатом станет полученная модератором заявка, которую он передает преподавателю (рисунок 3).

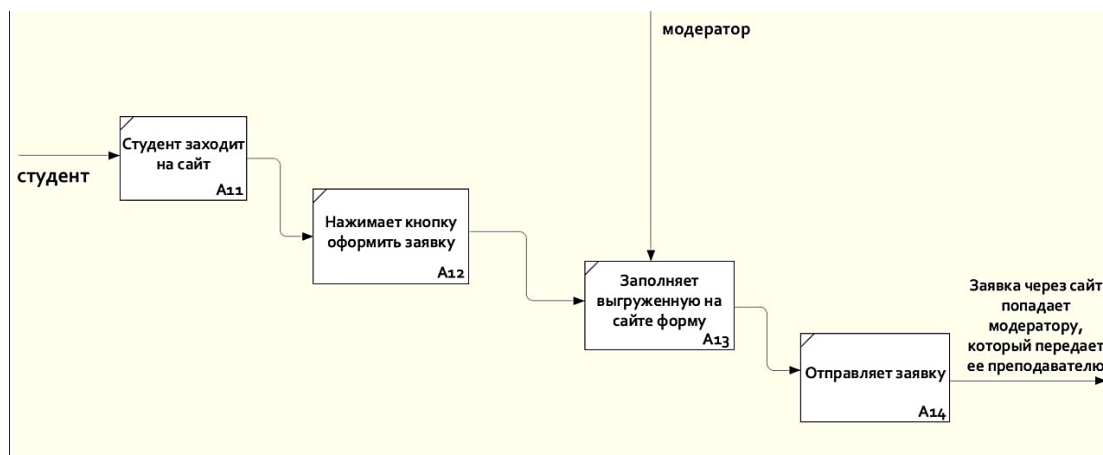


Рисунок 3. Декомпозиция системы помощи студентам (оформление заявки)

Ознакомление преподавателя с заданием имеет следующее пояснение: преподаватель изучает задание, смотрит критерии работы, используя документацию, загруженную в хранилище сервиса (рисунок 4).

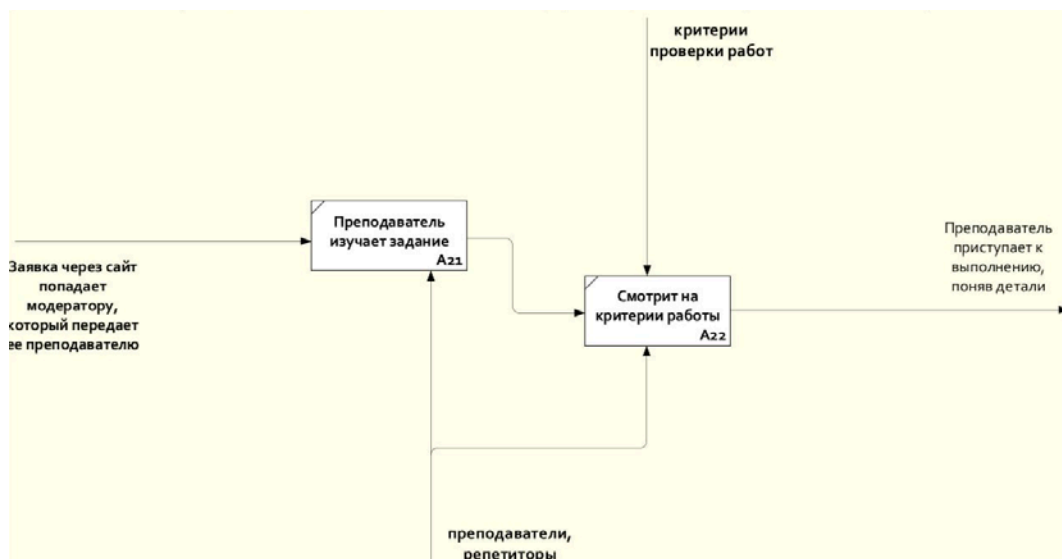


Рисунок 4. Декомпозиция системы помощи студентам
(ознакомление преподавателя с заданием)

Процесс производства работы включает в себя следующие этапы: выполнение работы с помощью учебной литературы и критериев проверки работ и поиска мессенджера студента, хранящегося в его заявке для удачной отправки работы (рисунок 5).

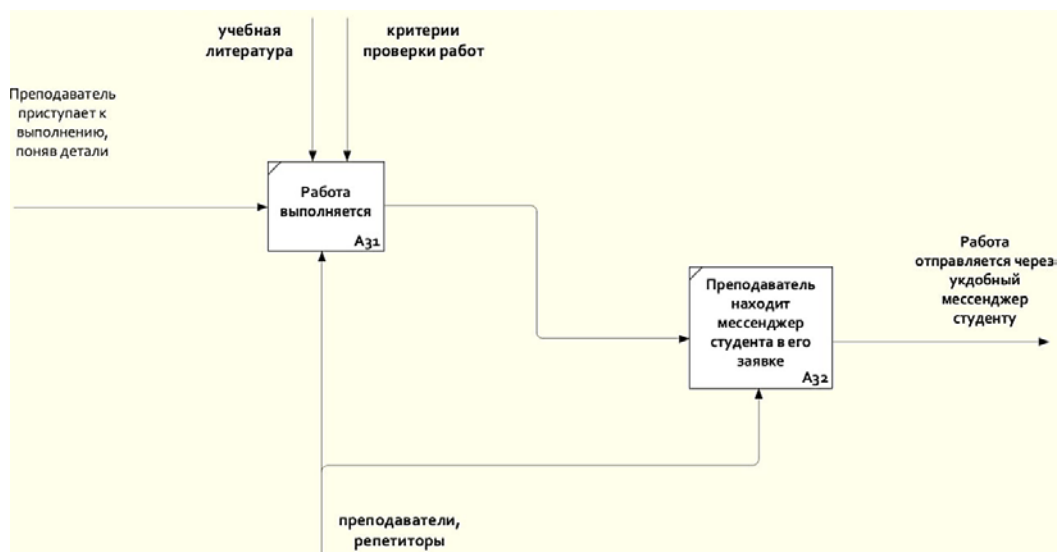


Рисунок 5. Декомпозиция системы помощи студентам
(производство работы для студента)

Этап отправки работы и получения обратной связи происходит следующим образом: студент получает выполненную работу, сдает ее своему преподавателю, а далее отправляет преподавателю сервиса обратную связь, свои баллы/оценку (рисунок 6).

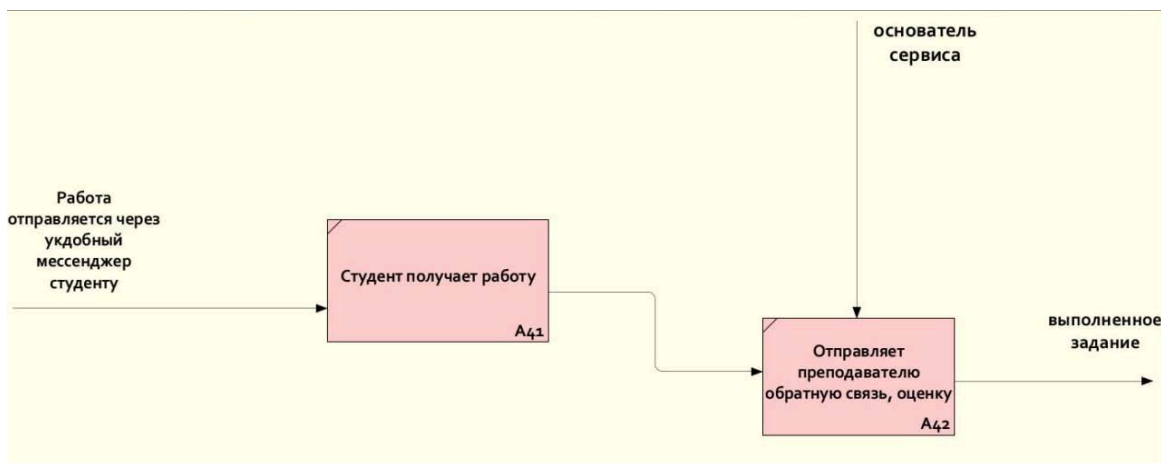


Рисунок 6. Декомпозиция системы помощи студентам
(отправка студенту и получение обратной связи)

Декомпозиция системы позволяет наглядно представить структуру и логику работы информационной системы. Она помогает выявить ключевые элементы процесса и их взаимосвязи, что облегчает анализ и оптимизацию системы. Более того, такая визуализация способствует лучшему пониманию работы системы как для студентов, так и для преподавателей.

Далее же рассмотрим представление бизнес-процессов через нотацию BPMN. Основные элементы BPMN включают события, которые представляют начальные и конечные точки процесса; конкретные действия или задачи, выполняемые в процессе; сетевые соединения, показывающие поток процесса; группы и подпроцессы, которые позволяют организовать сложные процессы в более простые структуры; а также участников, которые представляют роли или группы, ответственные за выполнение задач. Этапы моделирования в BPMN начинаются с определения границ процесса, что позволяет установить начало и конец процесса. Далее идет идентификация участников, где определяются роли и группы, вовлеченные в процесс. Создание диаграммы процесса осуществляется с использованием элементов BPMN для визуализации потока работы. Затем проводится анализ созданной диаграммы на предмет возможных улучшений и узких мест. Завершает процесс документация модели и ее внедрение в практику [3, с. 102-113].

Рассмотрим составленную для описания сервиса помощи студенту модель BPMN. На старт идет желание студента получить помощь и переход на сайт, подпроцессом является нахождение студентом сайта о помощи, действие – это оформление заявки на сайте. К действию подкреплен документ – шаблон заявки, промежуточным событием будет отправление заполненной заявки. Далее следуют действия: получение заявки профильным преподавателем и выполнение задания с учетом требования заказчика, к данному действию также прикреплен документ нормативный документ и критерии работы. Финишем является отправка работы студенту и получение обратной связи (рисунок 7).

BPMN схема позволяет более детально проанализировать бизнес-процессы, связанные с оказанием помощи студентам. Она способствует лучшему пониманию последовательности действий, а также выявлению возможных узких

мест и мест для улучшения [4, с. 10-13]. Представленная схема также помогает в автоматизации процессов, что может значительно сократить время выполнения задач.

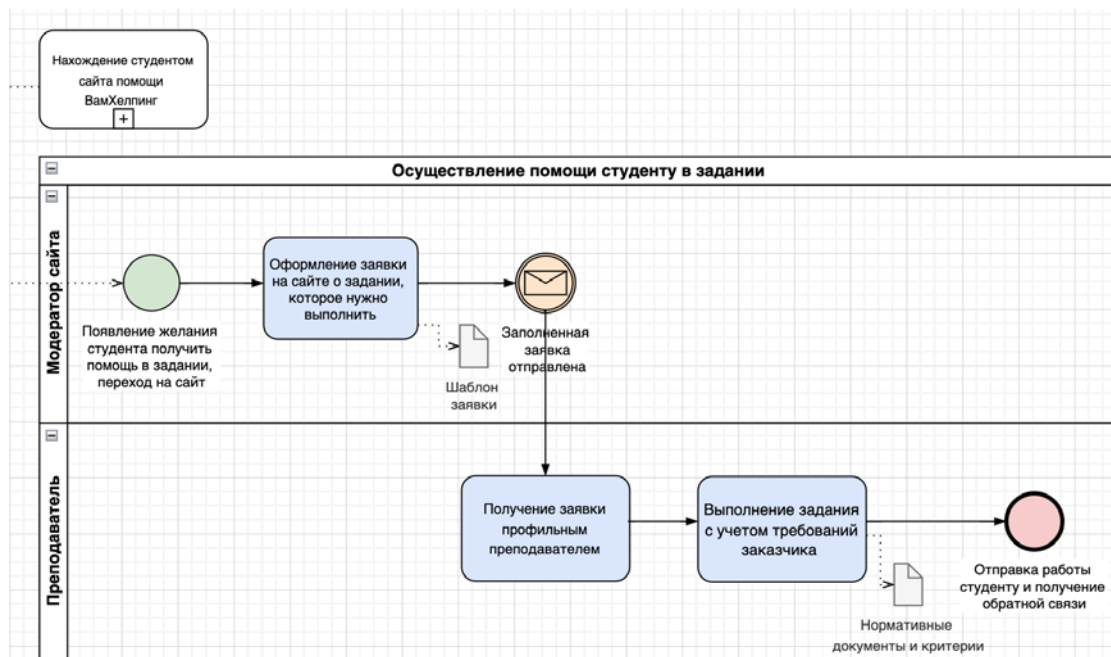


Рисунок 7. BPMn-схема информационной системы помощи студентам

Несмотря на различия между методологией и нотацией, оба подхода имеют свои преимущества. IDf0 предлагает глубокий анализ и структурирование процессов, тогда как BPMN предоставляет удобный визуальный язык для представления сложных потоков работы. Выбор между ними зависит от конкретных целей и потребностей организации. Важно отметить, что оба подхода могут быть использованы совместно для достижения наилучших результатов в управлении бизнес-процессами. Используя эти инструменты, организации могут значительно повысить свою эффективность и адаптивность к изменениям на рынке [5, с. 10-20].

Моделирование бизнес-процессов сервиса помощи студентам является важным этапом в создании эффективной системы поддержки обучающихся. Правильное понимание и оптимизация этих процессов позволяют не только улучшить качество предоставляемых услуг, но и повысить общую удовлетворенность студентов. В результате внедрения предложенных рекомендаций можно ожидать значительного повышения эффективности работы сервиса, что, в свою очередь, будет способствовать успешному обучению и развитию студентов. В дальнейшем необходимо продолжать исследовать новые подходы к моделированию и внедрению инновационных технологий в сферу образовательных услуг.

Список литературы:

1. Мищенко, А. В. Моделирование бизнес-процессов: методология и практика / А. В. Мищенко. – Москва: Бизнес-Пресса, 2020. – 256 с. – Текст: непосредственный.
2. Кузнецов, В. А. Бизнес-процессы: теория и практика / В. А. Кузнецов, Н. П. Сидорова. – Екатеринбург: УралГУФК, 2021. – 300 с. – Текст: непосредственный.
3. Дьяков, И. С. BPMN 2.0: практическое руководство по моделированию бизнес-процессов / И. С. Дьяков. – Санкт-Петербург: Питер, 2019. – 192 с. – Текст: непосредственный.
4. Романов, П. Н. Методология Ramus в управлении бизнес-процессами / П. Н. Романов, Е. В. Смирнова. – Москва: Наука и техника, 2022. – 180 с. – Текст: непосредственный.
5. ГОСТ Р ИСО/МЭК 19510-2015. Нотация моделирования бизнес-процессов (BPMN): национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 декабря 2015 г. № 2034-ст: дата введения 2016-06-01. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 40 с. – Текст: непосредственный.
6. Artemyev V. Theoretical and practical aspects of the application of the dynamic programming method in optimal control problems / V. Artemyev, N. Mokrova, A. Hajiyeu // Machine Science. – 2024. – Vol. 13, No. 1. – P. 46-57. – DOI 10.61413/GIPV6858.

© Сизьмина Д. В., 2024

УСТАНОВКА МОНИТОРИНГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА

студент **Уфимцев Андрей Владимирович**,
заведующий кафедрой, канд. техн. наук, доцент
Филипас Александр Александрович,
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск, Российская Федерация

Аннотация. В представленной работе рассмотрена установка, моделирующая возможные сценарии протекания технологических процессов в нефтегазовой сфере, с целью предупреждения и оказания управляющего воздействия для ликвидации ситуаций, способных привести к нанесению ущерба окружающей среде. Установка направлена на моделирование наиболее частых внештатных ситуаций в данной отрасли: утечка транспортируемых углеводородов из нефтепровода или газопровода, прорыв газа, возникновение «газовой шапки» и демпфирование усилий работы установок и жидкости «газовой шапкой».

Ключевые слова: окружающая среда, моделирование, давление, утечка, регулирование, нефтепровод.

INSTALLATION OF MONITORING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN THE OIL AND GAS INDUSTRY TO PREVENT ENVIRONMENTAL DAMAGE

Student **Ufimtsev Andrey Vladimirovich**,
Head of the Department, PhD in Technology, Associate Professor
Filipas Alexander Aleksandrovich,
National Research Tomsk Polytechnic University,
Tomsk, Russian Federation

Abstract. In the presented work, an installation is considered that simulates possible scenarios of technological processes in the oil and gas sector, in order to prevent and provide control action to eliminate situations that can lead to damage to the environment. The installation is aimed at modeling the most common emergency situations in this industry: leakage of transported hydrocarbons from an oil or gas pipeline, gas breakthrough, the occurrence of a "gas cap" and damping of the efforts of the installations and the liquid by a "gas cap".

Keywords: environment, modeling, pressure, leakage, regulation, oil pipeline.

В современном мире нефтегазовая отрасль играет ключевую роль в мировой экономике, обеспечивая энергией и сырьем множество отраслей и повседневных потребностей человечества. Однако— добыча, транспортировка и переработка нефти и газа несут в себе потенциальные риски для окружающей среды, часто приводя к экологическим катастрофам. В связи с этим разработка и внедрение методов моделирования и прогнозирования технологических процессов в нефтегазовой отрасли приобретают важнейшее значение в целях предотвращения экологического ущерба. В данной статье мы рассмотрим значимость разработанной установки моделирования реальных производственных процессов в нефтегазовой и нефтехимической отраслях для эффективного контроля и управления технологическими процессами с целью минимизации негативного воздействия на окружающую среду.

Описание функционирования установки. Установка имеет в своем оснащении трехступенчатую автоматизированную систему управления, что приближает ее к системам контроля, управления и мониторинга промышленных производств. Данное техническое решение позволяет управлять установкой в трех режимах: вручную, с помощью заранее прописанного программного кода в программируемом логическом контроллере и дистанционно, с помощью разработанного программного обеспечения и системы ввода-вывода данных, а также их представления на экране оператора [1].

Моделирование происходит путем сохранения основных принципов и законов движения сырья по трубопроводам нефтегазовой отрасли и рабочей жидкости в системе трубопроводов разработанной установки. В роли транспортируемой по замкнутому циклу трубопроводов жидкости выступает силиконовое масло марки ПМС–5, так как оно наиболее близко по своей плотности к нефти.

Целью моделирования является отразить возможные аварийные ситуации и нерекомендуемые режимы работы с целью скорейшего определения неисправности и ее устранения для предотвращения нанесения ущерба окружающей среде. Для решения данной задачи установка была спроектирована из двух составных частей, одна из которых моделирует технологические процессы, связанные с транспортировкой и хранением нефти, а вторая часть — процессы связанным с транспортировкой газа [2].

Нефтяная часть моделирующей установки состоит из помповых непогружных насосов, перекачивающих рабочую жидкость по системе трубопроводов установки; трех гидроаккумуляторов, являющихся резервуаром для хранения рабочей жидкости, а также местом ее регулируемой утечки. Кроме того, данная часть установки имеет высокую степень насыщенности функциональными элементами и датчиками для контроля за моделированием внештатных ситуаций и быстрого их устранения. К данным устройствам относятся: 9 электромагнитных клапанов, 8 датчиков расхода жидкости, 3 преобразователя давления. Электромагнитные клапаны задают определенный процент открытия собственной задвижки, что позволяет регулировать проходное сечение потока рабочей жидкости.



Рисунок 1. Трехмерная конструкторская модель установки

В соответствии с принципами физического подобия местные потери протекающей через клапан жидкости с определенным процентом открытия задвижки имеют точно такую же физическую природу, что и потери на силы трения по длине участка магистрального нефтепровода или газопровода. Тем самым принцип регулирования потока жидкости, используемый в разработанной установке, позволяет имитировать различную длину трубопровода. А на трубопроводах отвода жидкости из гидроаккумуляторов, которые являются резервуарами для хранения, транспортируемого по системе трубопроводов силиконового масла, электромагнитные клапаны процентом открытия собственной задвижки задают объем и скорость расхода регулируемой утечки из участка нефтепровода [3]. В то время как датчики давления и расхода жидкости фиксируют изменения показаний и позволяют не только фиксировать изменения данных параметров протекания процесса, но и анализировать и высчитывать масштаб утечки, его последствия для экологии окружающей среды путем передачи сигнала с датчиков на программируемый логический контроллер (ПЛК).

Особенное отношение к регулированию и купированию моделируемых аварийных процессов побудило разработать на установке трехступенчатую систему автоматического управления передвижения нефти по магистральным трубопроводам. На нижней ступени данной системы управления расположены вышеупомянутые устройства для записи и фиксирования определенной физической переменной протекающего на установке эксперимента. Эти устройства передают посредством унифицированного токового сигнала с диапазоном от 4 до 20 мА данные на программируемый логический контроллер. В программном коде контроллера прописан алгоритм воздействия на систему при достижении тех или иных параметров протекания процесса. Такой подход предоставляет возможность управлять системой в автоматическом режиме, что

снижает вероятность ошибки оператора, который в силу человеческого фактора может не заметить начало возникновения опасной ситуации и превышения допустимых параметров работы системы [4]. Однако есть еще третья ступень автоматизации, которая представляет собой виртуальную модель установки, связывающую программируемый логический контроллер через интерфейсный кабель RS – 485 с компьютером, где установлена виртуальная модель. В данном случае виртуальная модель выполняет роль цифрового двойника и при установленном программном обеспечении позволяет предсказывать поведение системы при отклонении от заданных параметров и корректировать его, полностью исключая риск аварийных ситуаций и серьезного отклонения от требуемых параметров работы установки.

Газовая часть установки по аналогии с нефтяной также имеет трехступенчатую систему автоматического контроля и управления и содержит в своем составе следующие элементы: три пропорциональных клапана, три электропневматических пропорциональных регулятора, компрессор, пневматические шланги для транспортирования потока сжатого газа. Работа данной части установки осуществляется по следующему принципу: компрессор подает сжатый под давлением воздух, который имитирует природный газ через пневматические шланги, являющиеся физическим подобием магистрального газопровода. Пропорциональные клапаны выполняют роль регулируемого места утечки и вытесняют из системы определенный процент газа в зависимости от степени открытия, что позволяет имитировать утечку газа на газопроводе. А электропневматический регулятор позволяет фиксировать точное значение давления и объема газа в пневматическом шланге. Полученные показания передаются на ПЛК и оттуда по вышеописанной схеме, аналогичной гидравлической части установки, передаются на виртуальную модель для дистанционного управления, что чрезвычайно эффективно при работе на таком взрывоопасном объекте [5]. Сами пневматические шланги соединяются с верхней частью гидроаккумуляторов, тем самым осуществляя связь между газовой и нефтяной частью установки и позволяя моделировать процесс образования газовой шапки, что обеспечивается повышением давления, выдаваемым компрессором подачи сжатого воздуха и вытеснением рабочей жидкости из гидроаккумулятора.

Заключение. По итогам выполнения данной работы с целью снижения рисков экологической и производственной безопасности в нефтегазовой и нефтехимической отрасли была спроектирована и разработана установка физического подобия моделирования технологических процессов нефтегазовой отрасли для предотвращения экологического ущерба.

Разработанная установка включает в себя две секции, моделирующие нефтяные и газовые производственные процессы соответственно. Подобное решение обеспечивает широкие функциональные возможности установки и позволяет ей на основе законов физики и математики проводить моделирование прорыва газа, образование газовой шапки, имитировать разную длину нефтепровода, осуществлять регулируемые утечки на участке нефтепровода и газопровода.

Разработанная многоуровневая система автоматического управления и контроля позволяет избежать рисков образования внештатных ситуаций или допущения отклонения параметров протекаемых процессов за предельные значений, что может привести к экологической катастрофе в силу токсичности и взрывоопасности углеводородов. Однако с помощью программируемого логического контроллера, который управляет всеми манипулирующими устройствами установки в соответствии с прописанной заранее программой, исключается ошибка управления оператора, а также цифрового двойника с визуализированной виртуальной моделью, который позволяет действовать по предиктивному принципу и устранять заранее риски и возможности возникновения аварийных ситуаций.

Список литературы:

1. Жилияков, Е. В. Критериальный подход к профессиональному отбору оператора автоматизированной системы управления установки комплексной подготовки нефти и газа территориально-производственного предприятия «Когалымнефтегаз» / Е. В. Жилияков, И. Ю. Томус, З. Н. Монахова, С. А. Гузеева, Г. Л. Петров // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ, 2023 – №6. – С. 88 - 97. – Текст: непосредственный.
2. Аббасов, Г. А. Подготовка предложений по эффективному использованию попутных вод, добываемых совместно с нефтью на нефтяных месторождениях Апшеронского полуострова / Г. А. Аббасов, Н. А. Атакишиева, Л. Б. Курбанзаде // Геология нефти и газа, 2022. – Текст: непосредственный.
3. Олененко, А. Б. Системы обнаружения утечек – гарантия безопасной работы магистральных трубопроводов / А. Б. Олененко, Е. Г. Койнов, И. О. Разов. – Инженерный вестник Дона, 2018 – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemy-obnaruzheniya-utechek-garantiya-bezopasnoy-raboty-magistralnyh-truboprovodov> (дата обращения 15.07.2024). – Текст: электронный.
4. Любин, А. А. Анализ рисков возникновения техногенной катастрофы как результат аварии на нефтегазовом трубопроводе 10 / А. А. Любин // Вестник магистратуры, 2023. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-riskov-vozniknoveniya-tehnogennoy-katastrofy-kak-rezultata-avarii-na-neftegazovom-truboprovode> (дата обращения 03.05.2024). – Текст: электронный.
5. Боркова, Е. А. Цифровизация, автоматизация и интеллектуальный анализ данных в нефтегазовой промышленности / Е. А. Боркова // Техно-технологические проблемы сервиса, 2021. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-avtomatizatsiya-i-intellektualnyy-analiz-dannyh-v-neftegazovoy-promyshlennosti> (дата обращения 11.06.2024). – Текст: электронный.

©Уфимцев А. В., 2024

ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЕ КОНТАКТА НА СУШИЛЬНЫХ ЦИЛИНДРАХ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНЫХ МАШИН

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 статье с целью уточнения теплового расчета бумагоделательной машины рассмотрено термическое сопротивление при контакте высушиваемой бумажной массы с поверхностью сушильного вала.

Ключевые слова: термическое сопротивление контакта, температурные поля, тепловые потоки, теплопередача.

CONTACT RESISTANCE ON PAPER MACHINE SHAFTS

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

Abstract. In order to clarify the thermal calculation of a paper-making machine, the article considers the thermal resistance upon contact of the dried paper pulp and the surface of the drying roll of the paper-making machine.

Keywords: thermal contact resistance, temperature fields, heat flows, heat transfer.

Наибольшее распространение для сушки материалов, изготовленных на целлюлозной основе, в целлюлозно-бумажных производствах (ЦБП) получили контактные сушильные установки, являющиеся составной частью бумагоделательных машин (БДМ). Схема контактной сушильной установки приведена на рис. 1.

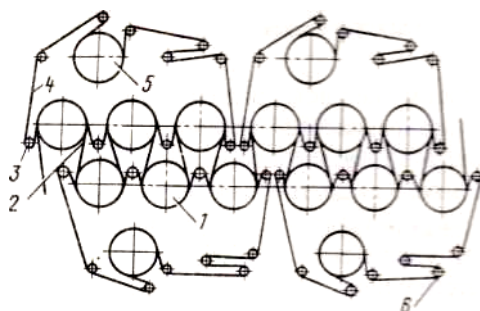


Рисунок 1. Схема контактной сушильной установки [1]:

1 – сушильный цилиндр; 2 – влажное полотно; 3 – ролики; 4 – прижимная сетка; 5 – сеткосушильный цилиндр; 6 — натяжное устройство

Поверхностью теплообмена в таких сушильных установках являются греющие и вращающиеся цилиндры (1), обогреваемые с внутренней стороны конденсирующимся паром низкого давления. Греющие цилиндры работающей БДМ непрерывно вращаются. При этом влажное полотно (2), находясь на части боковой поверхности цилиндров, движется со скоростью, равной окружной скорости их вращения 1000 м/мин и более. Время пребывания тонкого и влажного бумажного полотна на греющей поверхности цилиндра составляет 15 – 25 с. Движущееся влажное полотно последовательно огибает греющие цилиндры, попеременно соприкасаясь обеими своими поверхностями с их поверхностью. Для лучшего контакта и восприятия механических усилий, возникающих при натяжении, влажное полотно прижимается к греющей поверхности текстильным сукном или синтетической сеткой (4). Сушка сукон осуществляется специальными сукносушильными цилиндрами (5). Направление и натяжение движущихся сукон и сеток осуществляется роликами (3) и натяжными устройствами (6).

Температура влажного полотна в первом и втором периодах сушки во время контакта с греющей поверхностью достигает температуры кипения воды при данном давлении в сушильной камере. Вода закипает и испаряется, образуя паровую прослойку между поверхностями соприкосновения полотна и цилиндра, которая при несимметричности и неравномерности процесса передачи теплоты создает дополнительное тепловое сопротивление, снижающее интенсивность сушки, и не учитывается в настоящее время в тепловом расчете.

Несимметричность процесса передачи теплоты обусловлена изменением направления теплового потока на противоположное при переходе полотна на следующий цилиндр и неравномерностью стока теплоты. Неравномерность проявляется при восприятии теплоты греющего пара всей внутренней поверхностью стенки цилиндра, а теплоотдача осуществляется лишь на активной поверхности соприкосновения цилиндра с влажным полотном, что показано на рис. 1 и 2.

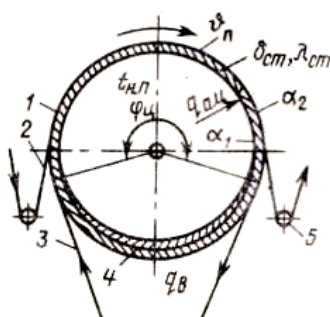


Рисунок 2. Схема теплообмена на сушильном цилиндре [1]:

1 – сушильный цилиндр; 2 – прижимный материал; 3 – влажное полотно бумаги; 4 – слой конденсата; 5 – ролик; $q_{a.ц.}$ – тепловой поток на активной поверхности цилиндра к бумажному полотну; $q_{в.}$ – тепловой поток от цилиндра к воздуху; α_1, α_2 – коэффициенты соответственно внутреннего и контактного теплообмена; $t_{н.п.}, \vartheta_{п.}$ – температура насыщенного пара и полотна соответственно; $\delta_{ст.}; \lambda_{ст.}$ – соответственно толщина и коэффициент теплопроводности стенки цилиндра

Процесс сушки целлюлозных материалов в контактных сушильных установках является нестационарным. В этих условиях совместное решение системы уравнений теплообмена, учитывающее периодическое изменение граничных условий на внешней поверхности цилиндра и связанный с этим частичный перенос теплоты, аккумулированной стенкой цилиндра в период соприкосновения с воздухом, приводит к следующему расчетному уравнению для определения удельной плотности теплового потока q_a , отнесенной к 1 м² активной поверхности цилиндра:

$$q_a = k(t_{н.п} - t_{п}^{ср}),$$

где k – коэффициент теплопередачи [1], служащий для расчета БДМ в настоящее время:

$$k = \frac{1-a}{\varphi_{ц}} \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1-a}{\varphi_{ц}\alpha_2}}, \quad (1)$$

где a – доля теплоты, отдаваемой свободной наружной боковой поверхностью цилиндра воздуху; $\varphi_{ц}$ – доля обхвата поверхности цилиндра влажным полотном; α_1 – коэффициент теплообмена при конденсации пара на внутренней поверхности; α_2 – коэффициент контактного теплообмена между стенкой цилиндра и влажным полотном; $\delta_{ст}$; $\lambda_{ст}$ – толщина и коэффициент теплопроводности стенки цилиндра.

При подобных тепловых расчетах на поверхности сушильного цилиндра БДМ рассматривается система, состоящая из двух тел: поверхность цилиндра и высушиваемое бумажное полотно. Такая модель расчета оправдана, если поверхности соприкасающихся тел идеально гладкие и термический контакт между ними осуществляется по всей поверхности.

В действительности поверхности валов БДМ и в особенности высушиваемого бумажного полотна никогда не бывают гладкими. Направление теплового потока при переходе полотна на следующий цилиндр, как указывалось выше, меняется на противоположное, что обуславливает образование паровой прослойки в объеме сетки или сукна и значительного количества сухих пятен. Поэтому термический контакт между соприкасающимися телами осуществляется не по всей поверхности, а только в отдельных ее точках или группах точек.

Исследования показывают, что площадь действительного контакта составляет незначительную долю номинальной площади соприкосновения. На большей же части поверхности контактирующие тела в первом и втором периодах сушки разделены зазорами, заполненными водой, влажным паром или воздухом.

Известно, что при тепловом контакте тел, имеющих большую теплопроводность, наличие плохо проводящих зазоров, как показано на рис. 3, а, вызывает стягивание линий теплового тока к местам фактического контакта. При этом плотность теплового потока, проходящего через плохо проводящие зазоры, уменьшается. Соответственно меняется и распределение температур вблизи поверхности контакта. Распределение температур и тепловых потоков в области контактного пятна на греющей поверхности представлено на рис. 3. На рис. 3 б) линия 0-0 характеризует распределение температуры по линиям тока при идеальном контакте, распределение температуры вдоль линий тока, проходящих

через контактное пятно и зазор, иллюстрируется кривыми I-I и II-II.

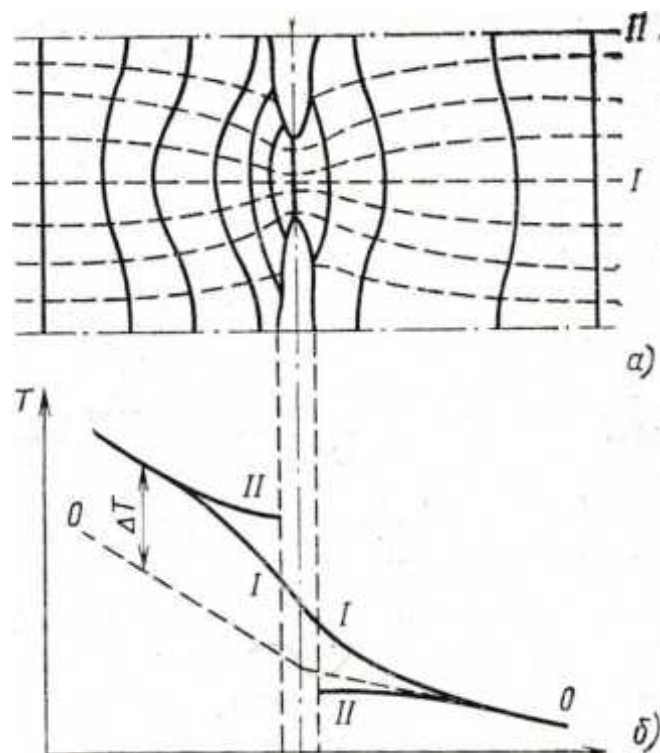


Рисунок 3 [2]. Распределение температуры (сплошные линии – изотермы) и тепловых потоков (штриховые линии) в области контактного пятна (а) и изменение температуры вдоль линий тока I-I и II-II (б)

Из рис. 3 следует, что температура в различных точках поверхностей различна, что обуславливает дополнительный перепад температуры ΔT , обусловленный наличием плохо проводящих прослоек и стягиванием линий теплового тока. Последнее вызывает неравномерность высушиваемого материала с образованием скачка температуры, пропорционального плотности теплового потока q :

$$\Delta T = R_k \cdot q,$$

где R_k – коэффициент термического сопротивления контакта.

При низких плотностях теплового потока считают, что температуры соприкасающихся поверхностей одинаковы и скачок температуры в технических расчетах не учитывают. Однако с повышением значений плотности теплового потока неучет термического контактного сопротивления может привести к значительным ошибкам.

Контактное сопротивление зависит от многих факторов: шероховатости соприкасающихся поверхностей; физических свойств соприкасающихся материалов; теплопроводности вещества, заполняющего зазоры; сжимающих усилий, характеризуемых контактным давлением [2]. Из-за сложности учета факторов, влияющих на контактное сопротивление, для приближенного расчета термического сопротивления контакта рекомендуется формула, полученная Ю. П. Шлыковым и Е. А. Ганиным [3]:

$$\frac{1}{R_k} = \frac{2\lambda_c}{h_{cp1} + h_{cp2}} + 2,1 \frac{N \cdot \bar{\lambda}_m}{3\sigma_B S_H} \cdot 10^{-4}, \quad (2)$$

где $h_{\text{ср1}}$ и $h_{\text{ср2}}$ – средняя высота выступов микрошероховатости соприкасающихся поверхностей, определяемая по профилограммам или в зависимости от способа обработки поверхности (например, по классу чистоты); λ_c – коэффициент теплопроводности вещества, заполняющего зазоры, Вт/(м·К); N – нормальная нагрузка, Н; S_H – номинальная (геометрическая) площадь контакта; σ_B – временное сопротивление разрыву или предел прочности менее пластичного материала, Н/мм²; $\bar{\lambda}_m = 2\lambda_1 \cdot \lambda_2 / (\lambda_1 + \lambda_2)$; λ_1 и λ_2 – коэффициенты теплопроводности контактирующих материалов, Вт/(м·К).

Первое слагаемое в выражении (2) характеризует проводимость зазоров, второе — проводимость мест фактического контакта.

Расчет по формуле (2) дает минимальное термическое сопротивление контакта, обусловленное только микрошероховатостью. Наличие волнистости может привести к значительному увеличению контактного сопротивления, что имеет место на цилиндрах БДМ. Исходя из сказанного, рекомендуем уравнение (1) уточнить, умножив его значение на $1/R_k$, вычисленное по формуле (2):

$$k = \frac{1}{R_k} \frac{1-a}{\varphi_{\text{ц}}} \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1-a}{\varphi_{\text{ц}} \cdot \alpha_2}}. \quad (3)$$

Список литературы:

1. Жучков, П. А. Тепловые процессы в целлюлозно-бумажном производстве / П. А. Жучков. – М.: Лесная промышленность, 1978. – 408 с. – Текст: непосредственный.
2. Теплообмен в ядерных энергетических установках: учеб. пособие для вузов / Б. С. Петухов, Л. Г. Генин, С. А. Ковалев; под ред. Б. С. Петухова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 472 с.: – Текст: непосредственный.
3. Шлыков, Ю. П. Контактный теплообмен / Ю. П. Шлыков, Н. А. Ганин. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – Текст: непосредственный.

© Суслов В. А., 2024

ТЕРМИЧЕСКОЕ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ТОКСИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ В СТАЦИОНАРНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЕ

канд. техн. наук, доцент **Белоусов Владимир Николаевич**,
канд. техн. наук, доцент **Сморodin Сергей Николаевич**,
аспирант **Тышкевич Павел Игоревич**,
Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В данной работе рассматривается методика проведения экспериментов и алгоритм расчета разложения токсичных веществ в ударной волне. Проведен анализ разложения и окисления иприта в пламени метана в условиях ударной трубы с учетом детальной кинетики и турбулентных характеристик среды. Подготовлена модельная установка для экспериментов.

Ключевые слова: стационарная ударная волна, скачок уплотнения, сверхзвуковое сопло, кинетика, турбулентность, высокотоксичные вещества.

THERMAL TRANSFORMATION OF TOXIC SUBSTANCES IN A STATIONARY SHOCK WAVE

PhD in Technology, Associate Professor **Vladimir Nikolayevich Belousov**,
PhD in Technology, Associate Professor **Smorodin Sergey Nikolaevich**,
PhD Student **Tyshkevich Pavel Igorevich**,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. In this paper, the method of conducting experiments and the calculation algorithm for the decomposition of toxic substances in a shock wave are considered. The analysis of the decomposition and oxidation of mustard gas in a methane flame under shock tube conditions, taking into account the detailed kinetics and turbulent characteristics of the medium, is carried out. A model setup has been prepared for experiments.

Keywords: stationary shock wave, supersonic nozzle, kinetics, turbulence, highly toxic substances.

В конце XX века во многих странах мира, в том числе и в России, накопилось огромное количество высокотоксичных веществ, представляющих

собой различные виды химического оружия: зарин, зоман, фосген, иприт, люизит и другие. Согласно официальным данным, большая часть химического оружия была подвергнута утилизации, что, однако, не соответствует действительности.

Химические превращения различных веществ, в том числе токсичных, осуществляются в реакторах различного типа при определенных термокинетических параметрах (давлении, температуре, времени пребывания, наличии побочных веществ: катализаторов, флегматизаторов). Важнейшим фактором является непрерывность процесса и возможность выдержать время пребывания в реакторе.

Скорость большинства химических реакций подчиняется закону Аррениуса в зависимости от температуры. Поэтому с целью уменьшения времени пребывания исходных компонентов в реакторе и, соответственно, увеличения производительности целесообразно увеличивать температуру процесса.

Одним из возможных вариантов для удовлетворения этим требованиям является так называемый реактор идеального смешения, в который непрерывно подаются исходные компоненты и непрерывно выводятся продукты реакции. При этом в реакторе устанавливаются определенные концентрации всех компонентов реагирующей смеси (начальных, промежуточных, конечных). Такой реактор имеет ограниченную производительность, так как при ее увеличении не обеспечивается смешение до гомогенного уровня для любого технически достижимого способа перемешивания.

Осуществление химической реакции в потоке, ограниченном стенками, при отдельной подаче исходных компонентов (смешение струй в трубе) не обеспечивает равномерности распределения концентраций компонентов по сечению и длине реактора, а, следовательно, нельзя говорить об однозначности параметров, определяющих процесс химических превращений.

Указанные выше недостатки могут быть устранены при проведении процесса в струйном реакторе при сильном перемешивании компонентов в области с заданными значениями термокинетических параметров. Таким условиям отвечает проведение реакции в стационарной ударной волне, образованной в сверхзвуковом потоке одного из реагирующих веществ (как правило, окислителя) с избыточной массой инертных компонентов.

Метод стационарной ударной волны известен как один из методов получения кинетических констант химических реакций. Он обеспечивает достаточную чистоту получаемых химических соединений от побочных примесей [1, с. 76].

Существуют прямые и косвенные эксперименты, подтверждающие существенное изменение состава веществ, в частности, хлорпроизводных углеводородов, при прохождении фронта ударной волны через эти среды.

Ударная волна представляет собой тонкую переходную область, за которой происходит резкое изменение параметров среды. Инициация ударной волны может происходить при определенных условиях: это может быть взрыв, сверхзвуковое движение тела в пространстве, а также сверхзвуковое течение газа в каком-либо канале.

Ввод одного из исходных реагентов, как токсичного вещества, осуществляется в критическом сечении сверхзвукового сопла в виде одной струи по центру или системы струй по периферии сопла. Так как температура в критическом сечении и далее по сверхзвуковому соплу существенно ниже, чем начальная температура окислителя, то заметных химических реакций не происходит вплоть до зоны ударной волны. При входе в зону, образованную одним прямым или несколькими косыми скачками уплотнения, температура и давление резко повышаются, а струи токсичного компонента интенсивно перемешиваются в потоке окислителя. Таким образом, в зоне ударной волны образуется гомогенный реактор с определенными значениями температуры и давления. Меняя начальные значения температуры и давления до критического сечения, а также формируя область ударной волны, можно регулировать параметры, что позволяет управлять процессом преобразования химических соединений [2, с. 54].

Токсичные вещества можно окислять в присутствии метана, что позволит существенно менять температуру в активной зоне реактора за счет теплового эффекта реакции и воздействовать на окислительный процесс за счет дополнительного образования активных частиц.

Экспериментальная установка для исследования процесса преобразования химических веществ в стационарной ударной волне должна обладать некоторыми особенностями: это сужающе-расширяющийся канал с возможностью получения сверхзвукового потока до возможно больших значений чисел M без заметных искажений и возмущений. Поэтому профиль такого канала должен быть рассчитан с учетом поправки на пристенный пограничный слой.

Опыт работы со сверхзвуковыми потоками в каналах такого рода показывает, что возможно фиксированное инициирование системы скачков уплотнения с организацией процесса горения за ними [3, с. 130].

Установка представляет собой канал, состоящий из трех основных частей: сопло Лаваля, гомогенный реактор и охладитель газов (рисунок 1) [4].

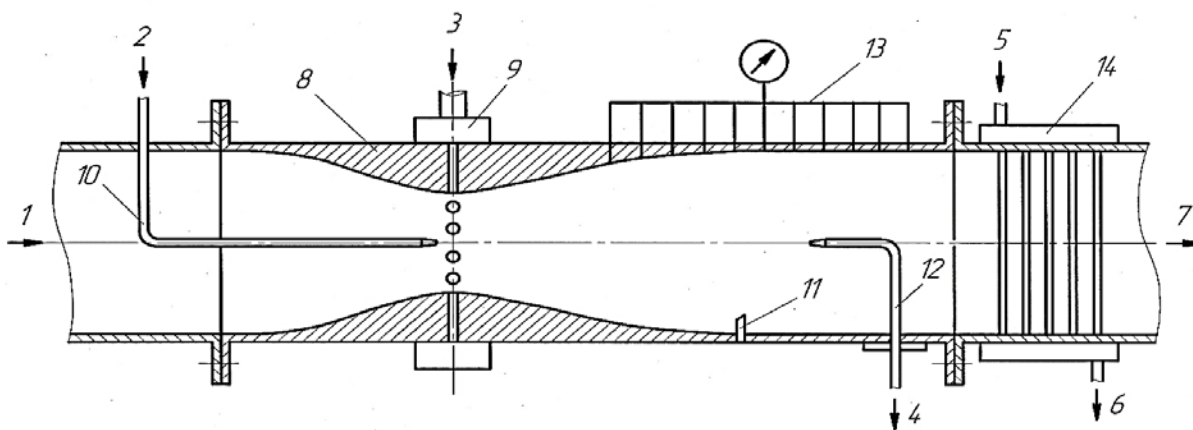


Рисунок 1. Схема технологической экспериментальной установки:
 1 – ввод окислителя, 2 – ввод токсичного вещества, 3 – ввод топлива, 4 – отбор проб газа на анализ, 5 – ввод охлаждающего агента, 6 – вывод охлаждающего агента, 7 – вывод продуктов реакции, 8 – сопло Лавалья, 9 – коллектор ввода топлива, 10 – подводящая труба ввода токсичного вещества, 11 – зуб для фиксации скачка уплотнения, 12 – трубка для отбора проб, 13 – система измерения давления

Токсичное вещество подается через подводящую трубку 2 и распыляется в критическом сечении сопла Лавалья 8 на его оси. Сюда же через отверстия 3 по периферии подается топливо (метан). В качестве окислителя используется воздух, подаваемый компрессором по каналу 1. В расширяющейся части сопла смесь газов приобретает сверхзвуковую скорость. Далее поток встречает на своем пути препятствие – зуб 11, который и приводит к формированию ударной волны (скачка уплотнения).

В результате этого за скачком уплотнения формируется гомогенный реактор с определенными значениями температуры и давления, что позволяет получать не конечные продукты реакции окисления, а промежуточные, представляющие существенную ценность.

Меняя начальные значения температуры и давления до критического сечения, а также формируя область ударной волны, можно регулировать параметры потока за фронтом ударной волны, что в свою очередь позволит управлять процессом преобразования химических соединений, получая необходимые продукты реакции.

Охлаждение продуктов реакции происходит в рекуперативном газожидкостном теплообменном аппарате, состоящем из шахматного пучка труб, при этом охлаждающим агентом является вода.

Кроме этого, в технологической установке предусмотрена система измерения давления 13, позволяющая отслеживать давление газа перед скачком уплотнения, а также после него. После небольшого стабилизирующего участка установлена трубка 12 для отбора проб газа на анализ.

Проведенные расчеты термодинамических параметров в зоне реакции для различных составов смесей воздуха, метана и некоторых токсичных веществ при различных начальных температурах и числах Маха от 2 до 5 позволяют исследовать зависимость параметров потока, а также геометрических размеров сопла Лавала от начального давления (рисунки 2, 3,4) [4, с. 15].

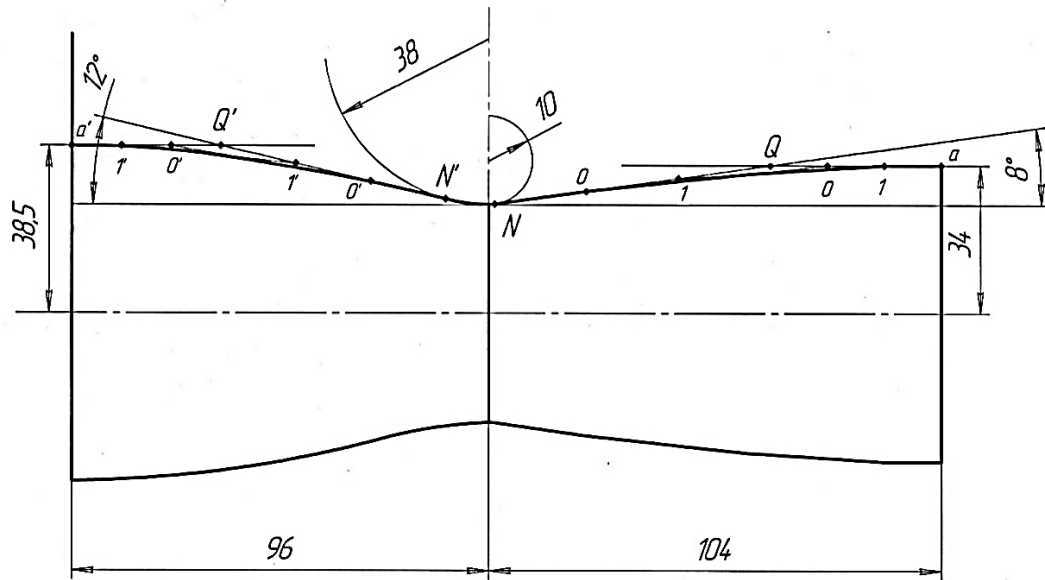


Рисунок 2. Геометрические характеристики сопла при начальном давлении 0,9 МПа

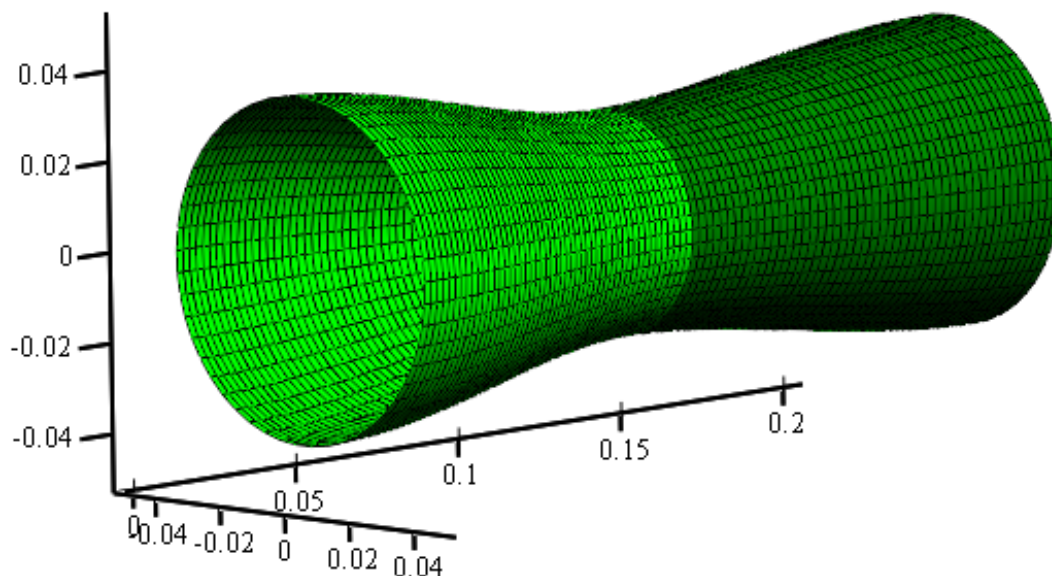


Рисунок 3. Профиль сопла при начальном давлении 0,9 МПа

Изменение начального давления существенно влияет на профиль сопла, в частности на его расширяющуюся часть (рисунок 4).

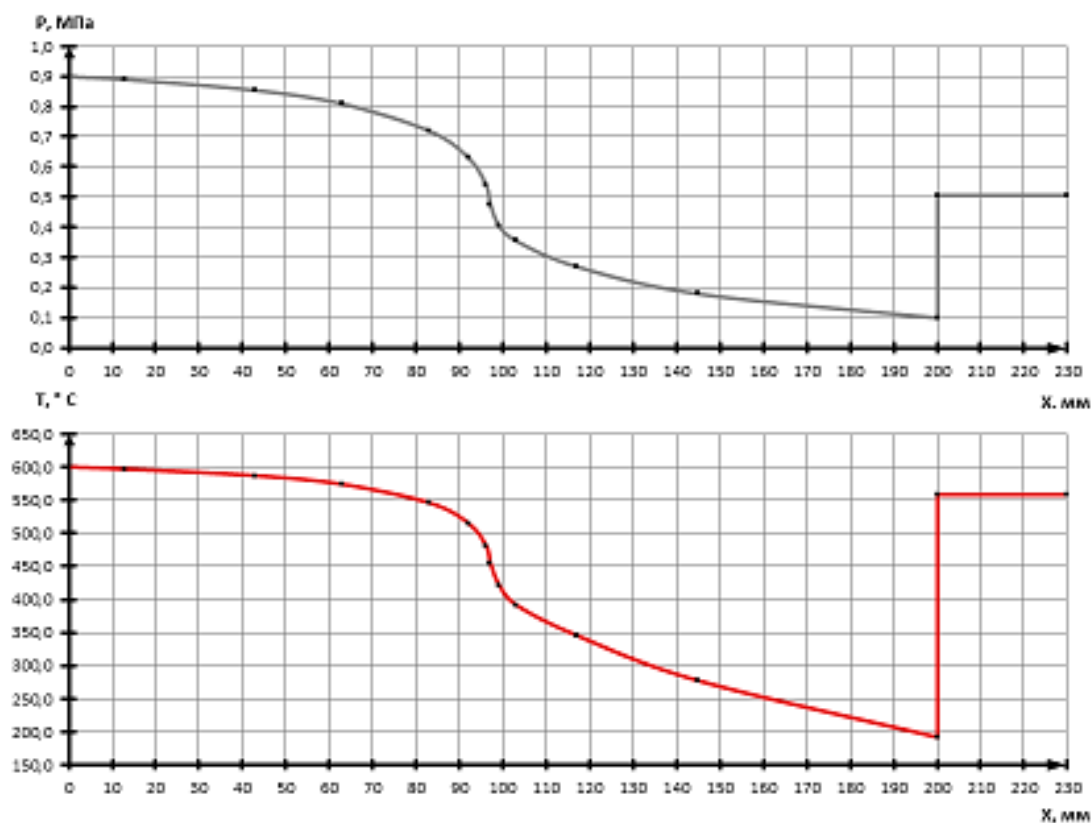


Рисунок 4. Изменение давление и температуры по длине сопла и за фронтом ударной волны

Составлен механизм окисления иприта, исходя из общих представлений по окислению хлорорганических сульфидов. В этой схеме предполагается, что лимитирующей реакцией является реакция разложения этилхлорида, сопровождающаяся разрывом связей C-Cl. Значения кинетических констант для этой реакции известны. Включая эту и последующие реакции окисления иприта в схему окисления метана, была составлена общая кинетическая схема из 106 компонентов (атомов, радикалов, молекул).

Разработан алгоритм решения задачи окисления вышеуказанной смеси в условиях системы косых скачков с учетом аэродинамических характеристик системы (турбулентности и т. д.) [5, 41].

Расчеты показали, что при определенных условиях (времени пребывания, давлении и температуре) возможно получение значительных концентраций ценных продуктов, таких как оксид этилена, формальдегид, хлористый водород. При обрыве реакции на этой стадии возможен выход ценных продуктов для последующего разделения.

Исследования в данном направлении нуждаются в экспериментальной проверке. Результатом этой проверки должно стать определение оптимальных параметров технологических узлов установки.

Список литературы:

1. Tulpanov R.S., Belousov V.N., Vitiazeva E.A., Leble M.O., Michalchuck S.A. Influence of turbulence on the chemical reactions, NO_x synthesis included, in the diffusion turbulent flames. 24th International symposium on combustion, Sydney, 1992.
2. Тюльпанов, Р. С. Преобразование токсичных веществ методом стационарной ударной волны / Р. С. Тюльпанов, В. Н. Белоусов, Л. Н. Григорьев, С. А. Михальчук, Н. В. Шнурова // Высшая школа и конверсия: тез. докл. Всероссийской конф. / Москва, 1993.
3. Баев, В. К. Структура диффузионного пламени водорода за конус-цилиндром при сверхзвуковом течении / В. К. Баев, А. Ф. Гаранин, Р. С. Тюльпанов // Физика горения и взрыва. – №1. – 1976.
4. Тюльпанов, Р. С. Опыт эксплуатации системы утилизации вредных газовых выбросов / Р. С. Тюльпанов, В. Н. Белоусов, А. Н. Иванов // Проблемы экономии топливно-энергетических ресурсов на промпредприятиях и ТЭС: межвуз. сб. науч. тр. – СПб, СПб ГТУРП, 2000.
5. Тюльпанов, Р. С. Микроструктура и протекание реакций в диффузионных пламенах углеводородов / Р. С. Тюльпанов, А. Д. Санданов, В. Н. Белоусов // Структура газовых пламен: сб. трудов. – Новосибирск: Сиб. отд. АН СССР, 1988.

©Белоусов В. Н., Смородин С. Н., Тышкевич П. И., 2024

МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ СКОРОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА СРК

аспирант **Живаева Кристина Геннадьевна**,
канд. техн. наук, доцент **Сморodin Сергей Николаевич**,
канд. техн. наук, доцент **Белоусов Владимир Николаевич**,
Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Статья рассматривает проблему загрязнения поверхностей нагрева содорегенерационных котлов (СРК) и предлагает меры для снижения интенсивности этого процесса.

Ключевые слова: скорость загрязнения, эффективность сажеобдувки, состав частиц, свойства черного щелока, характеристики горения, зола, кристаллизация, выщелачивание, растворимость компонентов, аппарат-кристаллизатор, снижение уноса.

MEASURES TO REDUCE THE RATE OF CONTAMINATION OF HEATING SURFACES OF THE IBS

PhD Student **Zhivaeva Kristina Gennadievna**,
PhD in Technology, Associate Professor **Smorodin Sergey Nikolaevich**,
PhD in Technology, Associate Professor **Belousov Vladimir Nikolayevich**,
St. Petersburg State University of Industrial Technology and Design,
Higher School of Technology and Energy,
St. Petersburg Russian Federation

Abstract. The article addresses the issue of contamination of heating surfaces of soda regeneration boilers (SRB) and proposes measures to reduce the intensity of this process.

Keywords: contamination rate, soot blowing efficiency, particle composition, black liquor properties, combustion characteristics, ash, crystallization, leaching, component solubility, crystallizer apparatus, entrainment reduction.

Скорость загрязнения – это комбинация трех параметров: количество поступающих частиц, их способность прилипать к поверхности и эффективность сажеобдувки. Эти параметры определяются составом частиц, особенно содержанием калия и хлора. Существует ряд мер, которые приводят к снижению интенсивности процесса загрязнения поверхностей нагрева содорегенерационных котлоагрегатов (СРК). Можно влиять на свойства щелока,

снижать температуру дымовых газов, уменьшать унос и улучшать очистку поверхности нагрева.

Изменение свойств черного щелока. Свойства черного щелока влияют на степень загрязнения СРК. Три основных варианта: увеличение содержания сухих веществ, снижение содержания хлоридов в черном щелоке или снижение сернистости. В дополнение к этому, изменения в процессе варки целлюлозы могут влиять на характеристики горения черного щелока, что, в свою очередь, приводит к изменению температуры на выходе из топки и, таким образом, оказывает влияние на загрязнение СРК. Увеличение содержания калия и хлоридов приводит к росту скорости спекания пыли СРК при температурах выше 450°C.

Лучший способ повлиять на уровень хлоридов – это попытаться уменьшить поступление хлоридов в исходном сырье. Обычно основным источником хлоридов является стружка.

Если поступление хлоридов с сырьем велико, следует рассмотреть возможность удаления хлоридов. Чаще всего используется метод очистки золы из электрофильтра от хлоридов. Если содержание хлоридов в сухих твердых веществах черного щелока составляет менее 0,5 %, никаких дополнительных мер обычно не требуется.

Удаление хлора и калия. Современные методы регулирования концентрации хлора и калия в СРК:

- сброс (удаление) золы из цикла;
- кристаллизация золы;
- выщелачивание золы.

Метод извлечения золы из цикла широко применяется в промышленности и требует минимальных затрат, но этот способ связан с большими потерями химикатов.

Два других метода основаны на различиях свойств компонентов золы, а именно их растворимости. Хлорид калия и натрия легче растворяются в воде, чем сульфат и карбонат.

Идеальным местом выведения хлора и калия из системы регенерации отработанного щелока является зола электрофильтра СРК, поскольку в этой золе концентрация ионов Cl и K особенно высока.

Первоначально некоторые целлюлозные заводы просто вывозили золу из электрофильтра в отвалы, выводя из системы Cl и K, но одновременно теряя сульфат натрия, который приходилось возмещать добавкой свежего сульфата.

Метод кристаллизации. Удаление хлоридов и калия из золы осуществляется путем избирательной кристаллизации, основанной на более низкой растворимости сульфата натрия по сравнению с растворимостью хлоридов и солей калия. Зола, уловленная в электрофильтре, растворяется в конденсате и перекачивается в аппарат-кристаллизатор, где в результате выпаривания, сульфат натрия переводится в кристаллическую форму, а ионы Cl и K выводятся из системы. Сульфат натрия обезвоживается и вводится снова в щелоковый контур.

Путем регулирования вывода Cl и K из системы и поддержания их остаточной концентрации в системе на допустимом уровне удастся избежать выпадения в осадок сульфата калия или хлорида натрия и получать только сульфат натрия.

Основные преимущества процесса удаления хлоридов и калия методом кристаллизации обусловлены возможностью повышения температуры начала плавления золы, что в результате увеличивает продолжительность работы СРК между остановами и повышает его паропроизводительность.

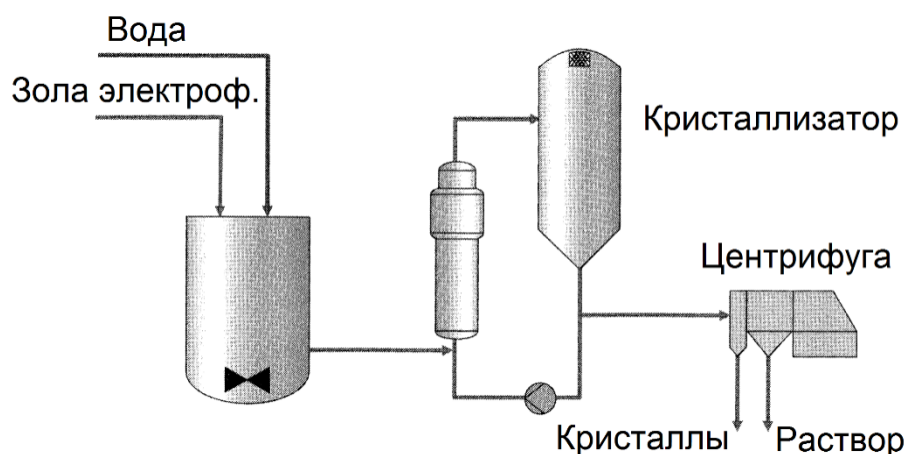
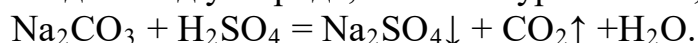


Рисунок 1. Принципиальная схема кристаллизации золы

Выщелачивание золы. В процессе выщелачивания золу из электрофильтра подают в смеситель, где ее смешивают с горячей водой в пропорции 1–1,5 кг золы на 1 кг воды, при этом в воде растворяется только часть золы. Большая часть хлоридов и солей калия растворяется в воде, в то время как основная часть сульфата натрия и карбоната остается в твердом, т. е. нерастворенном виде. Раствор из смесителя подается в центрифугу, где происходит отделение жидкости с растворенными в ней элементами от нерастворенной золы. Процеженная часть («сухой» остаток) далее поступает в резервуар, где смешивается с черным щелоком, а раствор удаляется через сточную трубу в канализацию.

Когда концентрация карбоната в золе превышает 5 %, скорость отстаивания частиц в растворе становится очень низкой, и осадок золы остается влажным, при этом удаление хлора и калия ухудшается, а потери натрия увеличиваются. Концентрация карбоната может быть понижена благодаря добавлению серной кислоты в выщелачивающий резервуар, pH при этом понижается с 10–11, до 9–9,5. Кислота реагирует с карбонатом, образуя сульфат натрия и диоксид углерода, согласно уравнению, приведенному ниже:



Расход кислоты зависит от содержания карбоната в золе. Например, если неочищенная зола содержит 10 % карбоната, то около 80 кг серной кислоты на тонну золы требуется для понижения концентрации карбоната ниже 5 %. Добавленная кислота не будет лишней – частично это компенсирует потребность в сульфате натрия для пополнения в цикле щелока.

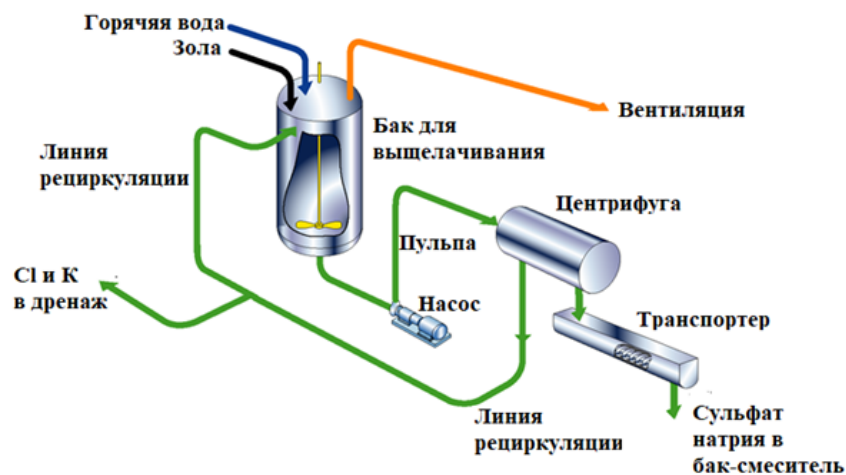


Рисунок 2. Принципиальная схема выщелачивания золы

Снижение температуры дымовых газов СРК понижает прочность отложений. Наиболее эффективным средством снижения температуры является уменьшение нагрузки котла. Если производительность топки может быть повышена за счет воздушной системы с улучшенным сгоранием щелока, то температура на выходе из топки может уменьшиться, что позволит снизить температуру на входе в котельный пучок.

Снижение уноса. Унос влияет на загрязнение за счет двух возможных явлений. Во-первых, сульфид, содержащийся в уносе, резко снижает температуру спекания пыли; во-вторых, повышенный унос увеличивает количество отложений в перегревателе, что может привести к росту загрязнения.

Количество уноса определяется размерами и скоростью витания частиц щелока. Вследствие значительного изменения объема и формы частиц щелока в процессе горения определить скорость витания горящих частиц расчетным путем трудно. Вместе с тем скорость витания частиц является важной характеристикой процесса горения щелоковых частиц. Согласно исследованиям по определению скорости витания частиц черного щелока, характер изменения скорости витания капель одинаков для всех диаметров и режимов. Минимальное значение скорости витания рассматриваемых частиц находится в пределах 0,9–1,2 м/с при начальной скорости витания равной 11–12 м/с.

Анализ работ по определению скоростей витания щелоковых частиц показывает, что чем меньше диаметр горячей частицы и выше избыток воздуха и температура среды, тем быстрее снижается скорость витания до минимального значения.

Два основных параметра оказывают наибольшее влияние на распыление щелока в форсунках-брызговиках: угол наклона сопла форсунки и диаметр сопла форсунки.

На основании исследований с использованием вышеуказанных корреляций установлено, что при сжигании черного щелока с содержанием сухих веществ порядка 70–75 % оптимальный размер капель распыляемого щелока составляет 5 мм.

Улучшение сажеобдувки. Обдувочный пар выходит из обдувочного устройства с высокой скоростью, которая, однако быстро падает. Затухание вызвано взаимодействием турбулентной струи с окружающим газом. Эффективный радиус очистки сажеобдувочной струи составляет 1–1,5 м. Один из самых проблемных случаев – старые типы поверхностей нагрева. Неправильно сконструированные антивибрационные стяжки и слишком большое расстояние между обдувками могут вызвать проблемы с очисткой поверхностей нагрева. Если загрязнение носит локальный характер, первоочередной задачей является улучшение возможности очистки этого участка. Это можно сделать, улучшив сажеобдувку, что достигается с помощью дополнительных обдувок, высокоэффективных сопел и изменения программы продувки. На практике место и время являются наиболее важными факторами при определении эффективности сажеобдувки.

Удаление отложений с поверхности пароперегревателя можно интенсифицировать с помощью охлаждения и обдувки. Прекращение сжигания черного щелока, но использование вспомогательных горелок меняет температуру газов в районе пароперегревателя. Из-за различий в тепловом расширении отложений и трубок пароперегревателя создаются напряжения, которые приводят к снижению адгезионных свойств отложений. Затем удаление отложений может быть выполнено с использованием сажеобдувочных аппаратов в зоне пароперегревателя.

После того, как СРК проработал некоторое время, загрязнение зоны экономайзера котла, похоже, выравнивается.

Список литературы:

1. Смородин, С. Н. Содорегенерационные котлоагрегаты: учебное пособие / С. Н. Смородин, А. Н. Иванов, В. Н. Белоусов. – СПб: СПбГТУРП, 2010. – 164 с.
2. Сиваков, В. П. Регенерация химикатов и тепла в содорегенерационных котлоагрегатах. Устройство и диагностирование / В. П. Сиваков, А. В. Вураско, В. И. Музыкантова. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2015. – 141 с.
3. Глейзер, И. Ш. Котлы энерготехнологических и тепловых электростанций: / И. Ш. Глейзер. – М.: Энергосервис, 2010. – 245 с.
4. Григорай, О. Б. Переработка черных щелоков сульфитного производства: учебное пособие / О. Б. Григорай, Ю. С. Иванов, А. А. Комиссаренков, Смолин А.С. – СПб: СПбГТУРП, 2012. – 106 с.
5. Esa K. Vakkilainen (2005) KRAFT RECOVERY BOILERS. Principles and practice. Valopaino Oy, Helsinki, Finland, 246.

© Живаева К. Г., Смородин С. Н., Белоусов В. Н., 2024

ПРОЦЕССЫ ТЕПЛООБМЕНА И ГИДРОДИНАМИКИ ПРИ ЛАМИНАРНОМ ТЕЧЕНИИ В ТРУБЕ

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 статье рассматривается процесс ламинарного течения ньютоновской жидкости в трубе и методы расчета гидродинамики и теплообмена при этом режиме.

Ключевые слова: теплоотдача, скорость, жидкость, температура, пограничный слой.

HEAT TRANSFER AND HYDRODYNAMICS PROCESSES WITH LAMINAR FLOW IN THE PIPE

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

Abstract. The article discusses the process of laminar flow of Newtonian fluid in tubes and methods for calculating hydrodynamics and heat transfer in this mode.

Keywords: heat transfer, speed, liquid, temperature, boundary layer.

При входе жидкости в трубу на ее стенках образуется гидродинамический пограничный слой (ПС), толщина которого возрастает по мере продвижения потока жидкости от входа. В ПС силы вязкости и инерционные силы соизмеримы. Резкого перехода от характера течения внутри ПС к течению жидкости вне слоя нет. Значение скорости в ПС по мере увеличения его толщины стремится к значению скорости невозмущенного внешнего потока w_0 . Внешний поток за счет торможения жидкости у стенки ускоряется в центральной части канала, так как общий расход потока неизменный. При этом возникает дополнительный отрицательный градиент давления, который компенсирует потери энергии, связанные с указанным ускорением [1].

На некотором расстоянии от входа в трубу ПС как бы заполняет все ее поперечное сечение. При этом влияние вязкости распространяется на все сечение трубы.

Схематичное изображение формирования скоростей на начальном участке обогреваемой трубы при ламинарном движении жидкости в каналах представлено на рис. 1, из которого видно, что всю длину трубы можно разделить на два участка. Первый, с расстоянием от входа до условного слияния

пограничных слоев, считают участком гидродинамической стабилизации, а его длину l_H – длиной гидродинамического начального участка.

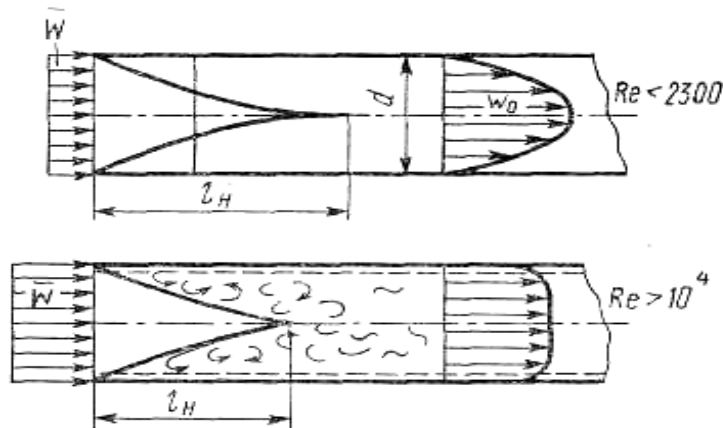


Рисунок 1. Формирование распределения скоростей на начальном участке трубы

На этом участке происходит формирование профиля температуры, а значение числа Nu значительно уменьшается по длине канала. На втором участке закон распределения температуры по сечению канала не изменяется вдоль его длины и значение числа Nu сохраняет постоянное значение. При этом движение в канале считается установившимся, а участок называют участком стабилизированного теплообмена. Длина гидродинамического начального участка зависит от чисел Рейнольдса Re , Прандтля Pr и в некоторой степени от конструктивного оформления входа.

Установившееся значение коэффициента теплоотдачи будет постоянной величиной, меняющейся лишь в зависимости от распределения скорости по радиусу. Но поскольку установившееся распределение скорости при ламинарном течении не зависит от параметров процесса, коэффициент теплоотдачи α будет зависеть лишь от коэффициента теплопроводности λ и диаметра трубы d . Таким образом, число Нуссельта $Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}$ оказывается единственным безразмерным комплексом, и тогда $Nu = const$. Если не оказывать никаких дополнительных воздействий на поток, то это установившееся значение, согласно решениям интеграла Лайона, составит: $Nu = 4,36$ при постоянной плотности теплового потока $q_c = const$ и $Nu = 3,67$ при постоянной температуре стенки $T_c = const$.

При рассмотрении участка трубы длиной dx в условиях стабилизированного теплообмена при условии $q = const$, считаем, что теплота передается с внутренней поверхности трубы в поток [2]. В дальнейшем теплота, попадающая в поток, аккумулируется им и уносится в направлении движения.

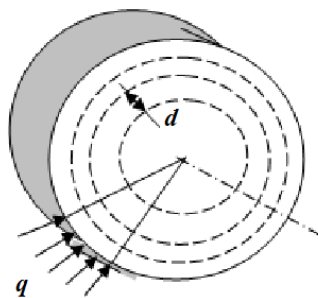


Рисунок 2. К анализу качественного характера зависимости числа Nu от профиля скорости

В условиях стабилизации распределения скорости температура в каждой точке сечения остается постоянной. Разобьем сечение на кольцевые слои, как показано на рис. 2. После прохождения каждого слоя плотность радиального теплового потока q изменяется. Она способна как уменьшаться, так и увеличиваться в зависимости от характера теплообмена. По ходу теплового потока в радиальном направлении периметр слоя уменьшается пропорционально текущему значению радиуса. Расход жидкости, уносящей теплоту также пропорционален радиусу, однако, кроме того, и скорости. Поэтому, чем ближе к стенке находится максимум скорости, тем меньше будет перепад температуры и соответственно выше теплоотдача. Значения чисел Nu для движущегося потока жидкости без каких-либо дополнительных воздействий были приведены выше. Здесь приведем результат расчета для демонстрации роста числа Nu при изменении профиля скорости.

Для примера возьмем равномерный профиль скорости – $Nu = 8$. Поскольку расчет носит условный характер, то такой профиль не может существовать. Однако на практике существуют течения, для которых необходимое изменение профилей скорости происходит естественным путем. Это так называемая смешанная конвекция в вертикальных трубах. При этом за счет изменения плотности при изменении температуры возникает дополнительное движение вблизи стенки.

Для оценки установившегося значения числа Nu в зависимости от профиля скорости воспользуемся интегралом, носящим название интеграла Лайона

$$W_x(R) = w/\bar{w}(R) \frac{1}{Nu_\infty} = 2 \int_0^1 \frac{\left(\int_0^R W_x R \cdot dR \right)^2}{R} dR,$$

где w – локальная скорость потока; $\bar{w}$ – средняя скорость потока;

$W_x = \frac{w}{\bar{w}}$; $R = r/r_0$; $r = d/2$ – радиус трубы.

Проведенный выше качественный анализ приводит к выводу, что, по крайней мере, вблизи от входа канала должны быть справедливы формулы, приведенные выше, для ламинарного пограничного слоя. Чтобы показать, насколько это утверждение соответствует реальности, рассмотрим зависимость для коэффициента сопротивления на входном участке круглой трубы,

предложенную в 1954 г. американскими специалистами Зигелем, Шапиро и Клайном.

$$\zeta \cdot Re = 6,87 \left(\frac{1}{Re} \frac{x}{d} \right)^{-1/2},$$

где ζ – коэффициент сопротивления трения.

Раскрывая выражение для числа Re , получим

$$\frac{\zeta \cdot w \cdot d}{\nu} = 6,87 \left(\frac{x \cdot \nu}{w \cdot d^2} \right)^{-1/2} = 6,87 \frac{w^{1/2} \cdot d}{x^{1/2} \cdot \nu^{1/2}},$$

где ν – коэффициент кинематической вязкости.

Производя необходимые сокращения, получим

$$\zeta = 6,87 Re_x^{-1/2},$$

тогда коэффициент трения

$$c_f = 1,72 Re_x^{-1/2}.$$

Формула справедлива до значений $\frac{1}{Re} \frac{x}{d} < 6 \cdot 10^{-3}$. Для сравнения заметим,

что длина входного участка оценивается как $\frac{1}{Re} \frac{x}{d} = 11,2 \cdot 10^{-3}$, то есть достаточно близкая величина.

Рассмотрим участок тепловой стабилизации. Здесь, в отличие от пограничного слоя, нет подобия между тепловой и гидродинамической задачей при $Pr = 1$. Применим для анализа метод подобия, используя дополнение, предложенное Хантли. Известно, что увеличение числа размерностей может привести к получению более точных результатов, если такое добавление не приводит к появлению новых размерных постоянных.

Суть дополнений, внесенных Хантли, состоит в том, что если рассматривается масштаб некоторой векторной величины, то в качестве размерностей можно использовать ее компоненты, если они раздельно входят в переменные величины, характеризующие рассматриваемую задачу. Чаще всего это положение можно реализовать в отношении координат. При этом в задаче могут фигурировать процессы, масштаб которых различен в зависимости от пространственной координаты, вдоль которой протекает процесс. Например, в канале передача теплоты теплопроводностью осуществляется по поперечной координате, а конвективный перенос – вдоль продольной.

Используем теорию размерности для получения формы зависимости для коэффициента теплоотдачи α на входном участке трубы. Известно, что α зависит от следующих величин: $\alpha = f(d, x, w, a, \lambda)$, где a – коэффициент температуропроводности. Как видно, в зависимости фигурирует 6 величин. При этом имеются две размерности длины: M_1 и M_2 – и три размерности величин: Дж, с, К. Согласно π -теореме, можно сформировать лишь один безразмерный комплекс, который должен быть константой:

$$\alpha^a \cdot \lambda^b \cdot a^c \cdot x^d \cdot w^e \cdot d^k = const. \quad (1)$$

Запишем левую часть этой формулы в размерном виде:

$$[\text{Дж}/(\text{с} \cdot \text{М}_2^2 \cdot \text{К})]^a \cdot [\text{Дж}/(\text{М}_2 \cdot \text{К})]^b \cdot [\text{М}_2^2/\text{с}]^c \cdot \text{М}_1^d \cdot [\text{М}_1/\text{с}]^e \cdot \text{М}_2^k.$$

Суммарный показатель степени для каждой размерности должен быть равен нулю. Учитывая структуру зависимости, примем показатель степени $a = 1$.

Система для определения показателей степени после преобразований имеет следующий вид

$$\begin{cases} a + b = 0 \\ a + c + e = 0 \\ 2a + b - 2c - k = 0 \\ a + b = 0 \\ d + e = 0 \end{cases}$$

При решении системы имеем $d = c = -e$; $b = -1$; $2c + k = 1$.

Из-за идентичности первого и третьего уравнений один показатель остается неопределенным. Для удобства решения примем: $d = 1/n$, $c = 1/n$ $e = -1/n$, $k = 1 - 2/n$.

Тогда мы можем записать уравнение (1) как

$$\alpha \lambda^{-1} a^{1/n} x^{1/n} w^{-1/n} d^{1-2/n} = const$$

или

$$\frac{\alpha \cdot d}{\lambda} = C \frac{w^{1/n} d^{2/n}}{a^{1/n} x^{1/n}}.$$

В безразмерной форме данное уравнение запишется как

$$Nu = C (Pe \cdot d/x)^{1/n}, \quad (2)$$

где $Pe = w \cdot d/a$ – число Пекле; a – коэффициент температуропроводности.

Таким образом, неизвестным остается показатель степени « n ». Известно, что для гидродинамической задачи $n = 2$. Поэтому при начале развития теплового и динамического слоев с момента входа в трубу могли бы быть основания принять $n = 2$. Однако обычно считается, что до начала обогрева имеется адиабатный участок формирования установившегося профиля скорости. Можно предположить, что в этом случае формирование профиля температуры должно протекать медленнее. При этом считается, что для этого случая $n = 3$.

В инженерных расчетах средние коэффициенты теплоотдачи на заданной длине канала интересуют в большей степени, чем локальные. Исходя из этого, применим следующую формулу усреднения

$$\overline{Nu} = \frac{1}{L} \int_0^L Nu(x) dx,$$

где L – длина канала.

Конкретно для уравнения (2) получим:

$$\overline{Nu} = C (Pe \cdot d)^{1/3} \frac{1}{L} \int_0^L x^{-1/3} dx = C (Pe \cdot d)^{1/3} \frac{3/2}{L} L^{2/3} = 1,5 C (Pe \cdot d / L)^{1/3}.$$

Полное решение поставленной задачи определяет следующий вид формулы:

$$\overline{Nu} = 1,55(Re \cdot d / L)^{1/3}.$$

Обширные теоретические исследования ламинарного течения в каналах были выполнены Б. С. Петуховым с сотрудниками [3]. Так для оценки длины участка стабилизации круглой трубы получена зависимость $\frac{l_{н.т}}{d} = 0,055Re = 0,055Re \cdot Pr$, а среднее число $\overline{Nu}$ в гидродинамическом начальном участке трубы при постоянной температуре стенки рекомендуется определять по уравнению

$$\frac{\overline{Nu}}{\overline{Nu}_{стб}} = 0,6 \frac{1+2,5 \frac{1}{Re} \frac{l}{d}}{\left(\frac{1}{Re} \frac{l}{d}\right)^{1/7}},$$

где $l_{н.т}$ – длина начального теплового участка; a – коэффициент температуропроводности; $Pr = \nu/a$ – число Прандтля; $\overline{Nu}_{стб}$ – среднее по длине трубы число Нуссельта при стабилизированном течении, определяемое по уравнениям приведенным ниже.

Для расчета локальной теплоотдачи при значениях приведенной трубы $\frac{1}{Pe} \frac{x}{d} < 0,01$ рекомендуется пользоваться уравнением

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda} = 1,03 \left(\frac{1}{Pe} \frac{x}{d} \right)^{(-1/3)},$$

где α – коэффициент теплоотдачи от потока к стенке трубы; x – параметр по длине трубы.

При значениях приведенной трубы $\frac{1}{Pe} \frac{x}{d} < 0,05$ для расчета средней теплоотдачи в трубе рекомендуется следующее интерполяционное уравнение

$$\overline{Nu} = \frac{\overline{\alpha} \cdot d}{\lambda} = 1,55 \left(\frac{1}{Pe} \frac{l}{d} \right)^{-0,33}.$$

Список литературы:

1. Лойцянский, Л. Г. Механика жидкости и газа / Л. Г. Лойцянский. – М.: Дрофа, 2003. – 840 с. – Текст: непосредственный.
2. Готовский, М. А. Тепломассообмен в технологических установках / М. А. Готовский, В. А. Суслов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – 420 с. – Текст: непосредственный.
3. Теплообмен в ядерных энергетических установках: учеб. пособие для вузов / Б. С. Петухов, Л. Г. Генин, С. А. Ковалев; под ред. Б.С. Петухова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 472 с.: – Текст: непосредственный.

© Сулов В. А., 2024

ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ РИСКОВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЦЕПОЧКАМИ ПОСТАВОК В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

студент **Овдиенко Сергей Николаевич**,
ст. преподаватель **Волкова Екатерина Александровна**,
Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова
ФГБОУ ВО «Донской ГАУ»,
г. Новочеркасск, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматриваются современные технологии мониторинга и предотвращения аварийных ситуаций в сфере управления цепочками поставок и логистики в нефтегазовой отрасли. Авторы подробно описывают ключевые методы применения искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО) для повышения безопасности и устойчивости логистических процессов. Особое внимание уделяется вопросам профилактического обслуживания оборудования, реализации систем мониторинга состояния критически важной инфраструктуры, а также эффективному управлению рисками, связанными с транспортировкой и хранением нефти и газа.

Ключевые слова: логистика, нефтегазовая отрасль, искусственный интеллект, машинное обучение, предиктивное обслуживание, управление рисками, экологическая безопасность, инфраструктура.

THE USE OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES TO REDUCE RISKS IN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT IN THE OIL AND GAS INDUSTRY

Student **Ovdeenko Sergey Nikolaevich**,
Senior Lecturer **Volkova Ekaterina Alexandrovna**,
Novocherkassk Reclamation Engineering Institute named after A.K. Kortunov
FSBEI HE Donskoy SAU
Novocherkassk, Russian Federation

Abstract. The article discusses modern technologies for monitoring and preventing emergencies in the field of supply chain management and logistics in the oil and gas industry. The authors describe in detail the key methods of using artificial intelligence (AI) and machine learning (MO) to improve the safety and sustainability of logistics processes. Special attention is paid to the issues of preventive maintenance of equipment, the implementation of systems for monitoring the condition of critical infrastructure, as well as effective risk management related to the transportation and storage of oil and gas.

Keywords: logistics, oil and gas industry, artificial intelligence, machine learning, predictive maintenance, risk management, environmental safety, infrastructure.

За последнее время технологии машинного обучения (МО) и искусственного интеллекта (ИИ) оказывают существенное воздействие на деятельность нефтегазового сектора. Данные методы предоставляют возможности для оптимизации процессов, связанных с разведкой, добычей, переработкой и логистикой углеводородного сырья, что приобретает особую актуальность в условиях высокой конкурентной борьбы и волатильности на мировом рынке. В настоящей работе будут рассмотрены основные направления применения ИИ и МО в нефтегазовой отрасли, а также их преимущества и перспективы развития [1].

Обеспечение эффективного функционирования цепочек поставок и гарантия безопасности являются первостепенными задачами для нефтегазового сектора. Компании, осуществляющие деятельность в этой области, обязаны обеспечить непрерывную транспортировку продукции от месторождений до перерабатывающих предприятий и конечных потребителей, минимизируя вероятность аварийных ситуаций и технических сбоев [2].

Внедрение искусственного интеллекта и машинного обучения в нефтегазовую отрасль играет решающую роль в оптимизации сложных цепочек поставок. Эти цепочки охватывают многочисленные этапы: от добычи и переработки углеводородов до их транспортировки и реализации конечным потребителям. Каждый этап требует точного управления и координации для минимизации затрат, снижения рисков и обеспечения непрерывного снабжения. Использование ИИ и МО позволяет эффективно управлять запасами, оптимизировать маршруты доставки, прогнозировать спрос и повышать устойчивость всей цепочки поставок (рис. 1) [3].

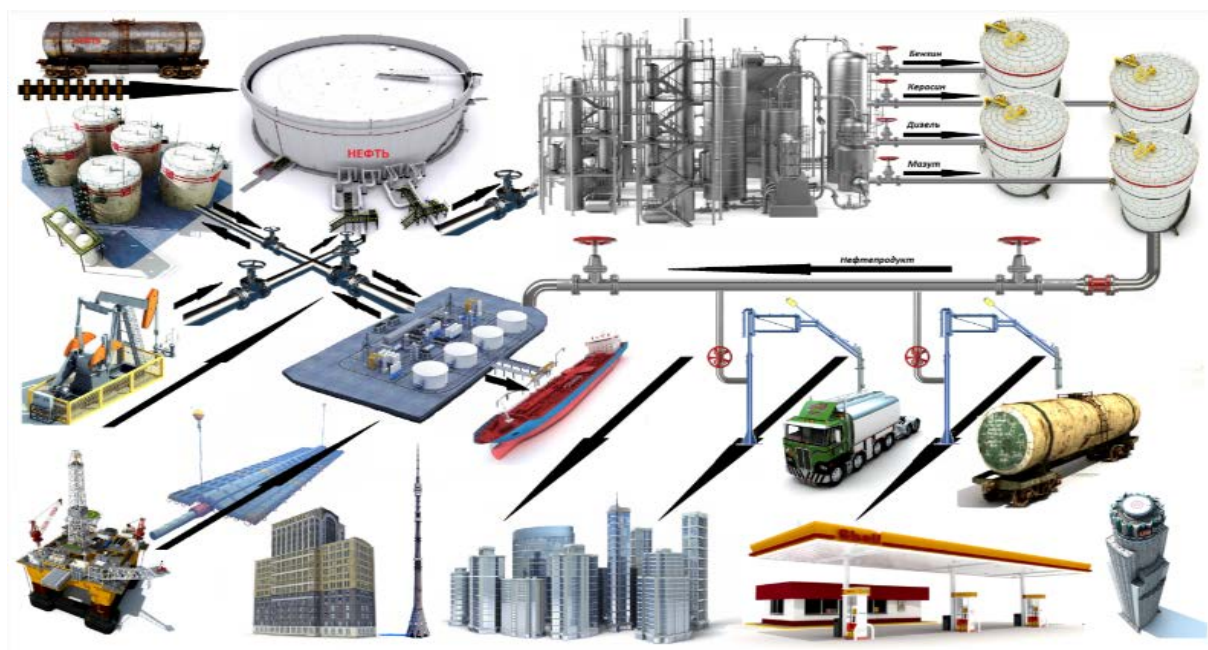


Рисунок 1. Разновидности поставок нефти

Использование искусственного интеллекта в логистике нефтегазового сектора играет важную роль в оптимизации маршрутов транспортировки нефти, газа и нефтепродуктов. Системы машинного обучения, анализируя данные о состоянии дорожной сети, метеорологических условиях, загруженности транспортных коридоров и возникновения чрезвычайных ситуаций, позволяют разработать оптимальные маршруты. Это способствует минимизации времени доставки и снижению транспортных расходов.

Алгоритмы ИИ способны учитывать сезонные факторы, такие как риск замерзания нефти в трубопроводах или ухудшение проходимости дорог в период паводков. Данная возможность особенно важна для удаленных районов добычи, где недостаток инфраструктуры и непредсказуемость погодных условий создают существенные трудности [4].

В нефтегазовой отрасли логистические риски на всех этапах производства и поставки могут существенно повлиять на экономическую эффективность предприятий. Технологии искусственного интеллекта предоставляют компаниям инструменты для эффективного управления этими рисками. Системы ИИ способны анализировать обширные объемы данных, включая информацию о задержках поставок, колебаниях цен на рынке и возникновении форс-мажорных ситуаций, таких как природные катаклизмы или экономические кризисы. Алгоритмы ИИ позволяют выявлять закономерности и прогнозировать потенциальные сбои в работе, что дает компаниям возможность своевременно принять соответствующие меры.

Например, при возникновении аварийной ситуации на трубопроводе или транспортной линии, системы ИИ могут автоматически рассчитать альтернативные маршруты и способы доставки, минимизируя задержки и связанные с ними расходы. Кроме того, алгоритмы ИИ учитывают геополитические и экономические факторы, такие как изменения в налоговом законодательстве или тарифах на транспортировку, что особенно важно для международных операций (рис. 2) [5].

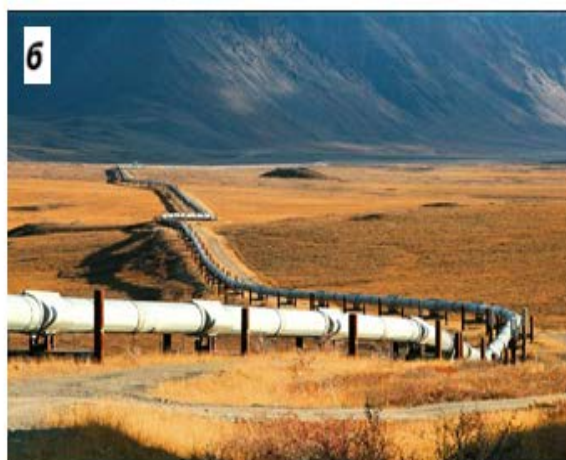


Рисунок 2. Управление цепочками поставок:
а – транспортировка танкерами, б – трубопроводный транспорт

Мониторинг условий и предотвращение аварий в нефтегазодобывающей промышленности характеризуются повышенным уровнем риска, связанным со специфическими условиями эксплуатации.

Применение технологий искусственного интеллекта позволяет предприятиям создавать системы мониторинга, осуществляющие круглосуточный контроль состояния оборудования и окружающей среды на основе анализа данных. Внедрение датчиков на всех этапах цепочки поставок, которые отслеживают такие параметры как вибрация, температура, давление и расход, обеспечивает сбор необходимых данных. Алгоритмы предиктивного обслуживания, анализируя эти данные, прогнозируют вероятность возникновения поломок. Это позволяет предприятиям эффективно планировать профилактическое обслуживание и предотвращать дорогостоящие простои в производственном процессе [6].

Использование ИИ для анализа визуальной информации и параметров оборудования способствует минимизации риска возникновения аварийных ситуаций и повышению уровня безопасности сотрудников на производстве. С помощью сенсорных сетей и алгоритмов машинного обучения компании могут осуществлять мониторинг выбросов загрязняющих веществ и утечек, что позволяет своевременно реагировать на инциденты и предотвращать негативное воздействие на экологические системы [7].

В отраслях, связанных с транспортировкой нефти и газа, где инфраструктура (трубопроводы, танкеры, хранилища) эксплуатируется под высоким давлением и в сложных условиях, предиктивное обслуживание приобретает особую значимость. Автоматические оповещения о необходимости проверки и обслуживания оборудования, генерируемые на основе данных с датчиков, позволяют существенно минимизировать риск аварийных ситуаций и продлить срок службы оборудования.

Более того, современные алгоритмы ИИ способны анализировать геологические данные и прогнозировать вероятность возникновения аварийных ситуаций, таких как разливы нефти или сейсмическая активность. Это имеет решающее значение для предупреждения крупных экологических катастроф, связанных с эксплуатацией месторождений углеводородного сырья [8].

Одним из наиболее существенных рисков в нефтегазовом секторе является угроза утечек, которая может привести к экологическим катастрофам и значительным материальным убыткам.

Современные технологии искусственного интеллекта предоставляют возможность мониторинга состояния оборудования и трубопроводных систем, позволяя своевременно выявлять потенциальные утечки. Функционирование таких систем в режиме реального времени обеспечивает непрерывный контроль за состоянием трубопроводов, резервуаров и другого оборудования [9].

В случае обнаружения утечки ИИ способен автоматически активировать аварийный протокол, что способствует локализации утечки и минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Датчики, установленные на

нефтепроводах и других объектах инфраструктуры, регистрируют даже незначительные изменения в рабочих параметрах, что позволяет оперативно реагировать на возможные угрозы.

Выводы. Применение искусственного интеллекта и машинного обучения в нефтегазовой промышленности открывает обширные перспективы для оптимизации производственных процессов, сокращения расходов и повышения уровня безопасности. Данные технологии способствуют увеличению эффективности геологоразведочных работ, добычи, переработки и логистики.

Внедрение ИИ сопряжено с существенными капиталовложениями в инфраструктуру и подготовку кадров. Кроме того, предприятия сталкиваются с вызовами, связанными с обработкой и защитой массивов данных. Несмотря на это, развитие технологий искусственного интеллекта в нефтегазовой отрасли продолжает интенсивно развиваться, и их влияние на производительность и устойчивость бизнеса будет только расти в будущем.

Список литературы:

1. Ушаков, А. Е. Перспективы цифровизации нефтегазовой отрасли в Российской Федерации / А. Е. Ушаков, Д. А. Рубцов, Е. В. Зыков // Мелиорация как драйвер модернизации АПК в условиях изменения климата: Материалы IV Международной научно-практической интернет-конференции, Новочеркасск, 24–26 апреля 2023 года. – Новочеркасск: ООО «Лик», 2023. – С. 226-233.
2. Хадави, М. М. Искусственный интеллект в нефтяной технике / М. М. Хадави, Г. М. Мостаджеран, Ф. Хадавимогаддам // Западно-Сибирский нефтегазовый конгресс : Сборник научных трудов XIII Международного научно-технического конгресса студенческого отделения общества инженеров-нефтяников Society of Petroleum Engineers (SPE), Тюмень, 11–13 апреля 2019 года / Ответственный редактор Д. А. Пезин. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2019. – С. 176-179.
3. Григорьев, Л. И. Системные исследования, современные информационно-аналитические технологии, средства искусственного интеллекта – интеграционная основа инновационного развития нефтегазового образования и производства / Л. И. Григорьев, Г. Н. Малиновская, И. Ю. Храбров // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2020. – № 4(561). – С. 5-7. – DOI 10.33285/0132-2222-2020-4(561)-5-7.
4. Нефтегазовое производство – основа научно-технического прогресса и экономической стабильности: Материалы научно-практической конференции, посвященной 35-летию Оренбургского филиала РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, Оренбург, 22 января 2020 года / Под общей редакцией С. Г. Горшенина. – Оренбург: Общество с ограниченной ответственностью «Амирит», 2020. – 610 с. – ISBN 978-5-00140-537-5.
5. Лурье, М. В. Трубопроводный транспорт нефти и газа. Лекции по трубопроводному транспорту нефти и газа (для дистанционного обучения) / М. В. Лурье. – Москва: Российский государственный университет нефти и газа

- (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина, 2021. – 299 с. – ISBN 978-5-91961-357-2.
6. Лысенко, М. С. Улучшение процессов нефтегазовых предприятий с помощью логистического подхода / М. С. Лысенко // Актуальные вопросы современной экономики. – 2022. – № 9. – С. 319-324.
7. Вопросы экономики и управления нефтегазовым комплексом: сборник тезисов Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 03 июня 2021 года. – Москва: Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина, 2021. – 123 с.
8. Перспективы использования технологий искусственного интеллекта в нефтегазовой отрасли / Т. А. Половова, Г. А. Сульдина, С. А. Владимирова, О. А. Телков // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2023. – Т. 13, № 3-1. – С. 119-125. – DOI 10.34670/AR.2023.55.63.008.
9. Камалетдинов, Р. С. Механизированная добыча нефти и искусственный интеллект. Цифровые технологии в добыче нефти / Р. С. Камалетдинов // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2020. – № 6(102). – С. 86-90.

© Овдиенко С. Н., Волкова Е. А., 2024

ВЗАИМОДОПОЛНЯЕМОСТЬ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ И НЕВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В СОВРЕМЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

магистр **Глоткина Любовь Алексеевна**,
науч. руководитель: канд. филол. наук, доцент
Демидкина Дарья Александровна,
Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматривается взаимодополняемость возобновляемых и невозобновляемых источников энергии в глобальной энергетической системе. На фоне увеличения потребности в снижении выбросов углекислого газа и смягчения последствий изменения климата переход на возобновляемые источники энергии (ВИЭ) становится все более актуальным. Однако ВИЭ сталкиваются с рядом ограничений, таких как непостоянство, зависимость от погодных условий, высокая стоимость хранения и неравномерное географическое распределение. Невозобновляемые источники, хотя и надежны, сопряжены с экологическими и экономическими рисками, а также с ограниченностью ресурсов. Предлагается комплексный подход, сочетающий преимущества ВИЭ и традиционных источников для построения устойчивой и надежной энергетической системы.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, невозобновляемые источники энергии, энергетическая безопасность, комплексный подход, устойчивое развитие.

COMPLEMENTARITY OF RENEWABLE AND NON-RENEWABLE ENERGY SOURCES IN MODERN ENERGY

Master Student **Glottkina Lyubov Alekseevna**,
Academic Advisor: PhD in Philological, Associate Professor
Demidkina Darya Alexandrovna,
Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russian Federation

Abstract. The article examines the complementarity of renewable and non-renewable energy in the global energy system. Against the background of the increasing need to reduce carbon dioxide emissions and mitigate the effects of climate change, the transition to renewable energy sources (RES) is becoming increasingly relevant. However, renewable energy sources face a number of limitations, such as volatility, dependence on weather conditions, high storage costs and uneven geographical distribution. Non-renewable sources, although reliable, are associated with environmental and economic risks, as well as limited resources. An integrated

approach is proposed that combines the advantages of renewable energy sources and traditional sources to build a sustainable and reliable energy system.

Keywords: renewable energy sources, non-renewable energy sources, energy security, integrated approach, sustainable development.

В последние десятилетия глобальный переход к возобновляемым источникам энергии (ВИЭ) значительно ускорился, что обусловлено необходимостью сокращения выбросов углекислого газа, смягчения последствий изменения климата, связанных с традиционными (невозобновляемыми) источниками энергии, такими как уголь, нефть и природный газ. Несмотря на быстрое развитие ВИЭ, таких как солнечная, ветровая и геотермальная, полная зависимость энергетической системы от ВИЭ остается неосуществимой, так как эти источники сталкиваются с определенными ограничениями, особенно в части накопления энергии, перебоев в работе и масштабируемости. В то же время невозобновляемые источники энергии продолжают доминировать в мировом производстве энергии благодаря своей надежности и развитой инфраструктуре [1]. По данным Международного энергетического агентства (МЭА), в 2022 году доля возобновляемых источников в мировом энергопроизводстве достигла 30 %, причем солнечная и ветровая энергетика составили 12 % от общего объема. В то же время невозобновляемые источники энергии (уголь, нефть, природный газ) продолжают обеспечивать 70 % потребностей человечества [2].

Одной из основных проблем, связанных с возобновляемыми источниками энергии, является их непостоянство. Солнечная и ветровая энергия зависят от погодных условий и меняются с течением времени, что затрудняет поддержание стабильного снабжения электроэнергией, особенно при высоком спросе. Согласно отчету Международной ассоциации системных операторов электрических сетей, в 2022 году 30 % всех перебоев в подаче электроэнергии в Европе были связаны с перебоями в работе ВИЭ. Для обеспечения стабильности энергосистемы потребовалось дополнительное использование газовых электростанций [3]. Интеграция решений для хранения энергии, таких как аккумуляторы, гидроаккумулирующие насосы и другие системы накопления энергии, имеют ключевое значение для преодоления этой трудности, однако такие технологии пока находятся на стадии разработки и сталкиваются с проблемами масштабируемости и высокой стоимости. Глобальные инвестиции в развитие ВИЭ составили около 495 миллиардов долларов в 2022 году, что превышает вложения в ископаемые виды топлива, которые составили 350 миллиардов долларов. Однако высокая стоимость технологий накопления энергии остается сдерживающим фактором для дальнейшего роста ВИЭ [4]. Помимо этого, географическое распределение ВИЭ зачастую неравномерно: в одних регионах есть богатый потенциал для солнечной или ветровой энергетик, тогда как в других мощности недостаточны для удовлетворения местных потребностей. Это создает сложности в строительстве инфраструктуры, необходимой для эффективного подключения производства возобновляемой энергии к центрам спроса. В странах Европейского союза доля ВИЭ в

энергетическом балансе достигла 40 % (2022 г.), в то время как в Азии этот показатель варьируется от 10 % до 25 % в зависимости от уровня экономического развития и доступа к ресурсам [5].

Традиционные источники энергии создают множество экологических и экономических проблем. Их использование приводит к значительным выбросам углекислого газа и других парниковых газов, что способствует изменению климата и ухудшению качества воздуха. Кроме того, добыча и транспортировка этих ресурсов сопряжены с рисками для окружающей среды, включая загрязнение почвы, водоемов и разрушение экосистем. Выбросы углекислого газа от угольных электростанций составляют в среднем 820 г. $\text{CO}_2/\text{кВт}\cdot\text{ч}$, тогда как для газовых станций этот показатель снижен до 490 г. $\text{CO}_2/\text{кВт}\cdot\text{ч}$. При этом солнечная и ветровая энергетика имеют выбросы, не превышающие 10-30 г. $\text{CO}_2/\text{кВт}\cdot\text{ч}$, учитывая производство оборудования [6]. Также эти источники энергии ограничены, и их запасы постепенно истощаются, что приводит к росту цен и делает страны зависимыми от поставок из других регионов, что может угрожать их энергетической безопасности. Несмотря на все это, невозобновляемые источники энергии продолжают играть ключевую роль в современных энергетических системах.

Учитывая технические, экономические и социальные проблемы, связанные как с возобновляемыми, так и с невозобновляемыми источниками энергии, наиболее эффективным решением является комплексный подход к энергетике. Для обеспечения энергетической безопасности и устойчивости важно не полагаться исключительно на один тип источников, а диверсифицировать энергетический баланс, сочетая возобновляемые и невозобновляемые ресурсы. Такой подход позволяет использовать преимущества ВИЭ, включая снижение выбросов углекислого газа и повышение энергетической независимости, при этом обеспечивая стабильность, надежность и доступность энергоснабжения по приемлемой цене.

Для максимального усиления взаимодополняющей роли обоих видов энергии ключевое значение имеют достижения в области технологий накопления энергии. Повышение эффективности аккумуляторов и разработка новых методов хранения помогут сократить разрыв между производством возобновляемой энергии и спросом на нее. Кроме того, инновации в технологиях улавливания и хранения углерода (CCS) могут снизить негативное воздействие ископаемого топлива на окружающую среду, позволяя продолжать его использование, одновременно сокращая углеродный след [7].

Будущее глобальных энергетических систем зависит от сбалансированного и комплексного подхода, сочетающего возобновляемые и невозобновляемые источники энергии. Несмотря на значительный потенциал возобновляемых источников в сокращении углеродного следа и снижении воздействия на окружающую среду, в настоящее время они не способны полностью удовлетворить мировые потребности в энергии без поддержки невозобновляемых ресурсов. Взаимодополняющее взаимодействие между этими двумя типами источников обеспечивает стабильность энергосистемы, ее экономическую доступность и надежность.

В заключение следует отметить, что переход к устойчивой энергетике будущего потребует инноваций, инвестиций и сотрудничества в различных секторах. Лишь комплексная стратегия, в которой возобновляемые и невозобновляемые ресурсы работают в тандеме, позволит создать надежную и устойчивую энергетическую систему будущего.

Список литературы:

1. Обзор мировой энергетики на 2021 год // Международное энергетическое агентство (МЭА). (2021) URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021> (дата обращения: 08.11.2024).
2. International Energy Agency (IEA). Renewables 2022: Analysis and forecasts to 2027. Paris: IEA, 2022, с. 45-67. URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ada7af90-e280-46c4-a577-df2e4fb44254/Renewables2022.pdf> (date accessed: 24.11.2024).
3. ENTSO-E. Electricity Security Report 2022. Brussels: European Network of Transmission System Operators for Electricity, 2022, с. 22–35. URL: <https://www.neso.energy/document/289311/download> (date accessed: 24.11.2024). (date accessed: 24.11.2024).
4. Bloomberg New Energy Finance (BNEF). Energy Transition Investment Trends 2023. Bloomberg, 2023. URL: <https://about.bnef.com/> (date accessed: 24.11.2024).
5. Renewable energy targets // European Commission URL: https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-targets_en (date accessed: 24.11.2024).
6. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Geneva: IPCC, 2022. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/> (date accessed: 24.11.2024).
7. Глоткина Л. А. Диспетчеризация и управление в электроэнергетике // Диспетчеризация и управление в электроэнергетике: мат-лы конференции. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 08–10 ноября 2023 года.

© Глоткина Л. А., 2024

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НЕСИММЕТРИЧНОГО МАГНИТНОГО РЕЖИМА НА РАБОТУ ТРЕХФАЗНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ И ПРОБЛЕМЫ РАСЧЕТА ТАКОГО РЕЖИМА

магистрант **Борисов Сергей Павлович**,
Ульяновский государственный технический университет,
г. Ульяновск, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассматривается влияние несимметричного магнитного режима на работу трехфазных силовых трансформаторов и проблемы расчета такого режима. В результате анализа описываются причины возникновения проблем в расчетах и возможные пути их решения, а также даны описания физических процессов, протекающих в трансформаторе. Продемонстрированы методы расчета несимметричных режимов для магнитного поля и описаны проблемы их проведения.

Ключевые слова: трансформатор, несимметричная нагрузка, магнитное поле, магнитный режим, расчет несимметричного режима.

ANALYSIS OF THE EFFECT OF AN ASYMMETRIC MAGNETIC MODE ON THE OPERATION OF THREE-PHASE TRANSFORMERS AND THE PROBLEMS OF CALCULATING SUCH A MODE

Master Student **Borisov Sergey Pavlovich**,
Ulyanovsk State Technical University,
Ulyanovsk, Russian Federation

Abstract. The paper considers the influence of an asymmetric magnetic mode on the operation of three-phase power transformers and the problems of calculating such a mode. As a result of the analysis, the causes of problems in calculations and possible solutions are described, as well as descriptions of the physical processes occurring in the transformer. Methods for calculating asymmetric modes for a magnetic field are demonstrated and the problems of their implementation are described.

Keywords: transformer, asymmetric load, magnetic field, magnetic mode, calculation of the asymmetric mode.

Трансформатором называют статическое электромагнитное устройство, имеющее две и более индуктивно связанных обмоток и предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции одной (первичной) системы переменного тока в другую (вторичную) систему переменного тока [1].

Магнитная система трансформатора включает в себя основные части – магнитопровод, который представляет собой изолированные между собой листы электротехнической стали, и обмотки из меди или алюминия. Такое

исполнение магнитопровода позволяет уменьшить значение вихревых токов, индуцируемых в нем.

Магнитный режим работы трехфазных трансформаторов связан с изменением магнитного поля в сердечнике трансформатора, что приводит к индукции напряженности магнитного поля в обмотках трансформатора [2].

Для полного изучения вопроса необходимы фундаментальные знания о магнитном и электрических режимах работы силовых трансформаторов, которые связаны с расчетом несимметричного магнитного режима, возникающего в системах электроснабжения.

Магнитные потоки в трехфазных трансформаторах подразделяются на основные, рассеяния и магнитные потоки нулевой последовательности.

Основной магнитный – магнитный поток, который распространяется по магнитопроводу.

Поток рассеяния – магнитный поток, который распространяется по участкам, окружающим поверхность магнитопровода, и вызывает рассеяние поля.

Тема влияния несимметричных режимов работы трансформатора и вычисления таких режимов актуальна по нескольким причинам. Прежде всего, несимметричные режимы в системах электроснабжения возникают довольно часто, они делают ее работу нестабильной, что сказывается на работе таких элементов, как трансформатор, и другого оборудования. Также необходимо разработать наиболее эффективные методы расчета параметров трансформаторов и магнитных полей, чтобы добиться точных результатов и избежать проблем в работе оборудования и его повреждения.

Несимметричная нагрузка пагубно влияет на работу трансформатора. Под ее действием увеличиваются потери электроэнергии и ухудшается ее качество в целом.

В магнитной системе возникает магнитный поток нулевой последовательности, замыкающийся через бак и другие конструкционные элементы трансформатора, а также магнитный поток рассеяния, который замыкается через масло. Эти магнитные потоки вызывают появления вихревых токов, которые в свою очередь нагревают элементы трансформатора.

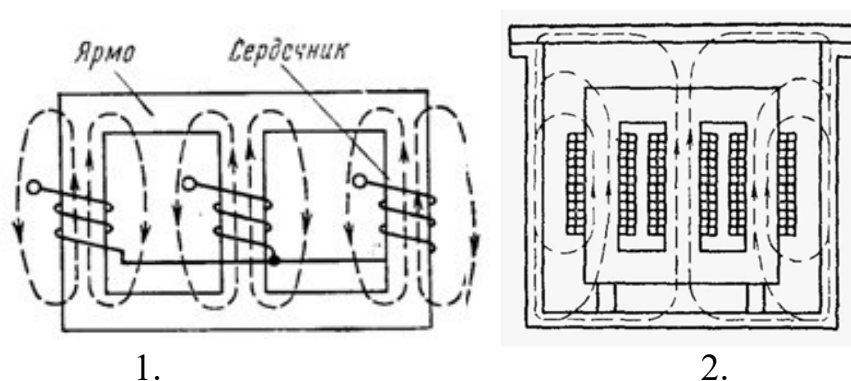


Рисунок 1. Замыкание магнитных потоков:
1 – рассеяния, 2 – нулевой последовательности

Потоки рассеяния трансформатора частично замыкаются через стенки бака, проходя на своем пути также и через другие стальные детали трансформатора. Потери, возникающие в этих стальных деталях и главным образом в стенках бака, пропорциональны квадрату тока нагрузки и также относятся к потерям короткого замыкания трансформатора.

В трехфазном трансформаторе со стержневым магнитные потоки нулевой последовательности Φ_0 всех трех фаз находятся в фазе и потому не могут замыкаться по соседним стержням магнитной системы. Они вынуждены замыкаться от одного ярма к другому по воздуху (в трансформаторе с масляным охлаждением через масло и бак трансформатора).

Важно разработать эффективные методы расчета несимметричных магнитных режимов силовых трехфазных трансформаторов, позволяющие спрогнозировать данное явление. Они будут способствовать более эффективной работе систем электроснабжения, повышению не только надежности оборудования, но и безопасности, при его эксплуатации. Изучение и проработка этой темы могут положить начало новым технологиям, позволяющим учесть влияние несимметричных магнитных режимов, которые приведут к улучшению работы системы в целом.

Распределение магнитного поля в электротехнических устройствах должно быть симметричным относительно центра, однако встречаются случаи, когда такой режим не соблюдается. Исходя из этого, проведение расчета несимметричного магнитного режима является важным этапом в работе электротехнических инженеров [3].

Одним из часто используемых методов при расчете несимметричных режимов является метод симметричных составляющих. Суть метода заключается в том, что мы имеем систему несимметричных векторов, которую можно разложить на три симметричные составляющие – прямую, обратную и нулевую последовательности.

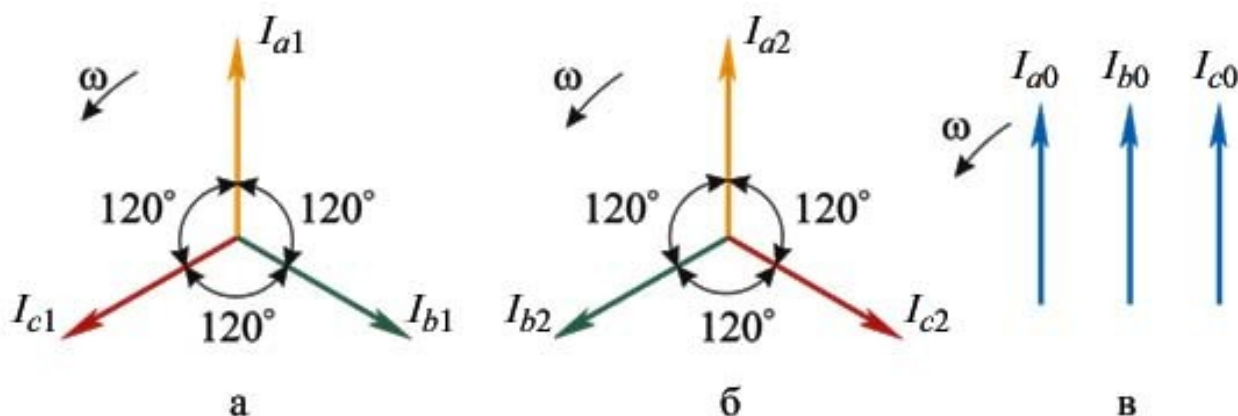


Рисунок. 2. Симметричные составляющие:

a – прямая последовательность,
 $б$ – обратная последовательность, $в$ – нулевая последовательность.

Вектора тока фазы А можно описать системой уравнений:

$$\begin{aligned}\bar{A}_1 &= \frac{1}{3}(\bar{A} + a\bar{B} + a^2\bar{C}) \\ \bar{A}_2 &= \frac{1}{3}(\bar{A} + a^2\bar{B} + a\bar{C}) \\ \bar{A}_0 &= \frac{1}{3}(\bar{A} + \bar{B} + \bar{C})\end{aligned}$$

Оператор a определяется по формуле:

$$a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$$

Аналогичный расчет производится для фаз В и С [4].

Следующим методом является метод конечных элементов. Суть метода заключается в разложении устройства проектирования на конечные элементы, которые имеют собственные характеристики и параметры. С помощью этого метода появляется возможность решить систему уравнений, которая позволит определить напряженность магнитного поля каждого конечного элемента.

Еще одним методом, используемым для расчета несимметричного магнитного режима, является метод симметричных компонентов. Рассмотрение несимметричного магнитного поля в данном случае происходит посредством разложения его на три симметричных компонента: прямую, обратную и нулевую. При этом каждая компонента вычисляется отдельно, что упрощает процесс расчетов.

Для корректного расчета магнитного режима необходимая максимально точная информация о геометрии магнитной системы трансформатора, включая размеры магнитопровода, бака, всех зазоров, количество витков обмоток, а также все материалы и прочее.

Все необходимые данные могут варьироваться, в зависимости от типа трансформатора, его мощности и производителя. Для их получения можно использовать воссозданные цифровые двойники реальных моделей либо экспериментальные данные. Независимо от метода получения этих данных, их точность является необходимой предпосылкой к нахождению эффективного способа решения задачи.

Задача расчета несимметричного магнитного режима достаточно сложна, на ее решение потребуется значительное количество времени и ресурсов. Несмотря на это, современные методы расчета и системы математического моделирования позволяют решать эти задачи гораздо эффективнее, что дает возможность сократить время вычислений и создавать более совершенные устройства.

Говоря о проблемах, из-за такого режима увеличивается нагрев обмоток трансформатора, что может привести к перегреву и преждевременной поломке устройства. Эта проблема возникает не только по причине несимметричного режима работы, но и из-за погрешностей в конструкции, в процессе проектирования и расчета параметров трансформатора.

Одним из решений проблемы появления несимметричного режима работы является установка компенсирующих устройств, а также строгий расчет нагрузок и максимальная симметрия каждой фазы [5].

Таким образом, несимметричный магнитный режим является неблагоприятным для работы силового трехфазного трансформатора, имеется необходимость в максимальном уменьшении его влияния. Решение данной проблемы кроется в разработке более совершенных методов анализа и расчета таких режимов, каждый из которых является уникальным, и его решение требует индивидуального подхода.

Список литературы:

1. Кислицын, А. Л. Трансформаторы: учеб. пособие по курсу «Электромеханика» / А. Л. Кислицын. – Ульяновск: УлГТУ, 2001. – 76 с.
2. Сотников, В. В. Электрические машины: в 2 ч. Ч. 1. Трансформаторы. Общие вопросы теории электрических машин. Асинхронные двигатели: учеб. пособие / В.В. Сотников. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2018. – 160 с.
3. Александров, Г. Н. Трансформаторы и реакторы: новые идеи и принципы: учеб. пособие / Г. Н. Александров, М. А. Шакиров. Санкт-Петербург: Политехнический ун-т, 2006. – 204 с.
4. Бычков, Ю. А. Основы теоретической электротехники: учеб. пособие / Ю. А. Бычков, В. М. Золотницкий, Э. П. Чернышев. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2008. – 592 с.
5. Данилов, И. А. Электрические машины: По специальностям "Электрификация сельск. хоз-ва" и "Механизация и электрификация животноводства" / И. А. Данилов, К. В. Лотоцкий. - Москва : Колос, 1972. -527 с.

© Борисов С. П., 2024

ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ – ЭНЕРГИЯ БУДУЩЕГО

магистр **Глоткина Любовь Алексеевна**,
науч. руководитель: канд. филол. наук, доцент
Демидкина Дарья Александровна,
Казанский государственный энергетический университет
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. Термоядерный синтез представляет собой один из наиболее перспективных способов решения глобальных энергетических проблем, предлагая практически неограниченный источник энергии с минимальным воздействием на окружающую среду. В статье рассмотрены основные принципы термоядерного синтеза, современные методы удержания плазмы, включая магнитное и инерционное удержание, а также последние достижения в области сверхпроводящих технологий и лазерного термоядерного синтеза. Обсуждаются ключевые инженерные и экономические вызовы, препятствующие внедрению термоядерных технологий в промышленность. Работа акцентирует внимание на экологических и социальных преимуществах термоядерной энергетики, делая акцент на ее роль в формировании устойчивого будущего.

Ключевые слова: термоядерный синтез, магнитное удержание, устойчивая энергетика, термоядерные реакторы, ИТЭР, энергетика будущего.

THERMONUCLEAR FUSION IS THE ENERGY OF THE FUTURE

Master Student **Glotskina Lyubov Alekseevna**,
Academic Advisor: PhD in Philological, Associate Professor
Demidkina Darya Alexandrovna,
Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russian Federation

Abstract. Thermonuclear fusion is one of the most promising ways to solve global energy problems, offering an almost unlimited source of energy with minimal environmental impact. The article discusses the basic principles of thermonuclear fusion, modern methods of plasma confinement, including magnetic and inertial confinement, as well as the latest achievements in the field of superconducting technologies and laser thermonuclear fusion. The key engineering and economic challenges preventing the introduction of thermonuclear technologies into industry are discussed. The work focuses on the environmental and social benefits of thermonuclear energy, emphasizing its role in shaping a sustainable future.

Keywords: thermonuclear fusion, magnetic confinement, sustainable energy, thermonuclear reactors, ITER, energy of the future.

Традиционные источники энергетики, такие как уголь, нефть и природный газ, зависят от энергетического рынка, также они связаны с экологическими и ресурсными ограничениями. Термоядерный синтез, имитирующий процессы, происходящие в ядре Солнца, является дополнительной альтернативой, который дает возможность удовлетворить энергетические потребности человечества с минимальным воздействием на окружающую среду.

Термоядерный синтез – это процесс, при котором два легких атомных ядра объединяются, образуя более тяжелое ядро, выделяя большое количество энергии. Наиболее осуществимая термоядерная реакция для получения энергии включает в себя изотопы водорода: дейтерий и тритий. Когда эти ядра соединяются при чрезвычайно высоких температурах (приблизительно 100 миллионов Кельвинов), они преодолевают электростатическое отталкивание и высвобождают энергию. Дейтерий можно добывать из морской воды (30 г дейтерия в 1 м³ воды) [1]. 1 кг дейтерия и трития может производить до 80 ТДж энергии, эквивалентной сжиганию 10 000 тонн угля.

Для достижения условий, необходимых для термоядерного синтеза на Земле, исследователи используют два основных подхода к удержанию: магнитный и инерционный.

Магнитное удержание основано на мощных магнитных полях, которые удерживают горячую плазму в стабильной форме, предотвращая ее соприкосновение со стенками реактора. Наиболее известным устройством магнитного удержания является токамак, тороидальная камера (в форме бублика), в которой плазма удерживается сильными магнитными полями, генерируемыми сверхпроводящими катушками. Проект ITER (Международный экспериментальный термоядерный реактор), который в настоящее время строится во Франции, направлен на демонстрацию возможности термоядерного синтеза с магнитным удержанием в больших масштабах. В проекте ИТЭР участвуют 35 стран, включая ЕС, США, Россию, Японию и Китай. Использование инновационных материалов и усовершенствованных конструкций позволит оснастить ИТЭР одними из самых мощных устройств для нагрева плазмы, которые когда-либо использовались. В результате на установке будет генерироваться 500 МВт термоядерной энергии при подаче 50 МВт тепловой энергии, что соответствует коэффициенту усиления Q не менее 10. Процесс генерации энергии будет циклическим: каждая термоядерная реакция будет длиться около 5–10 минут [2].

В инерционном режиме небольшие гранулы дейтерий-тритиевого топлива быстро сжимаются и нагреваются с помощью мощных лазеров или пучков частиц. Сжатие и быстрый нагрев приводят к тому, что топливо достигает термоядерного состояния. Национальный комплекс лазерных термоядерных реакций (NIF) в Соединенных Штатах работает над этим подходом, достигнув за последние годы значительных успехов. В августе 2021 года NIF впервые сообщил о получении чистой энергии в результате эксперимента по термоядерному синтезу, который продемонстрировал, что достижение термоядерного синтеза с инерционным удержанием возможно. В [3] описывает успешный эксперимент по термоядерному синтезу, проведенный Национальной

лабораторией им. Лоуренса Ливермора (NIF) в США. Один из экспериментов в 2023 году показал выход энергии в 3,88 МДж при входной энергии 2,05 МДж, что соответствует коэффициенту усиления энергии около 1,9.

Это знаменует переход к реальному пониманию управляемого термоядерного синтеза как источника энергии.

Чтобы использовать синтез в качестве практического источника энергии, необходимо решить несколько ключевых проблем:

1. Материалы, устойчивые к экстремальным условиям: интенсивный поток нейтронов высокой энергии и других частиц, образующихся во время реакций синтеза, подвергает конструкционные материалы реактора экстремальным условиям.

2. Управление тепловым выбросом и выбросом частиц из плазмы. В токамаках, таких как ИТЭР, это достигается с помощью компонента, называемого дивертором, который извлекает тепло и частицы из плазмы и защищает стенки реактора от повреждений. Экстремальные условия плотности мощности в области дивертора представляют значительные инженерные проблемы.

3. Достижение и поддержание высоких температур. Одной из основных задач в исследованиях термоядерного синтеза является поддержание температур, превышающих 100 миллионов Кельвинов. Нестабильность плазмы, часто обусловленная взаимодействиями между частицами и электромагнитными полями, может привести к потере энергии.

Последние достижения в области технологии сверхпроводящих магнитов, особенно в области высокотемпературных сверхпроводников, потенциально могут произвести революцию в системах магнитного удержания. Новые конструкции токамаков, такие как реактор SPARC, разработанный Массачусетским технологическим институтом и Commonwealth Fusion Systems, направлены на достижение положительного результата в производстве энергии в течение следующего десятилетия [4].

Термоядерная энергетика привлекательна своим минимальным воздействием на окружающую среду. Водород – основной источник топлива, который используется в изобилии, и в процессе термоядерного синтеза не выделяются парниковые газы. Кроме того, термоядерные реакторы имеют меньший риск катастрофического отказа по сравнению с реакторами деления, поскольку любые сбои в процессе синтеза естественным образом приводят к остановке реакции.

Современная энергетика сталкивается с множеством вызовов, включая снижение запасов ископаемого топлива, изменение климата и рост глобального энергопотребления. Развитие термоядерного синтеза как альтернативного источника энергии становится важнейшей задачей. В отличие от традиционных технологий, термоядерный синтез предлагает практически неисчерпаемый источник энергии, низкий углеродный след и минимальный риск экологических катастроф. Кроме того, стремительное развитие технологий магнитного удержания, таких как ITER, и успехи инерционного удержания делают термоядерный синтез все более реальным в ближайшей перспективе [5]. Таким

образом, исследование этой темы отвечает актуальным потребностям человечества в переходе к устойчивой энергетике. Термоядерный синтез может сыграть решающую роль в будущем энергоснабжении, обеспечив устойчивое и чистое производство энергии. Однако для достижения этих целей потребуются преодоление серьезных технических и научных препятствий.

Список литературы:

1. Что такое термоядерный синтез и почему его так сложно запустить? // Международное агентство по атомной энергетике. – URL: <https://www.iaea.org/ru/energiya-termoyadernogo-sinteza/chto-takoe-termoyadernyy-sintez-i-pochemu-ego-tak-slozhno-zapustit> (дата обращения: 24.11.2024).
2. ITER Organization. ITER Research Plan // Официальный сайт проекта ITER. – URL: <https://www.iter.org> (date accessed: 24.11.2024).
3. Прорыв в термоядерном синтезе: достижения эксперимента NIF в Ливерморской национальной лаборатории Источник: <https://neftegaz.ru/news/nuclear/818912-proryv-v-termoyadernom-sinteze-dostizheniya-eksperimenta-nif-v-livermorskoy-natsionalnoy-laboratorii/> //Neftegaz.ru. – URL: <https://neftegaz.ru/news/nuclear/818912-proryv-v-termoyadernom-sinteze-dostizheniya-eksperimenta-nif-v-livermorskoy-natsionalnoy-laboratorii/> (дата обращения: 24.11.2024).
4. Какие проблемы возникли на ИТЭР и почему задерживается энергопуск российского токамака // Страна Росатом. – URL: <https://strana-rosatom.ru/2023/03/30/sverili-termoyadernye-chasy-itogi-konf/> (дата обращения: 07.11.2024).
5. European Joint Undertaking for ITER and the Development of Fusion Energy. (2023). Fusion Energy Research in Europe. – URL: <https://fusionforenergy.europa.eu> (date accessed: 24.11.2024).

© Л. А. Глоткина, 2024

АНАЛИТИКА БОЛЬШИХ ДАННЫХ: ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И PYTORCH

студент **Поляков Прохор Александрович**,

студент **Голиков Глеб Игоревич**,

науч. руководитель: канд. экон. наук, доцент

Конников Евгений Александрович,

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Применение эффективных подходов к анализу цифровых данных стало критически важным в текущей экономической и политической ситуации. Если это «большие данные» – методы машинного обучения являются критически необходимым инструментарием. В данной работе рассматривается опыт зарубежных и отечественных авторов по данной теме. Преимущественно описываются базовые принципы, подходы и методы машинного обучения, а также объясняется такой вид «черных ящиков», как нейросети, и взаимодействие с ними через библиотеку PyTorch.

Ключевые слова: большие данные, экономика, машинное обучение, нейросети, Python, PyTorch, анализ данных.

BIG DATA ANALYTICS: APPLICATION OF MACHINE LEARNING METHODS AND PYTORCH

Student **Polyakov Prokhor Aleksandrovich**,

Student **Golikov Gleb Igorevich**,

Academic Advisor: Ph.D. in Economics, Associate Professor

Konnikov Evgeny Aleksandrovich,

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,

St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. The use of effective approaches to the analysis of digital data has become critically important in the current economic and political situation. If this is "big data", machine learning methods are a critical tool. This paper examines the experience of foreign and domestic authors on this topic. It mainly describes the basic principles, approaches and methods of machine learning, and also explains such a type of "black boxes" as neural networks and interaction with them through the PyTorch library.

Keywords: big data, economics, machine learning, neural networks, Python, PyTorch, data analysis.

Четвертая промышленная революция позволила человеку автоматизировать большинство рутинных бытовых процессов естественной

жизнедеятельности. Однако это же привело к значительному росту информации любого типа и формата в сети Интернет. Поэтому возникла необходимость в разработке новых подходов к агрегации и обработке таких массивов данных. Именно для решения вытекающих из этой проблемы задач были разработаны методы машинного обучения, которые продолжают совершенствоваться по сей день.

Цель данной статьи — продемонстрировать эффективность применения методов машинного обучения, реализованных с помощью PyTorch.

Анализ данных классическими, традиционными методами в достаточной степени трудоемок и не исключает обычные ошибки, выраженные человеческим фактором. Поэтому ученые и инженеры стремились разработать экстраординарные способы анализа данных со значительным приростом эффективности их применения и интерпретации получаемых логических связей. Так появились методы машинного обучения. В данный момент инженеры и ученые работают над оптимизацией методов машинного обучения для решения требуемых задач за меньшее время при сохранении или увеличении параметров эффективности работы.

Hazeltine R. в своем исследовании демонстрирует базовые методы машинного обучения такие как Linear Regression, Random Forest, Gradient Boosting. Автор детально описывает принципы работы каждого из представленных методов, указывает на важность подбора и последующей оптимизации параметров для каждой модели, приводит результаты работы каждого из них, а также сравнивает полученные результаты. Это позволяет наглядно убедиться в эффективности применения методов машинного обучения над традиционными решениями анализа информации [1].

В отечественных исследованиях Гречников А., Курбатов И. демонстрируют практическое применение методов машинного обучения в контексте различных отраслей экономики Российской Федерации. Авторы отмечают, что с нелинейным восходящим ростом цифровой информации методы машинного обучения являются необходимым инструментарием в арсенале каждого аналитического отдела любой компании, которая желает оставаться конкурентоспособной [2].

Как уже было доказано во многих рассмотренных исследованиях отечественных и зарубежных авторов, в современном мире, где огромные массивы информации хранятся, создаются и генерируются, использование методов машинного обучения и нейросетей является не опциональной возможностью, а необходимостью для успешного конкурентирования в условиях рыночной экономики.

Прежде, чем описывать методы, подходы и задачи в машинном обучении, необходимо рассмотреть базовую структуру данных, с которыми уже можно работать в практических этапах. Структура данных или датасет представляет собой набор данных, который имеет X и Y (часто обозначаются, как X -train и Y -train). X — это наборы данных (наблюдения, статистическая информация, любые исходные данные, которые требуется подвергнуть анализу). Y — результирующие данные [3]. То есть результаты, которые получаются исходя их

анализа X . В зависимости от поставленной задачи данные могут содержать как X и Y , так и только X .

Если переходить к рассмотрению методов машинного обучения, то в первую очередь необходимо детализировать два основополагающих подхода в машинном обучении. Это обучение с учителем и обучение без учителя.

К обоим данным вариантам могут применяться одни и те же методы машинного обучения, однако вышеописанные подходы в первую очередь отличаются целью исследования или задачи, к которому он применяется [4].

Обучение с учителем означает обучение какой-либо модели на данных, в которых уже есть Y (Y -train) с правильным (верным/валидным) ответом или значением. Такой подход позволяет при каждой итерации обучения «взаимодействовать» с валидным ответом, тем самым получая стимул найти такую комбинацию параметров, которые позволят получить наиболее приближенный к валидному ответ.

Обучение без учителя подразумевает, что модель будет стремиться находить различные логические взаимосвязи в данных, чтобы получить финальное значение для искомым данных. Обучение без учителя как правило используется в задачах кластеризации, когда необходимо объединить и/или классифицировать определенный набор данных или наблюдений. Однако у обучения без учителя возникает один существенный недостаток – это вероятность построения моделью такой логики данных, которую будет невозможно или очень сложно интерпретировать человеку, а, следовательно, и обосновывать.

Механизм, создаваемый методом машинного обучения для нахождения требуемого результата, часто сравнивают с так называемым «черным ящиком». Самыми явными примерами «черного ящика» в методах машинного обучения являются нейросети [5]. Существуют различные виды нейросетей для решения всевозможных задач, начиная от генерации текста или общения с пользователем (LLM модели – large language models) до распознавания определенных паттернов на изображениях или видео (CNN сети – Convolutional neural networks).

Для обучения нейросетей любого типа требуются огромные наборы данных. Это нужно в первую очередь для того, чтобы нейросеть смогла на основании большого массива как можно более разнородной информации в контексте преследуемой задачи построить нейронные слои таким образом, чтобы результатом работы данных слоев при практическом применении стал в той или иной степени валидный, устраивающий пользователя результат, при новых вводных данных, отличных от тех, на которых производилось обучение нейросети [6]. Таким образом выводится общее правило обучения нейросетей, которое гласит: качественное обучение нейросети требует большого количества времени или же очень производительного аппаратного решения. Последнее подразумевает под собой существенные финансовые вложения для построения оных [7].

С программной точки зрения создание нейросетей возможно с помощью очень удобной библиотеки для языка программирования Python – Torch. Данную библиотеку еще называют PyTorch. Главным преимуществом данной

библиотеки является простота ее использования для обучения и последующего пользовательского взаимодействия, так как PyTorch позволяет не только обучать нейросети, но и взаимодействовать с уже разработанными.

PyTorch, как и любая другая библиотека на Python, содержит в себе методы и параметры к ним, взаимодействуя с которыми, получается собрать программный комплект для создания нейросетей практически любых типов. А качество обучения данных нейросетей будет зависеть только от времени обучения и производительности аппаратного комплекса, на базе которого происходит данное обучение. Все это делает PyTorch очень эффективным и простым инструментом для применения в различных отраслях экономики.

Однако, как и любой инструмент, PyTorch не лишен нескольких недостатков. В сравнении с его основным конкурентом – библиотекой TensorFlow – PyTorch уступает в производительности при взаимодействии и настройке моделей сверхбольших размеров. В моделях, которые направлены на решение сразу нескольких задач различного спектра применения — это может стать критическим недостатком. Также в рассматриваемой нами библиотеке существует меньшее количество инструментов для развертывания моделей различных размеров для их последующего выпуска в открытый доступ для широкого количества пользователей. Это особенно заметно при необходимости интеграции с облачными платформами или создании легковесных, оптимизированных для мобильных устройств приложений. И, наконец, PyTorch поддерживает меньше интеграций с другими различными библиотеками и типами данных, которые могут использоваться во всевозможных корпоративных программных решениях на базе языка программирования Python. Например, интеграция с некоторыми базами данных или специализированными библиотеками для обработки сигналов или временных рядов может быть менее развита, чем в TensorFlow, что может ограничивать возможности разработчиков в определенных областях. В целом, выбор между PyTorch и TensorFlow зависит от специфики проекта и приоритетов разработчика, при этом TensorFlow часто предпочтительнее для проектов с очень большими моделями и сложной инфраструктурой [6, 7].

Заключение. С началом эпохи цифровизации огромные массивы информации обретают цифровой вид, образуя тем самым так называемые «большие данные». Такой тип данных требует кардинально новых подходов для взаимодействия с ними. Методы машинного обучения и нейросети, в частности, решают данную задачу. Именно они позволяют эффективно взаимодействовать с такими большими объемами данных и находить в них критически важные взаимосвязи. В данном исследовании были описаны и классифицированы базовые принципы и виды машинного обучения. В последующих работах необходимо углубиться в процесс подготовки данных для подачи на обучение методам машинного обучения.

Список литературы:

1. Hazeltine, R. Machine Learning in Big Data Analytics. International Journal of Data Science. – 2019. - №11(2). – Pp. 101-115.
2. Гречников А., Курбатов И. Применение методов машинного обучения в аналитике больших данных в России. Журнал информационных технологий. 2018. - №7(4). – С. 34–45.
3. Devane, L. (2020). Big Data and Machine Learning Strategies. Journal of Digital Innovation. - 9(3). – Pp. 59-73.
4. Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации». - 2017. - Официальный сайт программы.
5. Mutalimov, A. A. Development of new technologies of artificial intelligence and Big Data analysis as a factor of increasing the competitiveness of Russian commercial banks / A. A. Mutalimov // The World of Science without Borders : PROCEEDINGS OF THE 10th ALL-RUSSIAN SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE (WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION) FOR YOUNG RESEARCHERS, Tambov, 21 апреля 2023 года. – Tambov: Издательский центр ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», 2023. – P. 625-626.
6. Пашина, П. А. Системное моделирование технологий анализа и обработки данных с использованием интегрированных алгоритмов машинного обучения / П. А. Пашина, Д. Г. Родионов, Е. А. Конников. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2024. – 133 с.
7. Специфика анализа информационного пространства отраслевых рынков в рамках цифровизации экономики / В. И. Сорокин, Д. Г. Родионов, В. В. Ковалевская [и др.]. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2024. – 102 с. – ISBN 978-5-7422-8588-5. – EDN JAQBER.

© Поляков П. А., Голиков Г. И., 2024

СТАТИСТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ В СООТВЕТСТВИИ С ПРИНЦИПОМ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА «ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ, ОСНОВАННОЕ НА СВИДЕТЕЛЬСТВАХ»

магистрант **Гулин Владислав Михайлович**,
Рыбинский государственный авиационный технический
университет имени П. А. Соловьева
г. Рыбинск, Российская Федерация

Аннотация. В данной работе рассматривается статистическое управление процессом как инструмент реализации принципа менеджмента качества «принятие решений, основанное на свидетельствах». Использование в работе настолько простого и одновременно эффективного диагностического инструмента, как контрольные карты Шухарта, позволяет установить природу вариабельности процесса. А использование индексов анализа процесса позволяет оценить возможность процесса выпуска годного продукта.

Ключевые слова: статистическое управление процесса, менеджмент качества, принцип, контрольные карты Шухарта, индексы процесса.

STATISTICAL MANAGEMENT OF THE PROCESS IN ACCORDANCE WITH THE QUALITY MANAGEMENT PRINCIPLE «EVIDENCE-BASED DECISION MAKING»

Master's Student **Gulin Vladislav Mikhailovich**,
Rybinsk State Aviation Technical University named
after P. A. Solovyov
Rybinsk, Russian Federation

Abstract. This paper considers statistical process management as a tool for implementing the principle of quality management "evidence-based decision-making." The use of such a simple and at the same time effective diagnostic tool as Shewhart control cards allows us to establish the nature of the variability of the process. And the use of process analysis indices allows you to assess the possibility of the process for the release of a suitable product.

Keywords: statistical process management, quality management, principle, Shewhart control cards, process indices.

Принципы менеджмента качества, указанные в ГОСТ Р ИСО 9000-2015 «Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь» [1], являются не просто лозунгами, а векторами развития организации. Их соблюдение отражает нацеленность организации на ведение качественной деятельности, формирование эффективной и результативной системы менеджмента. Доказывать эффективность принципов менеджмента качества нецелесообразно,

однако хочется отметить, что уравнивание этих принципов между собой неправильно. Объясняется это тем, что любые действия в организации являются следствием какого-либо управленческого решения, тогда, ссылаясь на 6 принцип менеджмента качества «принятие решений, основанное на свидетельствах», определяется базовый принцип не только формирования системы менеджмента качества, но и любой другой системы менеджмента.

Данный принцип играет ключевую роль в принятии управленческих решений на всех уровнях управления организацией. Именно обоснованное выстраивание причинно-следственных цепочек с выделением коренной причины (первопричины) нежелательной ситуации позволяет принять зачастую единственно верное и экономически целесообразное решение, направленное именно на устранение коренной причины проблемы, а не ее последствий. Что особенно актуально в настоящее время, когда окружающий нас мир полон неоднозначности, отличающийся постоянной переменчивостью и высокой сложностью.

Однако прежде чем заниматься разработкой корректирующих или даже предупреждающих действий, целесообразно провести анализ нежелательной ситуации, чтобы определить природу ее вариабельности. Для этого рекомендуется обратиться к такому диагностическому инструменту как контрольные карты Шухарта, которым 16 мая 2024 года исполнилось 100 лет с момента построения первой контрольной карты ее автором Уолтером Шухартом.

Контрольные карты Шухарта. В основу своего диагностического инструмента Шухарт заложил идею о том, что изменчивость контролируемого объекта может быть вызвана либо системой, в которой данный объект функционирует, либо внесистемными причинами, несвойственными для данного объекта [2, с 26; 3, с. 39]. Если в первом случае на вариабельность объекта действует множество факторов, обусловленных его системой, при этом их влияние незначительно, то такую вариацию называют управляемой, а ее причины – общими или естественными. Во втором случае на вариабельность объекта влияют факторы, оказывающие существенное воздействие, такая вариабельность именуется неуправляемой, а ее причины называются специальными причинами вариации. Иными словами, сущность контрольных карт (КК) Шухарта сводится к установлению, статистически управляем ли процесс или нет, т. е. можно ли надежно предсказать поведение процесса в будущем.

Для этого было предложено сопоставлять динамику изменчивости величины контролируемого параметра по времени с его собственной изменчивостью. При этом сам ход процесса – проверять на предмет наличия типовых структур, свидетельствующих о наличии специальных причин вариации. Далее на конкретном примере рассмотрим процесс построения КК Шухарта.

Анализ процесса. В качестве примера был выбран некий производственный процесс, за которым был организован краткосрочный период наблюдений, состоящий из 34 зарегистрированных единиц.

На первом шаге анализа данных необходимо провести их анализ на предмет однородности. Это делается для того, чтобы изначально рассматривать

данные одной выборки (одних условий протекания процесса). Для этого была построена карта хода процесса (рис. 1), по данным которой видно, что они однородны.

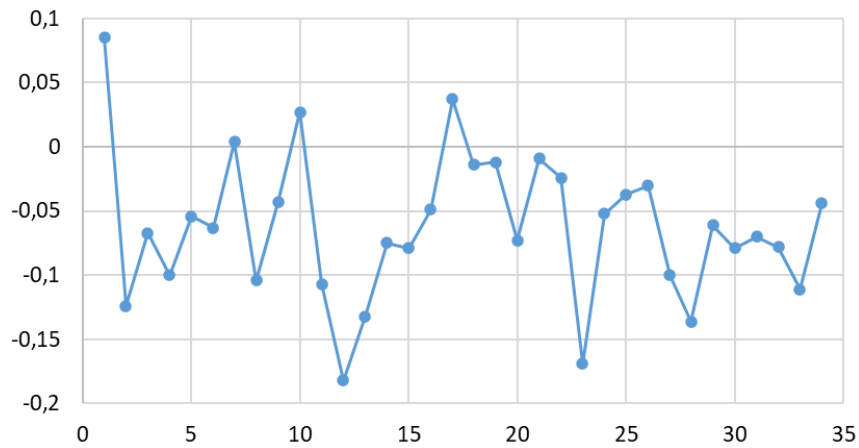


Рисунок 1. Карта хода процесса

На втором шаге была построена КК Шухарта индивидуальных значений и скользящих размахов (рис. 2).

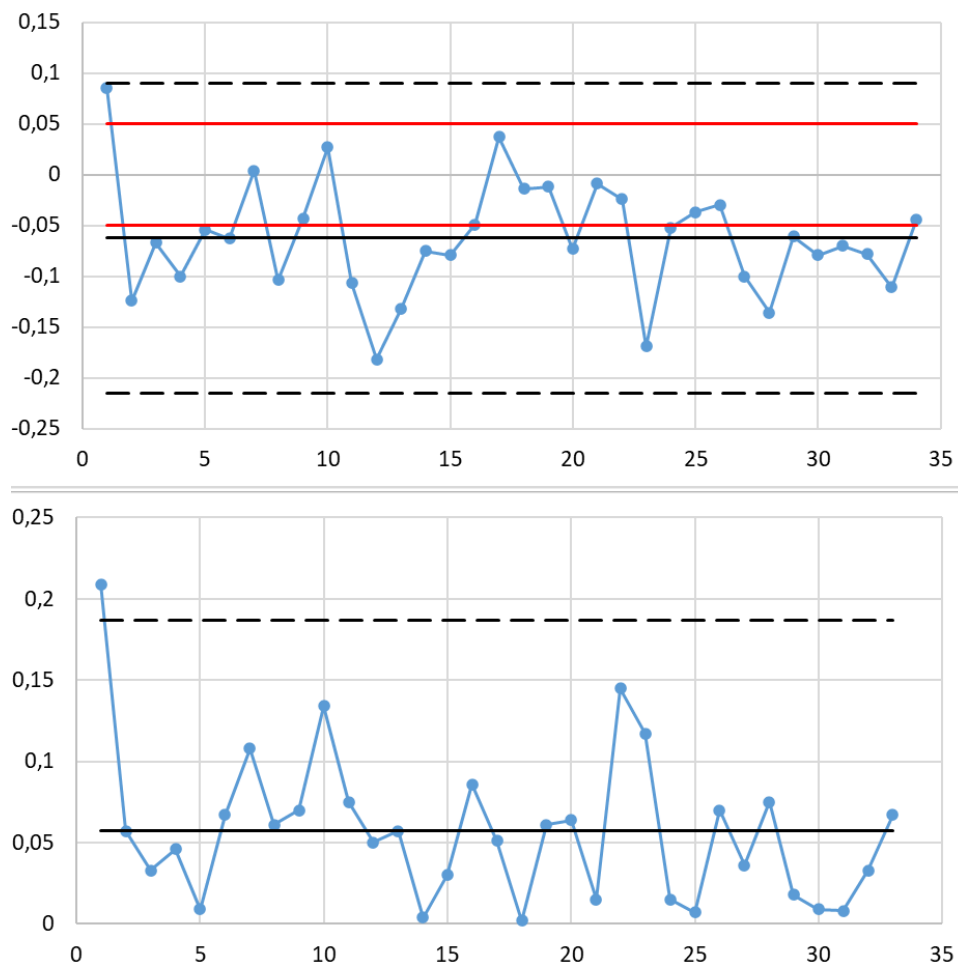


Рисунок 2. Контрольная карта Шухарта I-mR

Интерпретируя построенную карту на предмет наличия типовых структур, свидетельствующих о наличии специальных причин вариации согласно ГОСТ Р ИСО 7870-2-2015 [4], наблюдаем выход первой точки на карте скользящих размахов за пределы собственной изменчивости процесса. Соответственно, процесс статистически неуправляем.

Поэтому, чтобы продолжить дальнейший анализ процесса, следует привести его в состояние статистической управляемости. Для этого были исключены соответствующие точки, свидетельствующие о наличии специальных причин вариации в процессе, и построены новые КК Шухарта индивидуальных значений и скользящих размахов (рис. 3).

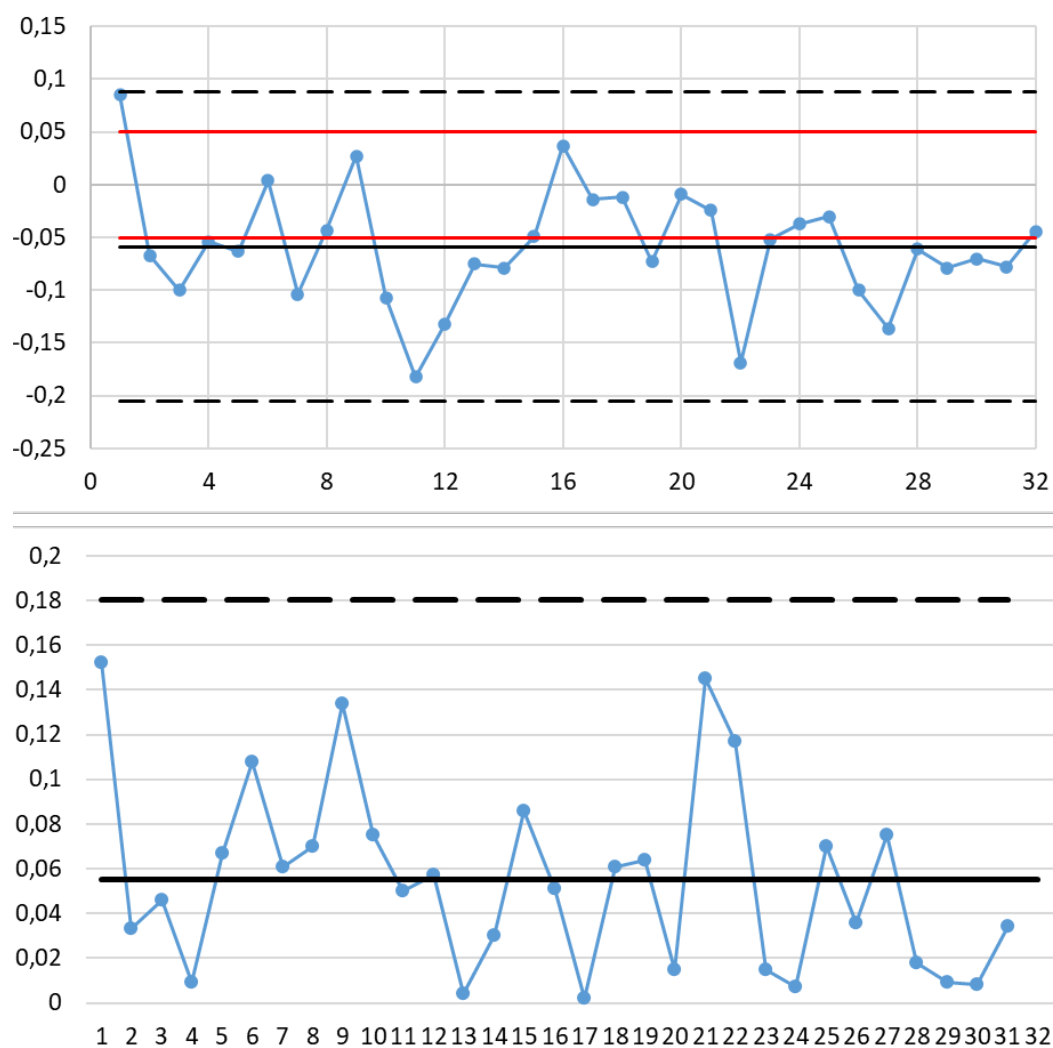


Рисунок 3. КК Шухарта I-mR: обновленная

Анализ карты Шухарта показывает, что процесс статистически управляемый. На следующей этапе анализа процесса имеет смысл оценить его технологические возможности за счет индексов процесса. Однако условием их применения выступает требование нормальности распределения исходных данных.

Чтобы проверить данные на соответствие нормальному закону распределения, был использован критерий согласия Андерсона-Дарлинга, где

величина AD^2 составила 0,192, а расчетный уровень риска составил почти 0,9, т. е. принимается гипотеза о нормальности распределения. Это же подтверждает характер эмпирической функции распределения (рис. 4).

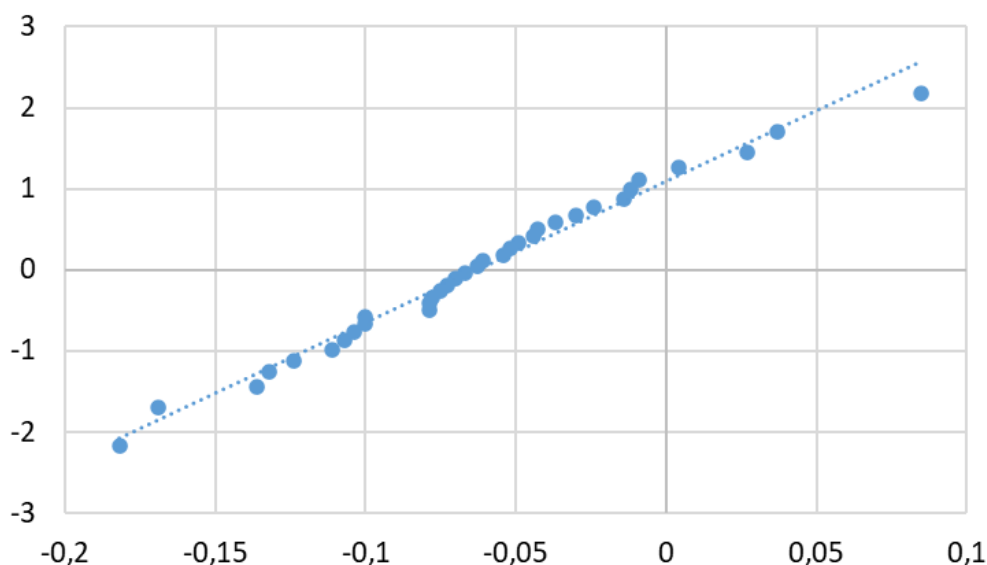


Рисунок 4. Эмпирическая функция распределения

Для расчета индексов процесса воспользуемся стандартными формулами [5], сущность которых сводится к отношению голоса потребителя к голосу процесса (таблицы 1, 2).

Таблица 1 – Расчетное значение индекса воспроизводимости процесса

Индекс процесса	C_p	C_{pU}	C_{pL}	C_{pk}
Значение индекса	0,34	0,74	-0,06	-0,06

Таблица 2 – Расчетное значение индекса пригодности процесса

Индекс процесса	P_p	P_{pU}	P_{pL}	P_{pk}
Значение индекса	0,29	0,66	-0,07	-0,07

Исходя из данных таблиц, мы видим, что процесс невоспроизводим и неконтролируем. А уровень выхода годного составляет всего лишь 41 %. Таким образом, мы понимаем, что помимо того, что вариабельность рассмотренного процесса вызвана специальными причинами вариации, так и технологические возможности процесса крайне малы. Соответственно, в таком случае, во-первых, необходимо привести процесс в состояние статистической управляемости, так и во-вторых, все равно вмешаться в технологию процесса, чтобы повысить вероятность появления годного продукта, отвечающего требованиям заказчика.

Список литературы:

1. ГОСТ Р ИСО 9000-2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь: национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 сентября 2015 г. № 1390-ст : дата введения 2015-11-01. – Москва : – Стандартиформ, 2015. – 56 с. – Текст : непосредственный.
2. Адлер Ю. Практическое руководство по статистическому управлению процессами / Ю. П. Адлер, В. Л. Шпер. – М.: Альпина Паблишер, 2023. – 234 с.
3. Уиллер Д. Статистическое управление процессами: Оптимизация бизнеса с использованием контрольных карт Шухарта / Дональд Уиллер, Дэвид Чамберс; Пер. с англ. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2009. – 409 с. – (Серия «Модели менеджмента ведущих корпораций»).
4. ГОСТ Р ИСО 7870-2-2015. Статистические методы. Контрольные карты. Часть 2. Контрольные карты Шухарта : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 6 октября 2015 г. № 1469-ст : дата введения 2016-07-01. – Москва : – Стандартиформ, 2016. – 28 с. – Текст : непосредственный.
5. ГОСТ Р ИСО 22514-2-2015. Статистические методы. Управление процессами. Часть 2. Оценка пригодности и воспроизводимости процесса на основе модели его изменения во времени : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 ноября 2015 г. № 1909-ст : дата введения 2016-02-01. – Москва : – Стандартиформ, 2019. – 46 с. – Текст : непосредственный.

© Гулин В. М., 2024

ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДСКАЗАТЕЛЬНОЙ АНАЛИТИКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

студент **Шакурова Лилия Эдуардовна**,
Уфимский университет науки и технологий
г. Уфа, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматривается применение технологий предсказательной аналитики для повышения эффективности и безопасности теплоэнергетических установок. Основное внимание уделено анализу методов машинного обучения, обработки больших данных и математического моделирования, а также их внедрению в теплоэнергетику. Приведены примеры успешной реализации предсказательных моделей, способствующих снижению аварийности и оптимизации эксплуатационных расходов.

Ключевые слова: предсказательная аналитика, машинное обучение, большие данные, теплоэнергетика, математическое моделирование, диагностика, прогнозирование.

PREDICTIVE ANALYTICS TECHNOLOGIES TO IMPROVE EFFICIENCY AND SAFETY IN THERMAL POWER PLANTS

Student **Shakurova Lilia Eduardovna**,
Ufa University of Science and Technology,
Ufa, Russian Federation

Abstract. The article discusses the use of predictive analytics technologies to improve the efficiency and safety of thermal power plants. The main attention is paid to the analysis of machine learning methods, big data processing and mathematical modeling, as well as their implementation in the thermal power industry. Examples of successful implementation of predictive models that contribute to reducing accidents and optimizing operating costs are given.

Keywords: predictive analytics, machine learning, big data, thermal power engineering, mathematical modeling, diagnostics, forecasting.

Предсказательная аналитика становится важным инструментом в современных теплоэнергетических установках, обеспечивая новый уровень управления и контроля за сложными технологическими процессами. Теплоэнергетика, являясь одной из ключевых отраслей промышленности, сталкивается с рядом вызовов, связанных с повышением эксплуатационной эффективности, снижением затрат и обеспечением безопасности оборудования. Традиционные подходы к диагностике и управлению, основанные на реактивных или регламентных методах, зачастую оказываются недостаточными для своевременного реагирования на изменения в параметрах работы систем.

Использование предсказательной аналитики позволяет значительно повысить точность прогноза отказов, оптимизировать режимы работы оборудования и минимизировать внеплановые простои. За счет применения современных методов анализа больших данных, машинного обучения и цифрового моделирования становится возможным предсказывать поведение систем в реальном времени и принимать упреждающие решения, направленные на предотвращение аварийных ситуаций. Кроме того, внедрение таких технологий способствует рациональному использованию энергоресурсов, что в условиях растущих требований к энергоэффективности и экологической устойчивости имеет принципиально важное значение.

Применение предсказательной аналитики в теплоэнергетике не только обеспечивает конкурентные преимущества за счет оптимизации эксплуатационных затрат, но и выступает гарантом безопасной и стабильной работы систем, что делает данный подход стратегически значимым для отрасли. Методы и алгоритмы предсказательной аналитики играют ключевую роль в обеспечении эффективной работы теплоэнергетических установок, позволяя анализировать огромные массивы данных и прогнозировать поведение систем с высокой точностью. Среди основных технологий, применяемых в этой области, выделяются машинное обучение, анализ больших данных и математическое моделирование. Каждая из них имеет свои особенности и области применения, что делает их незаменимыми для решения различных задач в теплоэнергетике.

Машинное обучение выступает одним из главных инструментов предсказательной аналитики, предоставляя возможности для автоматического выявления закономерностей в данных и построения моделей, способных предсказывать будущие состояния систем. Одним из базовых методов является линейная регрессия, которая применяется для прогнозирования таких параметров, как давление, температура и время до отказа. Модель описывается уравнением:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon,$$

где y – предсказываемый параметр, x_i – входные переменные, β_i – коэффициенты модели, а ε – ошибка. Для более сложных задач, например, выявления неочевидных зависимостей, применяются нелинейные методы, такие как нейронные сети.

В теплоэнергетике активно используются сверточные и рекуррентные нейронные сети. Сверточные нейронные сети (CNN) особенно эффективны для работы с изображениями и видеоданными. В теплоэнергетике их используют для диагностики состояния оборудования, основываясь на визуальной информации. Например, камеры могут фиксировать состояние трубопроводов, поверхности турбин или котлов. Если на изображении появляются дефекты, такие как трещины, коррозия или перегрев, CNN автоматически анализирует эти данные и классифицирует их. Тепловизоры, снимающие температурное распределение на поверхности оборудования, также интегрируются с CNN, что позволяет своевременно выявлять перегретые участки, которые могут свидетельствовать о неисправностях.

Рекуррентные нейронные сети (RNN), в частности их модификации LSTM (долгосрочная краткосрочная память), используются для анализа временных

рядов, таких как колебания давления, вибрации или температуры. В теплоэнергетике это полезно для обработки временных рядов, например, вибрации насосов, колебаний давления или изменения температуры теплоносителя. Такие сети анализируют, как текущие значения связаны с предыдущими, и делают прогнозы о дальнейшем развитии ситуации. Например, если вибрация начинает постепенно увеличиваться, LSTM может предсказать, когда она достигнет критического уровня, сигнализируя о возможном отказе оборудования.

Методы ансамблевого обучения, такие как «Random Forest» и «Gradient Boosting», успешно применяются для решения задач классификации и регрессии. Эти методы строят предсказательные модели, основываясь на информации из множества источников, таких как температура подшипников, частота вращения роторов и расход топлива. «Random Forest» объединяет результаты нескольких деревьев решений, что делает модель устойчивой к шуму и ошибкам в данных. «Gradient Boosting», в свою очередь, обучается на ошибках предыдущих моделей, улучшая точность предсказаний.

В практическом применении такие алгоритмы могут определять вероятность отказа конкретного оборудования. Например, если температура подшипников превышает норму, а вибрация растет быстрее обычного, модель классифицирует текущий режим как «повышенный риск отказа». Оператор получает предупреждение и может принять меры, такие как профилактическое обслуживание.

Таким образом, использование этих методов позволяет сочетать анализ визуальных данных, временных рядов и параметров работы оборудования, создавая комплексные системы, способные не только диагностировать текущие проблемы, но и предсказывать их развитие с высокой точностью. Это повышает надежность и эффективность эксплуатации теплоэнергетических установок.

Следующим, немаловажным методом является анализ больших данных, который позволяет эффективно работать с огромными массивами информации, генерируемой теплоэнергетическими установками. Современные предприятия оснащены тысячами датчиков, фиксирующих параметры, такие как температура, давление, вибрация, расход топлива и многие другие. Эти данные поступают в реальном времени, и их объем может достигать терабайтов в сутки. Для хранения, обработки и анализа таких массивов информации используются платформы, такие как Apache Hadoop и Apache Spark. Эти инструменты позволяют одновременно обрабатывать данные с сотен датчиков в реальном времени, находить аномалии и прогнозировать развитие аварийных ситуаций.

Одним из наиболее эффективных методов анализа больших данных в теплоэнергетике является кластеризация, которая позволяет группировать наблюдения с похожими характеристиками в однородные группы, или кластеры. Это помогает выделить стандартные режимы работы оборудования и выявить те, которые могут свидетельствовать о возможных неисправностях. Например, алгоритм k-means группирует данные о параметрах оборудования, таких как температура, вибрация и давление, на кластеры, представляющие нормальную работу и потенциальные сбои. Такой подход дает возможность оператору сразу увидеть, что оборудование работает в пределах допустимых значений или что

его параметры отклоняются от нормы, что требует проверки.

Для более сложных задач, таких как выявление редких, но критических отклонений, применяются методы плотностного анализа. Например, алгоритм Local Outlier Factor (LOF) оценивает, насколько поведение конкретного элемента системы отличается от его ближайшего окружения в многомерном пространстве параметров. Если вибрационные данные насоса или турбины начинают отклоняться от обычных значений, это может свидетельствовать о начале износа или появлении дисбаланса. LOF позволяет определить такие отклонения на ранней стадии, даже если они пока незначительны и не попадают в очевидные кластеры «сбоев».

На практике это означает, что даже небольшие изменения в параметрах, которые на первый взгляд не кажутся проблемой, могут быть своевременно выявлены и оценены. Например, если вибрация оборудования медленно увеличивается в течение нескольких дней, а остальные параметры остаются стабильными, LOF выделяет такие изменения как подозрительные. Это позволяет инженерам заблаговременно провести диагностику и устранить проблему до того, как она приведет к аварии или значительным затратам на ремонт.

Одним из важных методов анализа является математическое моделирование, в свою очередь, это дает возможность создавать цифровые копии теплоэнергетических установок, которые можно использовать для анализа работы системы в различных сценариях. Модели, основанные на уравнениях тепло- и массообмена, динамических процессах и законах физики, позволяют с высокой степенью точности рассчитывать параметры системы и оценивать влияние внешних и внутренних факторов. Такое моделирование часто применяется совместно с методами машинного обучения для создания гибридных моделей, сочетающих физические законы и данные.

Эффективное использование перечисленных технологий позволяет создавать комплексные системы предсказательной аналитики, обеспечивающие как краткосрочные прогнозы, так и долгосрочные стратегические оценки. Эти методы не только помогают повысить надежность и безопасность теплоэнергетических установок, но и способствуют снижению эксплуатационных затрат и повышению общей эффективности работы.

Идентификация критических параметров и сценариев является важным этапом внедрения предсказательной аналитики в теплоэнергетике, так как именно от правильного выбора данных зависит точность прогнозов и эффективность управления. В теплоэнергетических установках генерируется огромное количество данных, включая температуру, давление, вибрацию, расход топлива, частоту вращения и множество других параметров. Однако не все из них одинаково значимы для оценки состояния оборудования или прогноза его работы.

Критическими параметрами считаются те, которые напрямую влияют на надежность, эффективность или безопасность системы. Например, для турбин это может быть температура лопаток, уровень вибрации ротора и давление в камере сгорания. Для насосов – температура подшипников, уровень шума и вибрации. Для теплообменников – разница температур между теплоносителями

и давление на входе и выходе. Эти параметры подбираются на основе физической природы процессов и статистических данных о причинах отказов.

Определение значимости параметров выполняется с помощью методов анализа данных. Например, применяется корреляционный анализ, чтобы выявить, какие параметры больше всего связаны с авариями. В некоторых случаях используются алгоритмы машинного обучения, такие как «Random Forest», которые могут автоматически определять значимость каждой переменной на основании ее вклада в точность прогнозной модели.

Сценарии, требующие прогнозирования, определяются на основе анализа прошлых инцидентов и факторов риска. Например, сценарий перегрева может быть связан с повышением температуры лопаток турбины при увеличении нагрузки. Сценарий повышенной вибрации может свидетельствовать о начинающемся дисбалансе ротора. Такие сценарии составляются с учетом данных мониторинга и экспертных оценок, что позволяет создавать модели, способные предсказывать развитие событий.

Важно отметить, что выбор критических параметров и сценариев – это динамичный процесс. После внедрения системы предсказательной аналитики параметры и сценарии могут пересматриваться, чтобы учесть новые данные или изменения в работе оборудования. Такой подход позволяет повысить точность прогнозов и своевременно предотвращать аварии, снижая эксплуатационные расходы и повышая безопасность теплоэнергетических установок.

Примеры успешной реализации предсказательной аналитики в теплоэнергетике демонстрируют, как современные технологии помогают повышать эффективность, снижать затраты на обслуживание и предотвращать аварии. Первый пример связан с немецкой компанией «Siemens Energy», которая внедрила систему предиктивного анализа на одной из своих теплоэлектростанций в Германии. Эта технология позволяет собирать и анализировать данные с турбин, котлов и других критических узлов станции в режиме реального времени. В 2022 году система зафиксировала аномалии в вибрациях турбинного вала, что указывало на возможность появления трещин. Благодаря своевременному предупреждению были проведены ремонтные работы, которые позволили избежать аварийных остановок и серьезных повреждений оборудования. Примечательно, что эта система интегрирована с облачной платформой Siemens MindSphere, что позволяет агрегировать данные с разных объектов и строить более точные прогнозы для всей инфраструктуры.

Второй пример из Дании, где компания «Danfoss», известная своими решениями для управления теплом и энергией, применяет предиктивную аналитику для управления тепловыми сетями Копенгагена. С помощью их интеллектуальной системы мониторинга District Energy подача тепла регулируется на основе погодных прогнозов и текущего состояния сети. В одном из случаев в 2023 году система заблаговременно определила, что давление в определенном участке теплотрассы начало отклоняться от нормы, что указывало на риск возникновения утечки. Инженеры оперативно устранили проблему, что позволило избежать аварийного отключения отопления в одной из центральных частей города и существенно сократить тепловые потери.

Оценка экономической и эксплуатационной эффективности внедрения предсказательной аналитики в теплоэнергетике является ключевым этапом, подтверждающим целесообразность применения таких технологий. Этот анализ проводится на основе комплексных показателей, включающих снижение затрат на обслуживание, повышение надежности оборудования и минимизацию аварийных простоев.

Одним из основных критериев экономической эффективности является сокращение затрат на внеплановые ремонты и обслуживание. В случае использования предсказательных моделей предприятия получают возможность выявлять потенциальные неисправности задолго до их критического развития. Это позволяет планировать ремонтные работы так, чтобы минимизировать затраты на запасные части и трудовые ресурсы. Например, анализ на основе данных о вибрациях и температурных отклонениях оборудования позволяет заранее выявлять признаки износа, что исключает необходимость дорогостоящего аварийного ремонта.

Эффективность также выражается в увеличении времени бесперебойной работы оборудования. Предиктивные системы, такие как нейронные сети или алгоритмы ансамблевого обучения, предоставляют прогнозы на основе временных рядов, позволяя точно определять оптимальные периоды технического обслуживания.

Еще один важный аспект – снижение эксплуатационных рисков. Предиктивные модели помогают предотвратить аварийные ситуации, которые не только приводят к значительным финансовым потерям, но и несут опасность для окружающей среды и персонала. Например, использование предсказательной аналитики на газотурбинных установках позволило выявить ранние признаки перегрузки отдельных узлов, таких как теплообменники, что предотвратило перерасход топлива и возможные выбросы в атмосферу. Таким образом, внедрение предиктивных систем способствует достижению целей устойчивого развития, включая повышение энергоэффективности и снижение углеродного следа.

Подводя итоги, предсказательная аналитика подтверждает свою высокую ценность как инструмент для управления теплоэнергетическими установками. Она обеспечивает не только значительную экономию затрат, но и способствует более рациональному использованию ресурсов, снижению рисков и повышению общей надежности энергетической инфраструктуры. Такой подход оправдывает себя как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе, делая его необходимым элементом современной теплоэнергетики.

Список литературы:

1. Брюхова, А. А. Проблемы предиктивной диагностики и аналитики / А. А. Брюхова, Т. Н. Костюнина // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2023. – № 7. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problems-predektivnoy-dagnostiki-i-analitiki> (дата обращения: 20.11.2024). — Текст: электронный.
2. Голов, Г. Р. Концептуальные основы реализации технологии предиктивной аналитики на высокотехнологичных промышленных предприятиях / Г. Р. Голов, А. В. Мыльник // Научные труды Вольного экономического общества России. —

2024. – № 4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptualnye-osnovy-realizatsii-tehnologii-prediktivnoy-analitiki-na-vysokotekhnologichnyh-promyshlennyh-predpriyatiyah> (дата обращения: 20.11.2024). – Текст: электронный.
3. Дербенева, А. А. Цифровая трансформация энергетических компаний: механизмы и инструменты / А. А. Дербенева // Кронос. – 2022. – № 7 (69). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-transformatsiya-energeticheskikh-kompaniy-mehanizmy-i-instrumenty> (дата обращения: 20.11.2024). – Текст: электронный.
4. Ларкин, Д. К. Тепломассообменное оборудование предприятий: учебное пособие для вузов / Д. К. Ларкин // Образовательная платформа Юрайт. – 2024. – 246 с. – URL: <https://urait.ru/bcode/542101> (дата обращения: 20.11.2024). – Текст: электронный.
5. Оразбердиева, Е. Цифровые технологии в энергетике / Е. Оразбердиева, М. Самаков, Б. Аннамамедов, А. Аннамамедова. // Наука и мировоззрение. – 2024. – № 23. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovye-tehnologii-v-energetike-1> (дата обращения: 20.11.2024). – Текст: электронный.
6. Рейзлин, В. И. Математическое моделирование / В. И. Рейзлин // Юрайт. – 2024. – 126 с. – URL: <https://urait.ru/bcode/537305> (дата обращения: 20.11.2024). – Текст: электронный.
7. Siemens Energy. Power Intelligence [сайт] – URL: <https://www.siemens-energy.com/global/en/home/products-services/product/power-intelligence.html> (дата обращения: 20.11.2024). – Текст: электронный.
8. Danfoss. Nordhavn: Denmark's Energy Lab of the Future. [сайт] – URL: <https://www.danfoss.com/en-in/service-and-support/case-stories/cf/nordhavn-denmark-s-energy-lab-of-the-future/> (дата обращения: 20.11.2024). – Текст: электронный.
9. Grimaccia, F., Niccolai, A., Mussetta, M., D'Alessandro, G. (2023). ISO 50001 Data Driven Methods for Energy Efficiency Analysis of Thermal Power Plants. *Applied Sciences*, 13(3), 1368. Italy: Politecnico di Milano. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13031368>. (date accessed: 20.11.2024).
10. He, K., Ding, H. (2024). Prediction of NO_x Emissions in Thermal Power Plants Using a Dynamic Soft Sensor Based on Random Forest and Just-in-Time Learning Methods. *Sensors*, 24(14), 4442. China: Shandong University of Science and Technology. DOI: <https://doi.org/10.3390/s24144442>. (date accessed: 20.11.2024).

© Шакурова Л. Э., 2024

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛЭП ПОСТОЯННОГО ТОКА

студент **Кесарев Никита Романович**,
студент **Няппинен Георгий Александрович**,
науч. руководитель: канд. техн. наук, ст. научн. сотр.
Иванов Владимир Леонидович
Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В статье дается оценка практичности и экономичности создания линий электропередач (ЛЭП) постоянного тока в сравнении с традиционными ЛЭП переменного тока. Приводятся основные преимущества и недостатки подобных систем.

Ключевые слова: ЛЭП постоянного тока, ЛЭП переменного тока, потери на реактивную мощность, преобразование.

INVESTIGATION OF THE RATIONALITY OF THE USE OF DC POWER LINES

Student **Kesarev Nikita Romanovich**,
Student **Nyappinen Georgy Alexandrovich**,
Academic Advisor: Candidate of Technical Sciences, art. scientific sotr
Ivanov Vladimir Leonidovich
St. Petersburg State University of Industrial Technology and Design,
Higher School of Technology and Energy,
St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. The article provides an assessment of the practicality and cost-effectiveness of creating DC power lines (power lines) in comparison with traditional AC power lines. The main advantages and disadvantages of such systems are given.

Keywords: DC power lines, AC power lines, reactive power losses, conversion.

В конце 2018 года Китай запустил работу самой мощной в мире ЛЭП [1]. При протяженности 3293 км мощность линии – 1100 кВт или 1.1 МВт. Согласно подсчетам [2], пропускная способность линии на момент ввода в эксплуатацию составляла 12 ГВт, при этом в 2021 году, после проведения ремонтных работ, пропускная способность увеличилась до 16 ГВт. Помимо протяженности и мощности, эта ЛЭП имеет еще одно важное отличие от привычных нам высоковольтных линий – по ней передается постоянный, а не переменный ток. Но чем же было продиктовано такое решение?

Согласно [3], основное преимущество ЛЭП постоянного тока, как ни странно, это возможность передать большее количество энергии на большое расстояние с меньшими капитальными затратами и меньшими потерями, чем в линиях переменного тока. Следует разделить возможные электрические потери на 2 категории:

1. Потери на активную мощность
2. Потери на реактивную мощность

Пункт 1, согласно [4], включает в себя потери на сопротивление проводника, потери, вызванные несовершенством изоляции и, в редких случаях, потери на корону. При использовании переменного тока в ЛЭП наиболее весомыми оказываются потери на сопротивление провода, которые усугубляются скин-эффектом – ослаблением электромагнитных волн внутри проводника, что выражается в «прижимании» потока электроэнергии к краю кабеля, а следовательно, уменьшению эффективного сечения провода и повышению потерь на сопротивление [5].

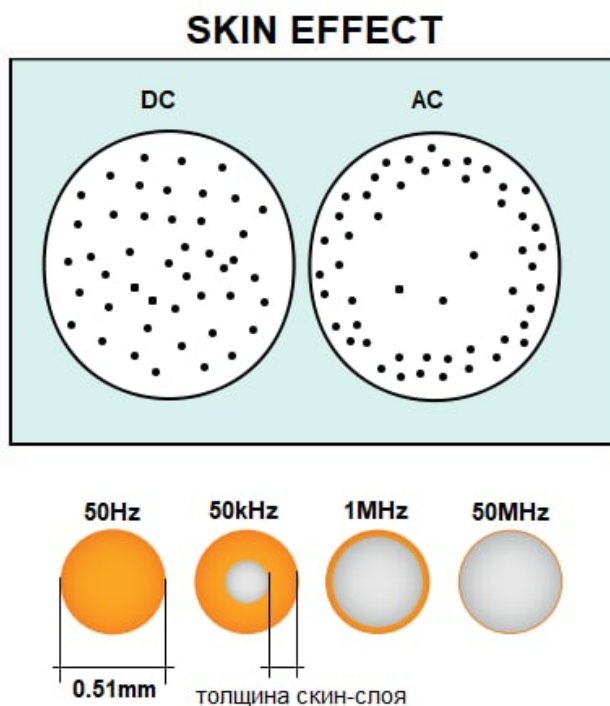


Рисунок 1. Схематичное изображение действия Скин-эффекта

Пункт 2, согласно [4], включает в себя потери на индуктивное сопротивление и емкостью проводов в линиях, а также вихревые токи. Несмотря на то, что потери на емкость проводов возможно нивелировать путем перекручивания проводов линии в пространстве для сохранения симметрии емкости фаз относительно друг друга и земли, фактор реактивных потерь нельзя игнорировать.

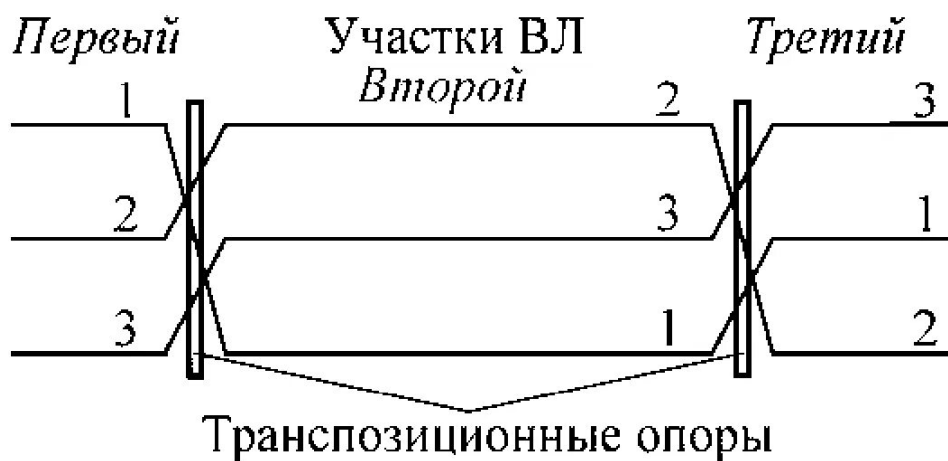


Рисунок 2. Транспозиция ЛЭП

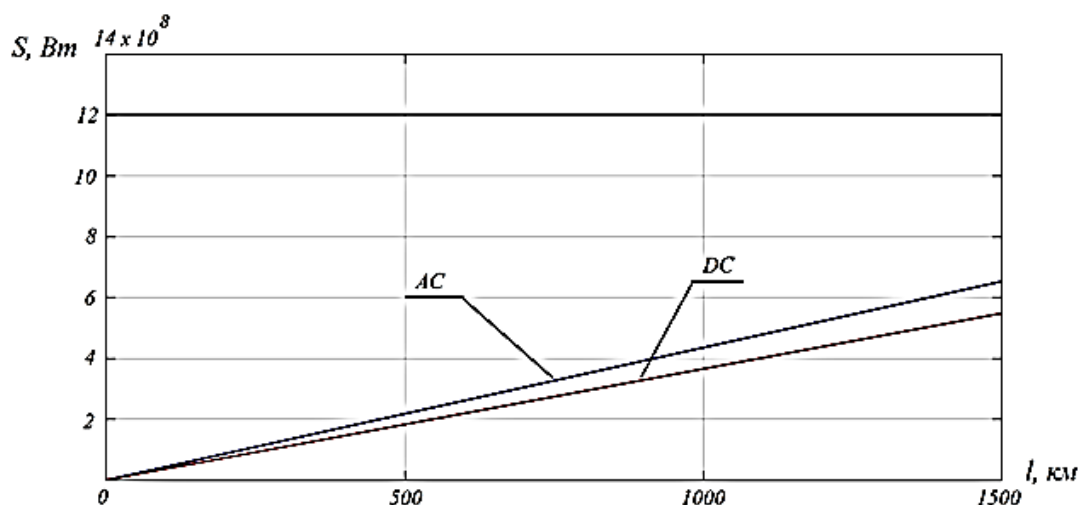


Рисунок 3. Сравнение графиков зависимости потерь от протяженности линии в ЛЭП постоянного (DC) переменного (AC) тока

В случае использования постоянного тока скин-эффект не действует, а, следовательно, сечение провода может быть заметно меньше, чем в аналогичной по мощности ЛЭП переменного тока. Пункт 2 вовсе не применим к постоянному току, так как в цепях постоянного тока отсутствуют реактивные элементы.

Еще одним весомым преимуществом ЛЭП постоянного тока является отсутствие необходимости синхронизации соединяемых линий по фазе и частоте, так как эти параметры отсутствуют при использовании постоянного тока. Следовательно, для создания комплексной энергосистемы потребуется лишь отрегулировать величины тока и напряжения, однако здесь и проявляется наиболее существенный недостаток ЛЭП постоянного тока.

Как известно, мощность тока определяется как произведение величин тока и напряжения, а потери активной мощности прямо пропорциональны квадрату величины силы тока, следовательно, для передачи электроэнергии на большие расстояния для сохранения высокой мощности наиболее рационально будет увеличить напряжение, что позволит уменьшить ток, а, следовательно, потери активной мощности. Однако на данный момент не существует достаточно эффективного способа изменения напряжения постоянного тока в достаточных

пределах [6], поэтому на современных ЛЭП постоянного тока подводимый переменный ток преобразуется с помощью трансформаторов до необходимых значений напряжения, а затем преобразуется в постоянный. На другом конце линии, следовательно, аналогичная процедура проводится в обратном порядке.

К сожалению, ввиду того, что проект китайской ЛЭП Чанцзи-Гуцзянь завершился сравнительно недавно, информации по нему крайне мало. Однако известно [7], что линия передает в восточные регионы Китая до 66 млрд кВт/ч в год, а стоимость оценивается в 40 млрд юаней по курсу 2018 года (до 6,1 трлн рублей в пересчете на 2024 год).

Что касается применения ЛЭП постоянного тока в России, подобные проекты разрабатывались еще в СССР. Первым стал проект ЛЭП Кашира – Москва, мощностью 30 МВт, под напряжением 200 кВ, протяженностью 100 км. Проект линии Экибастуз — Кокшетау может работать с напряжением до 1150 кВ при протяженности в 432 км, однако эксплуатируется под напряжением 500 кВ ввиду различных факторов. Однако большинство подобных линий после развала СССР было разобрано, не было завершено или было передано вновь образовавшимся государствам (в том числе и линия Экибастуз-Кокшетау, принадлежащая Казахстану). На сегодняшний день, ввиду отсутствия требуемых технологий, а также сложности в реализации подобных проектов, строительство ЛЭП постоянного тока на территории России нецелесообразно.

Список литературы:

1. Ruscable. (2019). Kitaj postroit pervuyu gibridnyuyu sverxprovodyashchuyu Liniyu elektropodachi. Ruscable. Retrieved from https://www.ruscable.ru/news/2019/08/29/Kitaj_postroit_pervuyu_gibridnyuyu_sverxprovodyashchuyu/Air Reps. (2022). ECM and VFD comparisons. Air Reps. Retrieved from https://airreps.com/wp-content/uploads/2022/06/Airreps_EWP_3-ECM-and-VFD-Comparisons.pdf.
2. Kommersant. (2024). Retrieved from <https://www.kommersant.ru/doc/7312042>.
3. Стабилизатор.пф. (n.d.). Direct current lines. Retrieved from <https://www.стабилизатор.пф/reference/tech-articles/327-direct-current-lines-01>
4. Studopedia. (n.d.). Расчет потерь мощности в ЛЭП. Retrieved from https://studopedia.ru/23_41899_raschet-poter-moshchnosti-v-lep.html.
5. Daxx. (n.d.). Skin care tips and tricks. Retrieved from <https://daxx.ru/blogs/blog/skin>
6. RuWiki. (n.d.). Высоковольтная линия постоянного тока. Retrieved from https://ru.ruwiki.ru/wiki/Высоковольтнаялинияпостоянного_тока.
7. AdCityMag. (n.d.). Article Title. Retrieved from <https://adcitymag.livejournal.com/1744447.html>.
8. Neftegaz. (n.d.). Китай строит самую длинную ЛЭП в мире для сокращения потребления угля. Retrieved from <https://neftegaz.ru/news/powernetworks/224205-kitay-stroit-samuyu-dlinnuyu-lep-v-mire-dlya-sokrashcheniya-potrebleniya-uglya>.

© Кесарев Н. Р., Няппинен Г. А., 2024

СПОСОБ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ПЕРЕКОСА КОЗЛОВОГО КРАНА

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

Аннотация. Козловые краны представляют собой важное оборудование для выполнения операций по перемещению и монтажу конструкций в заводских условиях. Однако, несмотря на свою эффективность, они подвержены различным дефектам, одним из которых является перекос. В данной работе рассматривается устройство козлового крана, причины возникновения перекоса, негативные последствия и метод коррекции перекоса с использованием индуктивных датчиков.

Ключевые слова: козловой кран, перекос козлового крана, алгоритм устранения перекоса, индуктивные датчики.

A WAY TO SOLVE PROBLEMS RELATED TO THE MISALIGNMENT OF A GANTRY CRANE

Student **Merzlaya Daria Mikhailovna**,
Academic Advisor: Senior Lecturer **Zyatikov Ilya Dmitrievich**,
St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. Gantry cranes are important equipment for handling and erecting structures in factory environments. However, despite their efficiency, they are subject to various defects, one of which is misalignment. This paper discusses the design of gantry crane, causes of skew, negative effects and method of skew correction using inductive sensors.

Keywords: gantry crane, gantry crane misalignment, algorithm of misalignment elimination, inductive sensors.

В современном мире на любом производстве грузоподъемные краны, обеспечивающие бесперебойную работу во многих отраслях, являются важной составляющей. К таким устройствам относится козловой кран, который представляет из себя подъемно-транспортное устройство, роль которого является незаменимой на производстве. Благодаря техническим характеристикам козловые краны эксплуатируются в строительстве объектов; производственных цехах; ремонте крупного промышленного оборудования.

Производительность и сравнительно невысокая цена делают козловые краны востребованным оборудованием [1].

Козловые краны обладают рядом преимуществ и являются незаменимыми в производственных условиях по следующим причинам:

1. Краны быстро поднимают и перемещают тяжелые грузы, что увеличивает общую производительность и снижает время выполнения задач.
2. Использование козлового крана снижает риск травм, связанных с ручной переноской тяжелых предметов.
3. Данные краны обладают универсальностью в использовании.

На рисунке 1 представлена конструкция козлового крана, а также изображены следующие составные части: несущая ферма 3 козловых кранов расположена на высоких опорах – жесткой 8 и шарнирной 4, ноги которых опираются на ходовые тележки 5 и 7, передвигающиеся по крановым путям. Шарнирность присоединения верхнего конца опоры 4 к несущей ферме компенсирует забегание одной опоры по отношению к другой, а также некоторые неточности в прокладке пути. Грузовая тележка 2 при помощи лебедки 1 передвигается вдоль несущей фермы. У большинства подобных кранов для подъема и опускания груза служат две лебедки, расположенные по концам несущей фермы. Кабина крановщика 9 располагается в верхней части жесткой опоры [2].

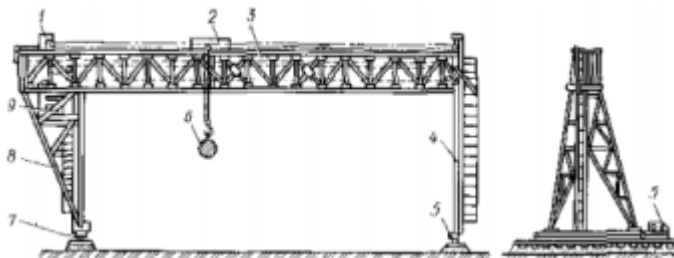


Рисунок 1. Козловой кран чертеж общего вида

При передвижении кранов возникает забег одной опоры крана относительно другой, вследствие чего происходит так называемый перекос, причинами которого могут быть такие факторы: неровная площадка, неправильная установка крана, превышение максимальной грузоподъемности, износ или повреждение компонентов.

Различают свободный и упругий перекосы. Свободный перекос возникает, когда одна из опор крана забегает относительно другой в основном вследствие выбора зазоров между ребордами колес и рельсами. Упругий перекос возникает от упругих пролетного строения и жесткой опоры крана. Максимальные перекосные нагрузки возникают при расположении тележки с грузом около одной из опор или на консоли крана. Оба вида перекоса при работе крана возникают одновременно [3].

Движение козлового крана с перекосом может привести к негативным явлениям, которые в свою очередь могут отрицательно сказаться как на оборудовании, так и на безопасности работников. Например, перекос приводит к неравномерному распределению нагрузки, что увеличивает износ подшипников, к дополнительному напряжению, тем самым увеличивая риск трещин и разрушений рамы, к опрокидыванию крана, схода с рельс, подвергая опасности работников.

Поэтому остро стоит вопрос о способах устранения перекоса козлового крана. В данной работе рассмотрен один из способов.

Изначально необходимо рассчитать максимальную величину перекоса крана. Для того, чтобы ее найти, следует учитывать пролет и базу крана, ширину рельс и ширину поверхности катания колеса, а также построить упрощенные схемы крана в нормальном положении и в состоянии максимально допустимого перекоса, как показано на рисунке 2.

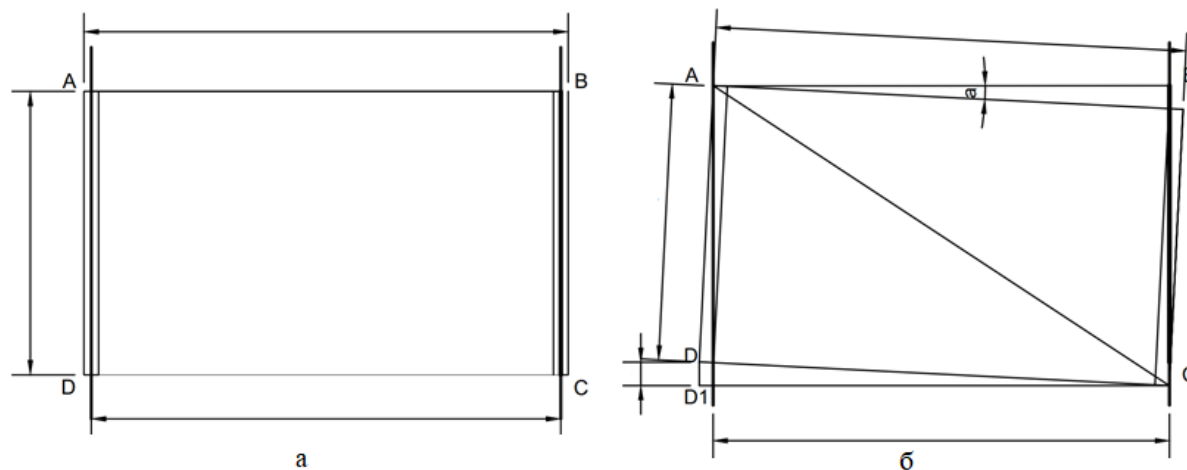


Рисунок 2. Упрощенная схема козлового крана
(*a* – нормальное положение, *б* – максимально допустимый перекос)

Для нахождения величины максимального перекоса требуется найти длину отрезка DD₁.

Определим длину диагонали AC прямоугольника ABCD:

$$AC = \sqrt{AB^2 + BC^2} \quad (1)$$

Затем найдем длину отрезка D₁A:

$$D_1A = \sqrt{AC^2 - D_1C^2} \quad (2)$$

Найдем длину отрезка D'D₁:

$$DD_1 = D_1A - AD \quad (3)$$

В результате расчетов была определена величина максимально допустимого перекоса.

Для решения проблемы с перекосом крана можно использовать индуктивные датчики, которые будут фиксировать перекос крана. Принцип работы такого измерительного устройства заключается в том, что при

возникновении перекоса в зоне чувствительности датчика он срабатывает и отправляет сигнал на контроллер. Для того, чтобы система антиперекоса успешно работала, следует установить по одному такому датчику перед каждой ходовой тележкой крана с внутренней стороны, тем самым обезопасив их от внешних воздействий.

При внедрении системы антиперекоса исключается возможность возникновения максимального перекоса. Поэтому необходимо посчитать величину допустимого перекоса, при достижении которого сработают датчики и начнется подача корректирующего воздействия на привод.

Суть метода ограничения перекоса заключается в следующем: положение крана определяется по дифференциальным значениям, которые получаются путем разности показаний датчиков. Далее происходит формирование сигнала коррекции, вычитаемого из сигнала задания скорости одной из опор. Тем самым обеспечивается выравнивание крана. Корректирующее воздействие рассчитывается пропорционально максимальной из возможных дифференциальных значениям [4].

На рисунке 3 представлена функциональная схема ограничения перекоса.

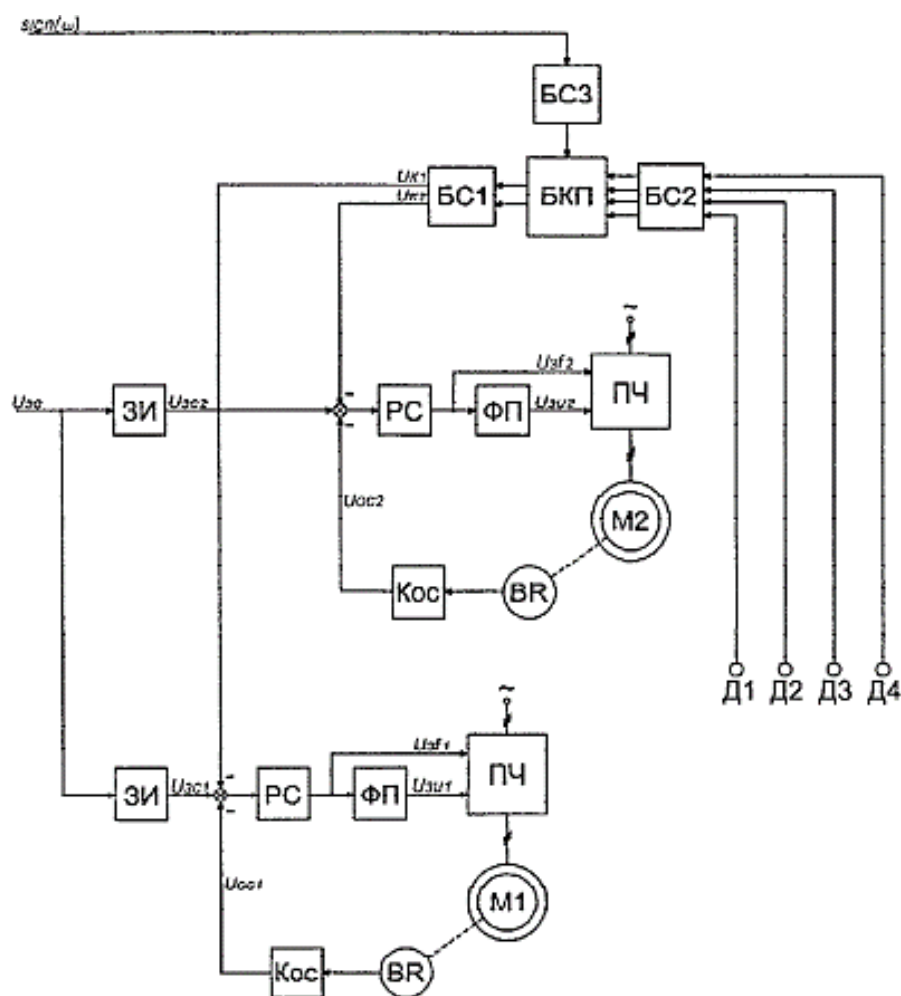


Рисунок 3. Функциональная схема система ограничения перекоса

Здесь: М1, М2 – асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором; ПЧ – преобразователь частоты; ФП – функциональный преобразователь; РС – регулятор скорости; BR – датчик скорости; КОС – коэффициент обратной связи по скорости; ЗИ – задатчик интенсивности; Д1-Д4 – датчики расстояния; БС1-БС3 – блоки сопряжения сигналов; БКП – блок коррекции перекоса.

БКП представляет собой контроллер, в котором вычисляется дифференциальное значение и формируется сигнал коррекции. Задатчик интенсивности позволяет плавно изменять значение скорости, что обеспечивает разгон или торможение крана с заданным предельным ускорением.

Алгоритм устранения перекоса крана можно словесно описать следующим образом:

- запуск двигателя;
- подается управляющий сигнал;
- начинается движение крана вперед или назад;
- если значения датчиков в нулевом состоянии, то кран продолжает движение без изменений, иначе происходит поиск диагональных датчиков, которые находятся не в нулевом состоянии;
- если одна пара диагонально расположенных датчиков сработала, то подается корректирующее воздействие на один двигатель, если же нет, значит, сработала другая пара, тогда корректирующее воздействие должно подаваться на второй двигатель.

Данный алгоритм представляет собой цикличную систему, работающую без остановок. За исключением длительной остановки крана, когда долгое время от системы управления крана не приходят сигналы и датчики не фиксируют сильных изменений, то система находится в состоянии сна [5].

Таким образом, поскольку козловой кран является незаменимым оборудованием на производственных площадках, необходимость поддерживать его работу на должном уровне является актуальной задачей. Корректная работа такого крана несет в себе положительные эффекты с экономической и социальной точки зрения – отсутствие простоя оборудования и безопасность работников. Одной из причин выхода из строя является перекос крана. Рассмотренный в данной работе способ ограничения перекоса обеспечивает непрерывную коррекцию перекоса козлового крана, тем самым повышает работу электропривода, снижает стоимость на эксплуатационные затраты, способствует увеличению его срока службы, тенденции внедрения энергосберегающих технологий. Также внедрение индуктивных датчиков в такую систему коррекции значительно повышает безопасность и эффективность работы козлового крана.

Список литературы:

1. Козловой кран: особенности и область применения: [сайт] – URL: <https://zavodkranov.ru/blog/kozlovoj-kran-osobennosti-i-oblast-primenenija/> (дата обращения: 19.11.2024). – Текст: электронный.

2. Лой, В. Н. Лесоскладское грузоподъемное оборудование : учебно-методическое пособие / В. Н. Лой, П. А. Протас, Г. И. Завойских. – Минск : Белорусский государственный технологический университет, 2005. – 102 с. – ISBN 985-434-538-6. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=yurhmd> (дата обращения: 20.11.2024). – EDN YURHMD.
3. Луцко, Т. В. Влияние перекосных нагрузок на перемещение опор козловых кранов / Т. В. Луцко, А. С. Гуляев, С. С. Прудников // Инновационные перспективы Донбасса : Материалы 6-й Международной научно-практической конференции, Донецк, 26–28 мая 2020 года. Том 3. – Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2020. – С. 130-134. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43168290> (дата обращения: 24.11.2024). – EDN CVLNBE.
4. Патент № 2502665 С1 Российская Федерация, МПК В66С 9/16, В66С 17/00. Способ ограничения перекоса мостового крана : № 2012115612/11 : заявл. 18.04.2012 : опубл. 27.12.2013 / Д. В. Кочевин, Г. А. Федяева ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Брянский государственный технический университет". – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37521627> (дата обращения: 25.11.2024). – EDN FXAYKL.
5. Комаров, А. Е. Анализ возможности установки системы контроля перекоса несущей балки мостового крана / А. Е. Комаров, А. А. Грачев, А. С. Габриель – Текст: электронный // Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2020. – № 20. – С. 17-26. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43095720> (дата обращения: 25.11.2024). – EDN ASKJWA.

© Мерзлая Д. М., 2024

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОНОМНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ НА СУПЕРКОНДЕНСАТОРАХ В ОБЩЕСТВЕННОМ ТРАНСПОРТЕ

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

Аннотация. В современном мире актуальной проблемой является решение проблемы загрязнения окружающей среды посредством внедрения электротранспорта. В связи с увеличением потока пассажиров особое внимание уделяется использованию электрического общественного транспорта. В данной работе рассмотрен новый способ питания электродвигателей, основанный на использовании суперконденсаторов, произведено сравнение существующих автономных источников питания – на аккумуляторных батареях и суперконденсаторах. Выявлены преимущества и недостатки. Рассмотрен способ использования новых суперконденсаторов в электробусах.

Ключевые слова: электротранспорт, автономный источник питания, суперконденсатор, ионистор, электробус.

APPLICATION OF AUTONOMOUS POWER SUPPLY ON SUPERCAPACITORS IN PUBLIC TRANSPORTATION

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

Abstract. In today's world, it is an urgent problem to solve the problem of environmental pollution through the introduction of electric transportation. Due to the increasing flow of passengers, special attention is paid to the use of electric public transportation. This paper considers a new method of powering electric motors based on the use of supercapacitors, comparing the existing autonomous power sources - on batteries and supercapacitors. Advantages and disadvantages are revealed. The way of using new supercapacitors in electric buses is considered.

Keyword: electric transport, autonomous power supply, supercapacitor, ionistor, electric bus.

Одними из серьезных негативных последствий жизнедеятельности людей являются выбросы парниковых газов, которые за последний век способствовали

глобальным изменениям климата и увеличению температуры на Земле. Существенным источником этих выбросов выступает транспортный сектор, который в настоящее время отвечает за приблизительно 25 % мировых выбросов CO₂. При этом автомобильный транспорт составляет почти три четверти выбросов углекислого газа в рамках транспортного сектора.

В связи с современными экологическими и экономическими проблемами переход на электротранспорт становится актуальным и необходимым. Ухудшение качества воздуха, истощение природных ресурсов – все это является негативными последствиями использования автотранспорта, поэтому внедрение электрического транспорта приобретает особую значимость, так как несет в себе экономические и экологические причины:

- снижение выбросов вредных веществ;
- снижение затрат на топливо;
- повышение энергетической независимости.

В условиях растущей урбанизации и увеличения потока пассажиров общественный транспорт становится важным элементом городской инфраструктуры. Осуществление перевозок пассажиров в городском сообщении должно обеспечивать высокий уровень дорожно-транспортной и экологической безопасности, минимальные затраты время поездки пассажиров, комфортность и социально-экономическую эффективность процесса [1]. Современное общественное транспортное сообщение требует надежных и эффективных решений для обеспечения энергоснабжения. Этому способствует использование автономных источников питания (АИП), которые могут гарантировать надежность и устойчивость транспортных средств. АИП представляют собой системы, которые обеспечивают электроэнергией устройства или системы без необходимости подключения к внешним источникам питания.

Традиционно используются АИП, содержащие химические источники постоянного тока. Так называемые аккумуляторные батареи (АКБ) обеспечивают длительное хранение и расход энергии при большой удельной мощности.

В настоящее время получили широкое распространение устройства, потребляющие высокую мощность в течение короткого интервала времени, например, электронные замки, реле, двигатели, импульсные излучатели. Для них не всегда можно использовать аккумуляторную батарею в качестве буферного источника энергии. Могут возникнуть сложности с формированием мощных кратковременных токов. Для таких ситуаций стали использовать ионисторы или суперконденсаторы (СК), которые можно устанавливать вместо аккумулятора или в комбинации с ним. Для изготовления этих элементов применяется технология, основанная на использовании эффекта образования двойного электрического слоя. Этим они выгодно отличаются от батарей и аккумуляторов [2].

Принцип действия ионистора схож с обычным конденсатором, однако их различие состоит в использовании применяемых материалов. Обкладки СК делаются из пористого материала, представляющего собой хороший проводник,

увеличивая тем самым емкость устройства. Использование электролита в качестве диэлектрика уменьшает расстояние между обкладками. В ионисторе заряд накапливается в результате формирования двойного электрического слоя на электроде. На рисунке 1 представлена конструкция суперконденсатора.

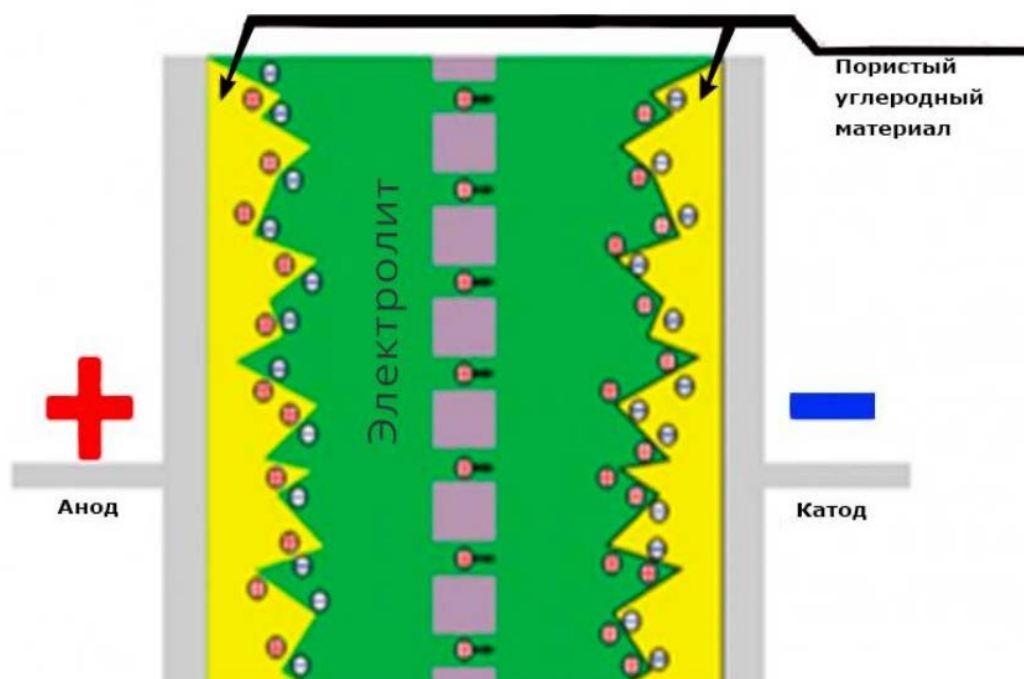


Рисунок 1. Конструкция суперконденсатора

Из рисунка 1 видно, что СК состоят из двух пористых электродов, электролита, сепаратора и токосъемников. Величина емкости пропорциональна площади поверхности электрода, поэтому пористый материал позволяет хранить гораздо больше носителей заряда, тем самым увеличивая величину емкости ионистора. Сепаратор располагается между электродами и состоит из материала, который является прозрачным для ионов, но в то же время он служит изолятором, предотвращающим короткое замыкание.

Большой интерес к СК обусловлен тем, что на их основе можно создавать гибкие источники питания большой мощности и замены ими батарей. Существуют различия между этими двумя устройствами [3]:

- Суперконденсаторы концентрируют мощность намного больше, чем это возможно в батареях;
- Батареи заряжаются дольше, чем СК. Время зарядки ионисторов составляет несколько секунд;
- СК имеют способность очень быстро заряжать, то есть они обладают возможностью отдавать больше мощности за малое время. В батареях процесс зарядки занимает достаточно продолжительное время.
- Батареи обладают маленьким числом циклов заряда/разряда по сравнению с СК, которые допускают до сотен тысяч циклов.

Исходя из вышесказанных различий, выделим явные преимущества СК: короткое время перезарядки, большая величина емкости, длительный срок

использования [4]. Однако существует весомый недостаток, связанный с применением в транспорте, который заключается в низкой энергетической емкости ионисторов по сравнению с аккумуляторами, что ограничивает их использование в продолжительных поездках без подзарядки. Суперконденсаторы способны хранить лишь 5 % энергии по сравнению с литий-ионными аккумуляторами аналогичного объема. Это означает, что на одном заряде конденсатора автобус сможет проехать всего несколько километров, что исключает возможность автономного движения. Однако у конденсаторов есть положительное качество — скорость зарядки. Для полного восстановления заряда требуется всего несколько секунд.

Использование СК в электробусах, представляющих собой электрический автобус, превращается в проблему, если инфраструктура не развита. Решением такой проблемы является установка зарядных станций на остановках общественного транспорта. Тогда использование электробусов на суперконденсаторах имеет место быть. Так в китайском городе Нинбо действует конденсаторный электробус, которому для подзарядки хватает всего 10 секунд — благодаря развитой инфраструктуре зарядных станций, автобус получает энергию на каждой остановке во время высадки-посадки пассажиров, которая обычно длится немного дольше. Кроме того, до 80 % энергии торможения преобразуется в электричество и возвращается обратно в конденсаторы — это дает экономию до 50 % [5]. Также французская компания Blue Solutions разработала электробус на суперконденсаторах. Для перезарядки используется телескопическая штанга, установленная в верхней части остановки. Она подключается к контактам на крыше электробуса. Одного заряда ионисторов хватает примерно на два километра пути [6].

Внедрение автономных источников питания на основе суперконденсаторов в общественном транспорте представляет собой перспективное направление, которое обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными аккумуляторными батареями. Суперконденсаторы обеспечивают более высокую мощность, большую длительность работы и более короткое время зарядки, что делает их идеальными для систем общественного транспорта, особенно в условиях города с частыми остановками и необходимостью быстрой подзарядки. Несмотря на свои ограничения по емкости, возможности их использования в гибридных системах могут обеспечить надежное и эффективное решение для современных транспортных потребностей.

Список литературы:

1. Сподарев, Р. А. Пути повышения транспортной и экологической безопасности при введении альтернативных видов электротранспорта / Р. А. Сподарев, Е. А. Кубряков // Технология транспортных процессов – настоящее и будущее : Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Воронеж, 15 марта 2021 года / Отв. редактор В.А. Зеликов. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова, 2021. – С. 68-77. – DOI 10.34220/TPTPF2021_68-77. – URL:

- <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47343288> (дата обращения: 18.11.2024). – EDN CYGTDU.
2. Ионистора (суперконденсаторы) – устройство, виды, применение: [сайт] – URL: <https://www.ultracapacitor.ru/stati/ionistori/> (дата обращения: 18.11.2024). – Текст: электронный.
3. Шурыгина, В. Суперконденсаторы. Размеры меньше, мощность выше / В. Шурыгина // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2009. – № 7(97). – С. 10-21. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16726220> (дата обращения: 18.11.2024). – EDN OCANHN.
4. Мутаев Н. Х. Ионисторы (суперконденсаторы): основы и применение // StudNet. 2021. №7. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ionistory-superkondensatory-osnovy-i-primeneniye> (дата обращения: 25.11.2024). – Текст: электронный.
5. Это электробус: что мы знаем о транспорте с батареей: [сайт] – URL: <https://habr.com/ru/companies/toshibarus/articles/426623/> (дата обращения: 24.11.2024). – Текст: электронный.
6. Французы научили электробус перезарядке за 20 секунд: [сайт] – URL: <https://nplus1.ru/news/2018/01/24/20secondstosingapore> (дата обращения: 25.11.2024). – Текст: электронный.

© Мерзлая Д. М., 2024

ТЕХНОЛОГИЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К НАВЫКАМ БИЗНЕС-АНАЛИТИКОВ НА ОСНОВЕ NLP-ПОДХОДА

студент **Щербин Алексей Андреевич**,
науч. руководитель: доктор техн. наук, профессор **Логинов Илья Валентинович**,
Среднерусский институт управления – филиал РАНХиГС,
г. Орел, Российская Федерация

Аннотация. В научном исследовании проводилась работа по разработке метода обработки текстовых вакансий с использованием алгоритмов искусственного интеллекта. На основе разработанного метода проводился эксперимент по анализу вакансий бизнес-аналитиков на предмет требований к навыкам. В работе приводится описание разработанного алгоритма и графическое представление результатов эксперимента.

Ключевые слова: алгоритм, искусственный интеллект, навыки, бизнес-аналитика, NLP.

TECHNOLOGY FOR IDENTIFYING REQUIREMENTS FOR THE SKILLS OF BUSINESS ANALYSTS BASED ON THE NLP APPROACH

Student **Shcherbin Alexey Andreevich**,
Academic Advisor: Doctor of Technical Sciences, Professor
Loginov Ilya Valentinovich,
Central Russian Institute of Management – branch of RANEPA,
Orel, Russian Federation

Abstract. In the scientific study, work was carried out on the development of a method for processing text vacancies using artificial intelligence algorithms. Based on the developed method, an experiment was conducted to analyze the vacancies of business analysts for skill requirements. The paper provides a description of the developed algorithm and a graphical representation of the experimental results.

Keywords: algorithm, artificial intelligence, skills, business analytics, NLP.

В данном исследовании проводилась работа по разработке метода обработки вакансий, размещенных на портале интернет-рекрутмента «HeadHunter». Был сформулирован вопрос исследования, который заключается в изучении вакансий бизнес-аналитиков на предмет требования к необходимым навыкам для данной вакансии. Для решения данного вопроса возникает необходимость в обработке большого количества данных о вакансиях бизнес-аналитиков, а также проведения суммаризации требуемых навыков. Для решения данного вопроса необходимо разработать метод обработки текстовых данных на основе NLP-алгоритма и внедрить его в разработанное программное обеспечение «ВекторКогнитив».

Высокая динамика изменений требований к навыкам бизнес-аналитиков обосновывает актуальность исследования вопроса разработки технологии выявления типовых требований к ним на основе анализа актуальных вакансий от работодателей.

Постановка цели исследования. Цель данного исследования заключается в разработке механизма систематизации сведений по обобщенным навыкам, которые представлены на естественном языке в интернет-вакансиях бизнес-аналитиков:

$$\{V\} \rightarrow \{H\}$$

где V – структурированное текстовое представление вакансии бизнес-аналитика (в работе рассматриваются вакансии на русском языке); H – является множеством повторяющихся требований к навыкам, описанных в вакансиях.

Анализ предметной области. Natural Language Processing [1], то есть обработка естественного языка и соответственно выполнение операции по извлечению информации из текстовых сообщений является областью искусственного интеллекта по выявлению подобия текста. Данный метод часто используют для поиска необходимой информации для проведения оценки и обобщения данных (в частности, для перевода и классификации текста).

Для решения задачи по разработке алгоритма обработки текстовых данных следует использовать алгоритм латентно-семантического анализа (LSA). С помощью LSA можно выполнять матричную декомпозицию данных, с использованием сингулярного разложения [2]. Также к дополнению LSA необходимо использовать алгоритм нахождения косинусного подобия, который измеряет сходство между двумя текстами, с помощью нахождения угла между векторами слов [3]. Следует перечислить задачи обработки естественного языка (рисунок 1).

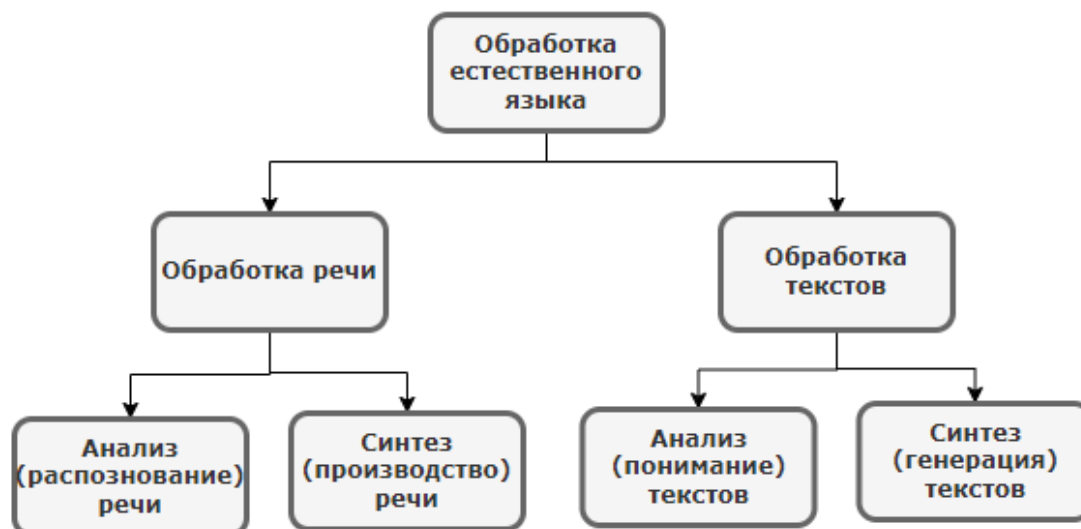


Рисунок 1. Классификация задач обработки естественного языка

Разработка технологии обработки текстовых вакансий бизнес-аналитиков с помощью LSA. Для решения задачи по разработки алгоритма обработки текстовых данных, следует разделить его реализацию на этапы:

1. Проведение сбора данных для анализа и сохранения их в формате *xlsx*.

2. Преобразовании текстовых вакансий (*V*) в набор строк с требованиями к бизнес-аналитику:

$$V \rightarrow \{v_i\},$$

где v_i – *i*-е требование к вакансии бизнес-аналитика в форме текста, приведенного к нижнему регистру.

3. Двухэтапный отсев навыков из общего списка требований (на первом этапе автоматически на основе стоп-слов, на втором этапе автоматизированно – с использованием эксперта):

$$\{v_i\} \rightarrow \{v_i^H\}.$$

4. На данном этапе применяется векторизация текстовых данных. Для проведения векторизации текста используется библиотека машинного обучения «*scikit-learn*», а конкретно модуль библиотеки «*CountVectorizer*», благодаря которому все входные текстовые данные преобразуются в матрицу значений числовых ключей [4].

$$v_i^H \rightarrow \{txt\}_i.$$

5. На следующем этапе производится сингулярное разложение матрицы, для снижения размерности. С помощью сингулярного разложения можно выполнять более эффективные вычисления данных.

Расчет попарной схожести текстовых строк с требованиями к навыкам:

$$sim = \begin{matrix} 1,00 & \{txt\}_{1,2} & \{txt\}_i \\ \{txt\}_1 & 1,00 & k(n_1, n_i) \\ \{txt\}_j & k(n_j, n_1) & 1,00 \end{matrix}.$$

6. На заключительном этапе происходит анализ полученных данных, а также выполняется формирование наиболее часто встречаемых элементов в виде матрицы на основе критерия схожести k^{sim} :

$$k^{sim}: \begin{cases} k(n_i, n_j) \geq k^{sim}: n_i = n_j \\ k(n_i, n_j) < k^{sim}: n_i \neq n_j \end{cases}.$$

$$\{v_i^H\} \rightarrow \{v_j^{обоб}\}$$

7. Отсев навыков, частота встречаемости которых незначительна.

$$\{v_j^{обоб}\} \rightarrow \{v_j^{обоб,*}\} = \{H\}.$$

Каждый этап разработанного алгоритма является продолжением предыдущего. Современные методы машинного обучения, например, модуль *CountVectorizer*, позволяют обрабатывать большой объем данных, представленных на естественном языке.

Эксперимент по оценке эффективности технологии выявления требований к навыкам бизнес-аналитиков. В рамках исследования разработано программное обеспечение «ВекторКогнитив». Выполнено тестирование разработанного алгоритма и внедрение его в программное

обеспечение, на выборке данных 100 вакансий, размещенных на портале интернет-рекрутмента «HeadHunter» (рисунок 2).

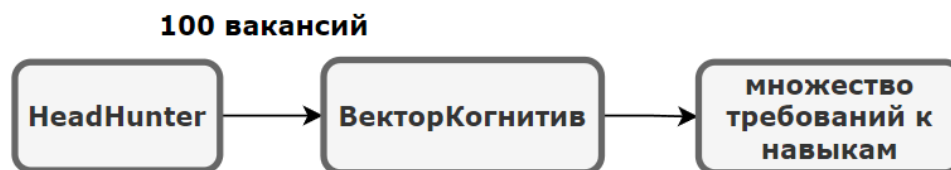


Рисунок 2. Схема эксперимента

На основании проведенного эксперимента составлен топ-5 основных требований к навыкам. Результаты эксперимента представлен на рисунке 3.

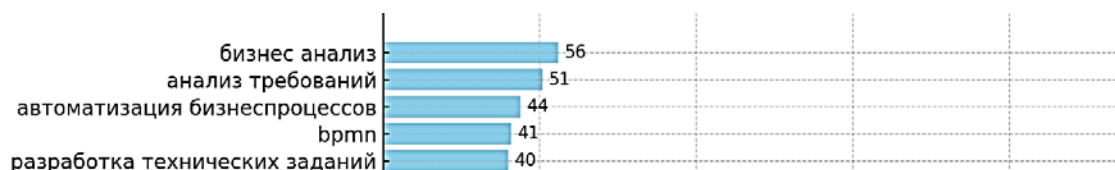


Рисунок 3. Результаты эксперимента по тестированию разработанного алгоритма [5, 6]

Результаты применения разработанного программного обеспечения «ВекторКогнитив» показали возможность использования алгоритма на основе NLP для решения задач бизнес-анализа.

Заключение. В заключение следует отметить, что на вопрос по изучению требований к навыкам для специальности бизнес-аналитика получен подробный ответ, в виде разработанного метода на основе NLP-алгоритмов, а также проведения эксперимента по тестированию разработанного метода.

Список литературы:

1. Иванченко, О. В. Влияние обработки естественного языка (NLP) на цифровой маркетинг / О. В. Иванченко, Е. В. Барауля // Развитие логистики в условиях санкционных ограничений и международной экономической интолерантности: материалы международной научно-практической конференции: XVIII Южно-Российский логистический форум, Ростов-на-Дону, 07–08 октября 2022 года / Ростовский государственный экономический университет РИНХ; Южно-Российская ассоциация логистики. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный экономический университет РИНХ, 2022. – С. 133-137. – EDN ITIMMO.
2. Шелухин, О. И. Использование латентно-семантического анализа при подготовке данных для идентификации анонимных пользователей по цифровым отпечаткам / О. И. Шелухин, А. В. Ванюшина, М. С. Желнов // Научные технологии в космических исследованиях Земли. – 2022. – Т. 14, № 1. – С. 36-44. – DOI 10.36724/2409-5419-2022-14-1-36-44. – EDN FHDAPS.
3. Top 7 Ways To Implement Document & Text Similarity In Python: NLTK, Scikit-learn, BERT, RoBERTa, FastText and PyTorch. – URL:

https://spotintelligence.com/2022/12/19/text-similarity-python/#1_Cosine_similarity
(дата обращения: 19.11.2024 г.)

4. Обработка естественного языка (NLP) методами машинного обучения в Python. – URL: <https://habr.com/ru/companies/otus/articles/687796/> (дата обращения: 06.11.2024 г.)

5. Агапов, Ю. Г. Сравнительный анализ библиотек языка Python для изучения методов визуализации данных / Ю. Г. Агапов, М. А. Подвесовская // Информационные технологии. Проблемы и решения. – 2022. – № 2(19). – С. 20-26.

6. Халевин, Т. А. Визуализация данных в Python с использованием библиотеки Matplotlib: основы и примеры / Т. А. Халевин, А. А. Голубничий // E-Scio. – 2023. – № 12(87). – С. 26-34. – EDN EBFMHF.

© Щербин А. А., 2024

МОДУЛЬНЫЙ КОНЦЕПТ ОБУЧАЮЩЕГО СТЕНДА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ

студент **Шаряков Кирилл Владимирович**,
Санкт-Петербургское государственное бюджетное профессиональное
образовательное учреждение Академия транспортных технологий (АТТ),
канд. техн. наук, доцент **Шарякова Ольга Леонидовна**,
Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Внедрение цифровых технологий в управление, модернизация промышленных мощностей, их роботизация и автоматизация является основным направлением развития промышленности. Отличительной особенностью для нашей страны стал процесс импортозамещения, в том числе и в среде использования микроэлектронной техники. Эффективное перевооружение невозможно без подготовки необходимого персонала как для ввода в эксплуатацию новых систем, так и для повседневной работы. Предлагаемый в работе модульный концепт обучающего стенда автоматической системы управления позволяет с минимальными затратами подготовить необходимый персонал.

Ключевые слова: система автоматического управления, микропроцессор, цифровизация, программированный логический контроллер, обучающий стенд, модульная система управления.

THE MODULAR CONCEPT OF THE TRAINING STAND OF AN AUTOMATIC CONTROL SYSTEM AS A METHOD OF INCREASING THE FAULT TOLERANCE OF EQUIPMENT

Student **Sharyakov Kirill Vladimirovich**,
St. Petersburg State Budgetary Professional Educational Institution Academy
of Transport Technologies (ATT),
PhD in Technology, Associate Professor **Sharyakova Olga Leonidovna**,
St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design Higher
School of Technology and Energy,
St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. The introduction of digital technologies in management, modernization of industrial facilities, their robotization and automation is the main direction of industrial development. A distinctive feature for our country has become the process of import substitution, including in the environment of using

microelectronic technology. Effective re-equipment is impossible without training the necessary personnel both for the commissioning of new systems and for daily work. The modular concept of the training stand of the automatic control system proposed in the work allows you to prepare the necessary personnel with minimal cost.

Keywords: automatic control system, microprocessor, digitalization, programmable logic controller, training stand, modular control system.

Использование современных систем автоматического управления (САУ), микроэлектронного и микропроцессорного оборудования позволяет достичь лучшей отказоустойчивости оборудования, значительно снизить потребление электроэнергии, что положительно сказывается на соблюдении принципов бережливого производства в промышленности. В частности, использование программируемых логических контроллеров позволяет значительно упростить схемы управления электрооборудованием, а, следовательно, повысить их надежность. Помимо этого, за счет автоматизации некоторых элементов цепей, увеличения быстродействия срабатывания оборудования, своевременных переключений различных агрегатов повышается энергетическая экономичность всей электроустановки.

Внедрение САУ значительно уменьшает количество отказов работы аппаратуры, но не снижает их до 0. В современных условиях отказ в работе микроэлектронного оборудования может произойти из-за следующих причин: дефекты металлизации – 26 %; дефекты внутренних выводов – 23 %; дефекты в сборке корпуса – 17 %; изменение электрических характеристик системы питания и нагрузок – 12 %; поверхностные нарушения и несовмещения – 11 %; прямая вина человека – 11 % (Рисунок 1) [1].

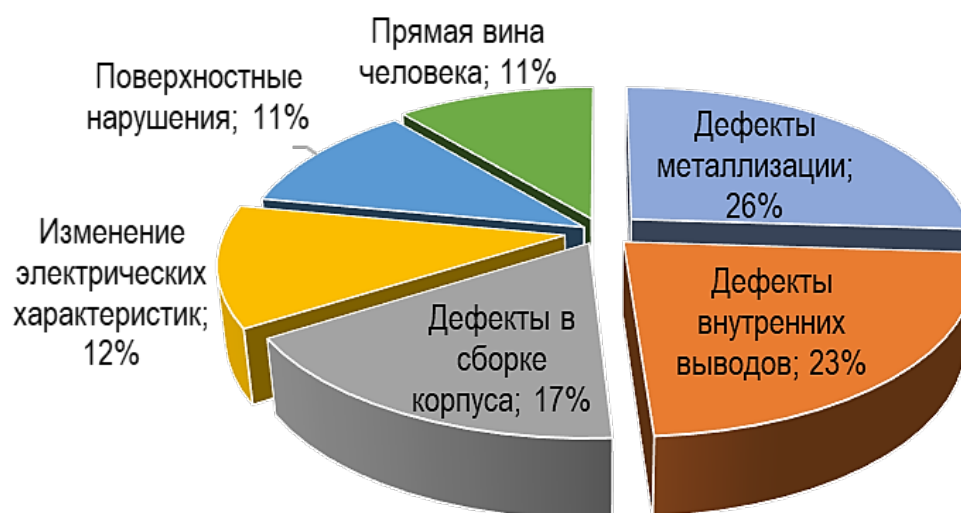


Рисунок 1. Распределение причин, приводящих к отказу оборудования

На основе анализа отказов можно сделать вывод, что около половины всех неисправностей, прямо или косвенно, происходят по вине человека (рисунок 1), что совпадает с исследованиями академика В. А. Легасова, который считал, что

свыше 60 % аварий происходит из-за ошибок персонала [2]. Недостаточная осведомленность персонала о правильной эксплуатации микроэлектронных устройств приводит к неправильному использованию оборудования, нарушению техники безопасности, ошибкам, совершаемым людьми при сборке, ошибкам в настройке новых схем управления. Часть отказов, показанных на рисунке 1, произошли по вине человека, такие как: дефекты в сборке корпуса, изменение электрических характеристик системы питания и нагрузок, поверхностные нарушения и не совмещения. Сгруппировав указанные отказы вместе, получаем (рисунок 2).

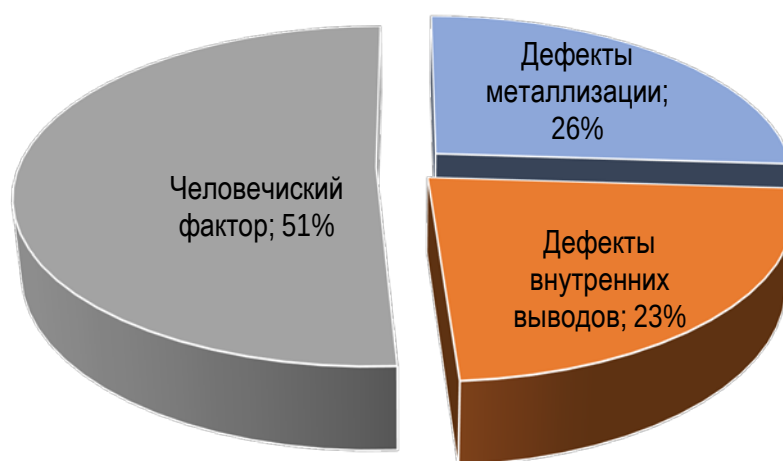
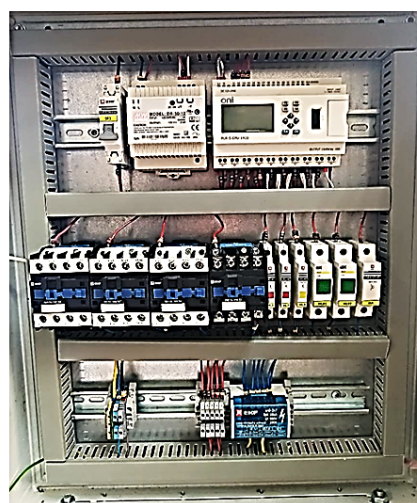


Рисунок 2. Распределение причин, приводящих к отказу оборудования

Человеческий фактор оказывает огромное влияние на работу систем управления. В свою очередь, отказ работы системы управления электромеханическими и техническими объектами, в лучшем случае, может привести к временным экономическим затратам, а в худшем – к человеческим жертвам. Таким образом, становится очевидна острая необходимость в повышении квалификации у сотрудников производств.

Проблему с недостаточной квалификацией сотрудников предлагается решать с помощью дополнительных часов обучения на том оборудовании, или точнее, на макете того оборудования, с которым им придется работать в дальнейшем. Использование макетов систем управления оборудованием, как и макетов самого оборудования для обучения персонала вместо обучения на оборудовании во время выполнения технологических процессов позволяет значительно снизить экономические затраты, вызванные неправильным действием обучаемого и снизить практически до нуля вероятность возникновения аварийных ситуаций, приводящих к значительным жертвам [3].

Создание единого универсального стенда, удовлетворяющего требованиям всех организаций, экономически неоправданно и технически тяжело реализуемо. Поэтому предлагается модульный концепт обучающего стенда автоматической системы управления (АСУ-М) (рисунок 3).



Вариативный модуль коммутации электропривода



Вариативный модуль сигнализационных систем



Вариативный блок регулятора
Система управления, выполненная на базе программируемых логических контроллеров

Рисунок 3. Внешний вид и модульный концепт обучающего стенда автоматической системы управления (АСУ-М)

Модульный концепт обучающего стенда (рисунок 4) может быть применен на различных типах производств, так как он позволяет переоборудовать стенд для обеспечения требований конкретной системы управления. В зависимости от требований, АСУ-М может дооснащаться необходимыми устройствами ввода информации (датчики движения, света, звука, кнопки, переключатели, концевые выключатели и т. п.); необходимыми модулями коммутации электроприводов и других типов нагрузки; необходимой системой сигнализации; необходимыми программируемыми логическими контроллерами (ПЛК). Такая вариативность позволяет создать установку, которая будет максимально приближена к реальной системе автоматического управления, что позволит повышать свою квалификацию сотрудникамкратно эффективнее [4].



Рисунок 4. Модульный концепт обучающего стенда

АСУ-М, созданная по принципу модульности, соответствует следующим критериям выбора оборудования: импортозамещения, легкодоступности и распространенности.

Выбор компонентов по таким параметрам позволяет значительно удешевить и упростить создание подобных установок под конкретное производство (применение), сверх того, это положительно сказывается на ремонтопригодности.

Система управления обучающего стенда АСУ-М включает в себя программируемые логические контроллеры и реле ОВЕН и Oni. Контроллеры ОВЕН и Oni являются достаточно распространенными, что создает всю соответствующую инфраструктуру вокруг них, которая включает в себя гарантийное и постгарантийное обслуживание, выпуск необходимых пособий по эксплуатации, поддержка и обновления программного обеспечения. При необходимости данные контроллеры могут быть заменены в зависимости от требования производства [5].

Инновационность АСУ-М позволяет максимально приблизиться к реальным условиям работы, сверх этого, она позволяет не только производить внешние взаимодействие с системой автоматического управления технологическим процессом, но и позволяет обучать людей монтажу и эксплуатации автоматической системы управления, навыкам поиска неисправности в электрической схеме (обычные научные стенды такой возможности не дают), позволяет приобрести навыки переоборудования той или иной системы. За счет модульности ее легко переделать под изменившиеся условия на развивающемся производстве таким образом, чтобы она соответствовала всем нововведениям. Дополнительным достоинством модульного концепта является возможность апробации новых решений по автоматизации технологических процессов, применения нового оборудования, моделирование новых систем управления, еще до ввода их в действующий технологический процесс, что кратно понижает риск возникновения неисправностей, существенно понижает стоимость испытаний новых систем и модернизации старых.

Предложенный модульный концепт обучающего стенда АСУ-М направлен на снижение отказов, связанных с ошибками обслуживающего и ремонтного персонала, на улучшение эксплуатационных свойств систем автоматики при автоматизации производственных процессов, а также позволяет создавать, моделировать новые системы практически во всех отраслях производства, включая системы генерации тепла, освещения, управления приводами.

Список литературы:

1. Надежность технических систем и техногенный риск: учебное пособие / В. А. Акимов, В. Л. Лапин, В. М. Попов [и др.]. – Москва: Финансовый издательский дом «Деловой экспресс», 2002. – 368 с. – Текст: непосредственный.
2. Салтовский, Н. А. Анализ статистики отказов микропроцессорных и электромеханических устройств релейной защиты / Н. А. Салтовский, А. С. Сундуков // Science Time. – 2017. – № 5(41). – С. 250-254. – Текст: непосредственный.
3. Гуревич, В. И. Электромеханические и микропроцессорные реле защиты. Возможен ли симбиоз? / В. И. Гуревич // Релейная защита и автоматизация. – 2013. – № 2(11). – С. 42-44. – EDN QBNOQJ.
4. Забелин, А. А. Перспектива использования учебных лабораторных стендов на основе программируемого логического контроллера «ОВЕН» / А. А. Забелин //

Молодежь. Наука. Инновации. – 2023. – Т. 1. – С. 357-362. – Текст: непосредственный.

5. Клокотов, И. Ю. Автоматизация технологических процессов и производств / И. Ю. Клокотов // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». 2019. № 3. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya>.

© Шаряков К. В., Шарякова О. Л., 2024

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В АВАРИЙНО-ДИСПЕТЧЕРСКИХ СЛУЖБАХ В СФЕРЕ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА

студент **Васильева Дарья Михайловна**,
студент **Леу Елена Валерьевна**,

науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент **Попов Алексей Анатольевич**,
Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова,
Москва, Российская Федерация

Аннотация. Целью исследования является изучение путей использования интеллектуальной системы поддержки принятия решений в деятельности АДС в контуре управления жилищно-коммунального хозяйства. Объектом исследования является деятельность аварийно-диспетчерской службы в сфере жилищно-коммунального хозяйства. Предметом исследования является использование интеллектуальной системы поддержки принятия решений в деятельности аварийно-диспетчерской службы. Для выполнения целей исследований в работе производится анализ типовых сценариев работы аварийно-диспетчерской службы, а также преимуществ и недостатков использования интеллектуальных систем поддержки принятия решений в деятельности аварийно-диспетчерской службы в сфере жилищно-коммунального хозяйства.

Ключевые слова: интеллектуальные системы поддержки принятия решений, аварийно-диспетчерская служба, чрезвычайные ситуации, цифровизация, автоматизация.

USE OF INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEMS IN EMERGENCY DISPATCHING SERVICES IN THE SPHERE OF HOUSING AND UTILITIES

Student **Vasileva Daria Mikhailovna**,
Student **Leu Elena Valerievna**,

Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor
Popov Aleksey Anatolievich,
Plekhanov Russian University of Economics,
Moscow, Russian Federation

Abstract. The aim of the research is to study the ways of using an intelligent decision support system in the activities of the emergency dispatch service in the housing and communal services management circuit. The object of the research is the activities of the emergency dispatch service in the housing and communal services sector. The subject of the research is the use of an intelligent decision support system in the activities of the emergency dispatch service. To achieve the objectives of the research, the work analyzes typical scenarios of the emergency dispatch service, as

well as the advantages and disadvantages of using intelligent decision support systems in the activities of the emergency dispatch service in the housing and communal services sector.

Keywords: intelligent decision support systems, emergency dispatch service, emergencies, digitalization, automation.

В современном мире повсеместной тенденцией является цифровизация, которая охватывает все сферы деятельности и характеризуется очень быстрыми темпами. Информационные технологии внедряются в бизнес, в медицину, в сферу государственного управления и становятся все более востребованными во многих областях. Новые цифровые технологии, с одной стороны, существенно облегчают человеку жизнь, а с другой стороны, могут стать фактором, создающим дополнительные сложности в связи с «информационной перегрузкой», возникающей при переходе к информационному обществу. В стремительно меняющемся мире появляется необходимость оптимизации процесса принятия управленческих решений, поскольку возрастает сложность поставленных задач, а также многократно увеличивается объем поступающей информации, которая при этом может быть разрозненной и неполной. В таких условиях когнитивных способностей человека может быть недостаточно для обработки настолько больших объемов информации, что порождает потребность в поиске инновационных решений, которые бы справились с обработкой больших данных [1]. Поиск такого решения приводит, в свою очередь, к применению информационных технологий. Особой актуальностью на сегодняшний день обладают интеллектуальные системы поддержки принятия решений, которые помогают человеку в обработке большого количества данных и обеспечивают содействие в выработке оптимального решения [1]. Среди факторов, способствовавших разработке и внедрению систем поддержки принятия решений, можно выделить следующие:

- появление понятия «большие данные», связанное с чрезмерным увеличением объемов информации;
- активное развитие информационных технологий, в частности информационных систем, которые могут послужить эффективными инструментами при поиске решений;
- повышение ценности такого ресурса, как время;
- удорожание стоимости ошибок от неверно принятых решений в процессе управления;
- потребность в автоматизации выполнения рутинных задач [2, с. 88].

Таким образом, понятие системы поддержки принятия решений может быть сформулировано так: «система поддержки принятия решений – это компьютерная система, которая посредством сбора и анализа большого объема информации может прогнозировать наиболее оптимальный вариант дальнейших действий и тем самым принимать участие в процессе принятия решений» [3]. В условиях, когда не все последствия принятого решения могут быть точно или хотя бы приближенно спрогнозированы человеком, представителям

руководящих должностей необходимо иметь в распоряжении инструмент, который поможет проанализировать и прояснить ситуацию, в связи с чем системы поддержки принятия решений могут стать эффективными партнерами руководителей [1]. Сфера применения таких систем достаточно широка, и на сегодняшний день все больше предприятий и бизнесов, а также органов государственного управления обращается к их внедрению в свою деятельность.

Так, например, в сфере управления службами жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) необходимость использования информационных систем аргументируется тем, что их внедрение позволит повысить эффективность управления объектами ЖКХ и, в конечном итоге, обеспечить безопасность населения благодаря оптимизации процесса быстрого и эффективного решения проблем [4]. Одной из важнейших структур в области ЖКХ является аварийно-диспетчерская служба (АДС), которая круглосуточно функционирует с целью обеспечения бесперебойного функционирования систем жизнеобеспечения в многоквартирных домах, а также ликвидации аварий в случае их возникновения [5]. В связи с необходимостью быстрой обработки информации, поступающей в заявках граждан об аварийных ситуациях, и оперативного принятия решения по ликвидации опасности, использование интеллектуальных систем поддержки принятия решений является эффективным способом оптимизировать этот процесс и увеличить шансы на успешную ликвидацию аварии.

Таким образом, актуальным является решение задач, связанных с совершенствованием деятельности ЖКХ за счет использования интеллектуальных технологий при принятии решений по управлению ЖКХ.

Целью исследования является изучение путей использования интеллектуальной системы поддержки принятия решений в деятельности АДС в контуре управления ЖКХ. Объектом исследования является деятельность аварийно-диспетчерской службы ЖКХ. Предметом исследования является использование интеллектуальной системы поддержки принятия решений в деятельности АДС. Для выполнения целей исследования в работе производится анализ типовых сценариев работы АДС, а также преимуществ и недостатков использования интеллектуальных систем поддержки принятия решений в деятельности АДС в сфере ЖКХ.

Исследования в данной работе являются логическим продолжением исследований, проведенных в работе [6].

Анализ типовых сценариев работы аварийно-диспетчерских служб, а также преимуществ и недостатков использования интеллектуальных систем поддержки принятия решений в деятельности аварийно-диспетчерских служб в сфере ЖКХ

Следует рассмотреть типовые сценарии работы АДС. Работа АДС в случае возникновения аварийных ситуаций включает в себя несколько этапов. На первом этапе происходит получение уведомления об аварийной ситуации. Источниками сообщений выступают граждане – жители многоквартирных домов, либо автоматические системы оповещения (в таком случае первый этап – это получение сигнала тревоги). Граждане имеют возможность передать сообщение об аварии различными способами. В Москве большинство

диспетчерских служб подключены к единому диспетчерскому центру, куда можно обратиться по телефону, через мобильное приложение «Госуслуги Москвы» или оставив онлайн-заявку [7]. Следующим этапом работы АДС после получения сообщения о возникновении аварийных обстоятельств является оценка ситуации. Диспетчер оценивает уровень угрозы, определяет возможный ущерб, в случае необходимости запрашивает дополнительную информацию (например, о местоположении происшествия и количестве пострадавших), а затем принимает решение о том, какие действия требуется предпринять в конкретной ситуации. Затем происходит следующий этап – координация спасательных операций, в процессе чего диспетчер связывается с экстренными службами и передает им всю необходимую информацию об аварийном происшествии. Следующий этап работы АДС – мониторинг ситуации и осуществление контроля за ликвидацией опасности и проведением требуемых операций. Таким образом, работа в АДС требует навыков быстрого реагирования, поскольку от скорости принятия решения и осуществления связи с другими службами зависит безопасность населения и эффективность разрешения аварийных ситуаций. Тем самым объясняется актуальность применения интеллектуальных систем поддержки принятия решений в деятельности АДС, поскольку такие системы позволяют экономить время на обработку информации и принятие решения, а время в экстренных ситуациях имеет колоссальное значение.

Системы поддержки принятия решений могут значительно сократить время, необходимое для анализа ситуации и выбора наилучшего направления действий. Это может спасти жизни и минимизировать ущерб, порождаемый аварийной ситуацией. Кроме того, интеллектуальные системы помогают диспетчерам учитывать множество параметров (например, тип инцидента, доступные ресурсы, местоположение и состояние окружающей среды), что необходимо для принятия оптимальных решений.

Рассмотрим, какими преимуществами обладает применение интеллектуальных систем поддержки принятия решений в деятельности АДС. Такие системы позволяют обрабатывать большие объемы данных в реальном времени, что делает возможным более точный и быстрый анализ ситуации. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений обеспечивают более высокую степень автоматизации и оптимизации процессов, связанных с управлением ресурсами. С помощью алгоритмов искусственного интеллекта и анализа больших данных диспетчеры могут быстро определить, какие ресурсы необходимо направить на место происшествия, учитывая специфику инцидента и доступность служб. Это позволяет эффективно использовать имеющиеся ресурсы. Еще одним значительным преимуществом является возможность прогнозирования и анализа рисков. Интеллектуальные системы могут заранее выявлять потенциальные угрозы, основываясь на данных о предыдущих инцидентах и текущих условиях, что позволяет заблаговременно готовиться к возможным чрезвычайным ситуациям и принимать превентивные меры. Это не только повышает безопасность операций, но и уменьшает вероятность возникновения серьезных инцидентов. Также важно отметить, что с точки зрения

пользователей, использование интеллектуальных систем поддержки принятия решений может существенно улучшить качество сервиса, предоставляемого гражданам. Например, автоматизированные системы могут повысить удовлетворенность населения за счет более быстрого реагирования на вызовы, а также предоставления более точной информации о времени прибытия служб. Эта прозрачность и надежность укрепляют доверие между населением и службой экстренной помощи.

В настоящее время большинство решений, осуществляемых в процессе деятельности АДС, принимаются административным путем, то есть на основе предписаний к действиям при возникновении той или иной аварийной ситуации и правил, составленных экспертами в данной области. Следуя инструкциям, закрепленным в предписаниях, лицо, принимающее решение, может пользоваться опытом и знаниями экспертов для решения конкретных управленческих задач, даже если само не имеет требуемых знаний или опыта в решении таких задач [8]. Этот способ решения задач управления является эффективным и снижает до минимума риск возникновения ошибок (то есть риск наступления негативных последствий, которые может повлечь за собой некорректное управленческое решение) в случае, если наступила уже известная, типовая ситуация, для которой прописаны правила и рекомендуемые действия. Если же наступает событие, по которому отсутствуют знания и опыт, необходимые лицу, принимающему решение, поступившая задача решается здесь и сейчас, без опоры на конкретную последовательность действий. Это влечет за собой повышенную вероятность возникновения ошибок, а также является источником проблемы, связанной с увеличением времени на ликвидацию аварийной ситуации и увеличением количества затраченных ресурсов, которые могут использоваться неэффективно и быть потеряны из-за неточных управленческих решений [8].

Вышеназванные факторы подтверждают необходимость применения интеллектуальных систем в работе АДС, поскольку такие системы могут не только эффективно обрабатывать большие объемы поступающей диспетчеру информации, но и осуществлять процесс выдачи рекомендаций по принятию управленческих решений в сложившихся условиях [9]. При этом в случае внедрения интеллектуальных технологий следует учесть рекомендации по применению информационных систем для автоматизации деятельности управляющих компаний и ТСЖ по управлению многоквартирными домами [10]. Функциональные возможности таких систем должны предусматривать взаимодействие с АДС, которые работают, в том числе, и с данными, характеризующими деятельность управляющих компаний и ТСЖ [6, 10].

Однако, внедрение интеллектуальных систем поддержки принятия решений для работы АДС в сфере ЖКХ имеет определенные недостатки:

1. Разработка и массовое внедрение интеллектуальных систем требуют значительных финансовых вложений. На сегодняшний день реализуется национальный проект «Цифровая экономика», который направлен на создание условий для ускоренного развития цифровых технологий в экономике и социальной сфере. В перечень приоритетных направлений цифровых

преобразований включены ведущие отрасли экономики и социальной сферы, в том числе цифровизация ЖКХ. Это означает, что внедрение информационных технологий в деятельность служб жилищно-коммунального хозяйства регулируется и поддерживается на государственном уровне, однако даже несмотря на это существуют препятствия для выполнения запланированных в национальном проекте действий и цифровизации всех сфер общественной жизни. Среди таких препятствий можно выделить неэффективность и недостаточность финансирования, поскольку предусмотренные бюджетом средства используются не в запланированном количестве, и тем самым проект «Цифровая экономика» оказывается исполнен не полностью. Часть запланированных мероприятий не исполняется, что замедляет процесс цифровизации.

2. Санкционные ограничения на поставки и установку иностранного программного обеспечения, а также необходимость разработки и внедрения отечественного ПО с функциональными возможностями поддержки принятия решений в сфере ЖКХ.

3. Недостаток технологических и управленческих компетенций в сфере разработки, развертывания и поддержки современного программного обеспечения [9]. Именно поэтому внедрение интеллектуальных систем поддержки принятия решений в деятельность АДС, особенно в регионах Российской Федерации, осуществляется медленно в сравнении с мировыми темпами цифровизации.

4. Недостаточный уровень готовности цифровизации предприятий в сфере ЖКХ, что делает сомнительным внедрение интеллектуальных технологий в сфере ЖКХ. В соответствии с [11], строительные организации и предприятия ЖКХ имеют одни из самых низких показателей по уровню готовности к цифровизации (значение индекса в строительстве и ЖКХ составляет всего 25,3–23,8 %).

5. Возможное противодействие персонала управляющих компаний и ТСЖ (применение интеллектуальных систем в работу АДС в сфере ЖКХ может привести к нарушению сложившихся бизнес-процессов в управлении ЖКХ).

Выводы. В работе проведен анализ типовых сценариев работы АДС, а также преимуществ и недостатков использования интеллектуальных систем поддержки принятия решений в деятельности АДС в сфере ЖКХ. Установлено, что использование интеллектуальных систем поддержки принятия решений улучшит работу управляющих компаний и ТСЖ в сфере ЖКХ, но при этом пока что внедрение таких систем в сфере ЖКХ является затруднительным.

Список литературы:

1. Никифорова, А. А. Перспективы развития систем поддержки принятия решений / А. А. Никифорова // E-Scio. – 2022. – № 12(75). – С. 85-90. – Текст: непосредственный.
2. Першина, Е. Л. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений: комплексы программ, модели, модели, методы, приложения: учебное пособие /

- Е. Л. Першина, О. А. Попова, С. Н. Чуканов. – Омск: СибАДИ, 2010. – 203 с. – Текст: непосредственный.
3. Балашова, И. В. Системы поддержки принятия решений / И. В. Балашова, Т. А. Терещенко // The Scientific Heritage. – 2021. – № 79-4(79). – С. 3-7. – Текст: непосредственный.
4. Куликова, С. В. Цифровая экономика: интеллектуальные технологии в концепции Smart City для управления службами жилищно-коммунального хозяйства / С. В. Куликова, С. В. Рындина // Вестник Пензенского государственного университета. – 2022. – № 2(38). – С. 25-30. – Текст: непосредственный.
5. Постановление Правительства Российской Федерации от 15 мая 2013 г. № 416. // Собрание законодательства Российской Федерации. 2018 г. №21 от 27 мая 2013 года. Раздел IV Постановления и распоряжения Правительства РФ. Часть II. Акты ненормативного характера. Ст. 2652. – Текст: непосредственный.
6. Попов, А. А. Формирование набора компонентов программного обеспечения для выполнения обязанностей диспетчера аварийно-диспетчерской службы жилищно-коммунального хозяйства / А. А. Попов, А. О. Кузьмина // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2018. – Т. 6, № 1(20). – С. 153-175. – Текст: непосредственный.
7. Инструкция «Как связаться с единой диспетчерской службой» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mos.ru/otvet-dom-i-dvor/kak-svyazatsya-s-dispatcherskoj-sluzhboy/> (дата обращения: 18.11.2024).
8. Корольков, А. П. Использование генетических алгоритмов для построения адаптивных систем поддержки принятия решений в специальном программном обеспечении единой дежурно-диспетчерской службы на базе моделей ситуационного управления / А. П. Корольков, В. В. Попов, А. А. Козлов // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). – 2013. – № 4(8). – С. 66-74. – Текст: непосредственный.
9. Черных С. И. Национальный проект (программа) «Цифровая экономика Российской Федерации»: проблемы целеполагания и финансирования / С. И. Черных, Д. В. Байбулатова // ЭТАП: экономическая теория, анализ, практика. – 2023. – № 2. – С. 19-38. – Текст: непосредственный.
10. Попов А. А. Определение направлений, форм и способов перспективного развития инновационной инфраструктуры организаций по управлению многоквартирными домами (товариществ собственников жилья): монография / А. А. Попов. – Москва: ИРИСБУК, 2012. – 213 с. – Текст: непосредственный.
11. Никифорова, Т. И. Цифровизация ЖКХ как основа развития отрасли / Т. И. Никифорова, Н. И. Нижальская // Индустриальная экономика. – 2022. – Т. 2, № 4. – С. 125-129. – Текст: непосредственный.

© Васильева Д. М., Леу Е. В., 2024

НЕЙРОЧИП: МОЗГ НА МИКРОСХЕМЕ

студент **Поплавская Полина Сергеевна**,
студент **Демкина Екатерина Игоревна**,
науч. руководитель: канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник
Иванов Владимир Леонидович,
Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В данной работе рассматриваются сферы применения нейрочипов. В результате анализа выявляются как плюсы, так и минусы использования таких устройств. Также анализируются результаты, достигнутые на сегодняшний день в области создания нейрочипов.

Ключевые слова: нейрочип, обработка, данные, устройство, нейрон, сигнал, система.

Student **Poplavskaya Polina Sergeevna**,
Student **Demkina Ekaterina Igorevna**,
Academic Advisor: PhD in Technology, Senior Researcher
Ivanov Vladimir Leonidovich,
St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. This paper examines the applications of neurochips. As a result of the analysis both pros and cons of using such devices are revealed. The results achieved to date in the field of neurochip creation are also analyzed.

Keywords: neurochip, processing, data, device, neuron, signal, system.

Уникальные возможности, которые предлагает электротехника, продолжают приводить к созданию удивительных продуктов, связанных с обработкой сигналов и передачей информации. Человеческий мозг, содержащий порядка 100 млрд нейронов, где каждый нейрон соединен с 1000 аналогичных ячеек, выполняющих относительно простые операции, по существу, является совершенным параллельным, скорее всего, чисто аналоговым процессором (обработка непрерывных потоков поступающих данных). Самый совершенный компьютер трудно сравнить с человеческим мозгом отнюдь не только потому, что он содержит гигантское количество логических ячеек-нейронов. Принципиальное отличие прежде всего состоит в способе обработки информации, высокой степени параллелизма и связности между нейронами. Кроме того, данные в нейронных сетях не содержатся в отдельном блоке памяти, как в обычной ЭВМ. Они распределены, запоминаются и содержатся в виде весовых коэффициентов. Важно также, что в нейронных сетях операции

вычисления и коммутации данных совмещены. В типичной ЭВМ дискретного действия для обработки простейшего изображения требуется выполнить множество операций над числовыми данными, получаемыми к тому же после преобразования естественных аналоговых сигналов в дискретные эквиваленты. После такого преобразования, как правило, теряется много первичной информации, и поэтому компьютер восстанавливает ее в приближенном виде. Другими словами, при обработке образов цифровая ЭВМ имеет крайне низкий КПД. В человеческом мозге реализуется «картинная логика», когда без пространственного или временного сканирования обработка данных выполняется путем наложения отдельных картин друг на друга. Отсюда высокая скорость обработки образов при довольно больших задержках в отдельном нейроне (несколько миллисекунд). Человеческий мозг может работать на уровне значительных помех. Мы сталкиваемся с удивительными фактами восприятия информации, поступающей от органов чувств, на уровне больших помех или в искаженном виде: из отдельных фрагментов картины восстанавливается целый образ, распознаются знакомые голоса на уровне уличных помех, а дети уже в раннем возрасте узнают лица своих близких и т. д. И, наконец, последнее и не менее удивительное: мозг способен обучаться без каких-либо побуждений извне.

Наступающая новая эра интеллектуальных систем, интернета вещей, роботов и беспилотного транспорта нуждается в новых вычислительных средствах, способных в реальном режиме времени слышать, видеть и обрабатывать разнородные «зашумленные» данные большого объема.

Данная тема актуальна из-за потенциала, который она представляет для различных областей, включая электротехнику, медицину, искусственный интеллект и помощь людям с ограниченными возможностями. Интеграция электротехники с нейронаукой может привести к созданию инновационных устройств и систем, способных улучшить качество жизни людей.

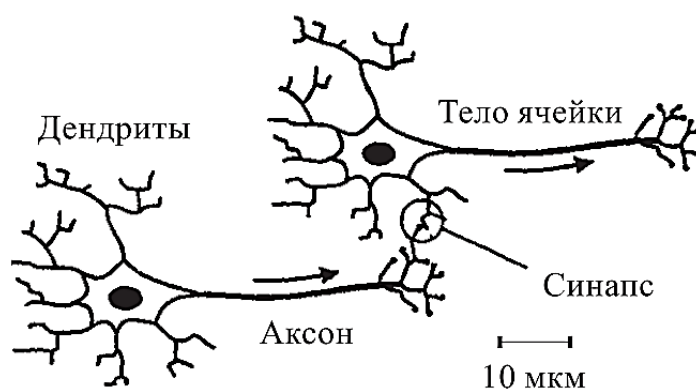


Рисунок 1. Упрощенная схема двух биологических нейронов

Нейрон как логический элемент. Кратко рассмотрим, что известно о нейроне как логическом элементе. Исходя из современных представлений, биологический нейрон можно схематически изобразить, не претендуя на строгость (рис. 1).

Нейрон состоит из тела, называемого сомой (soma), дендритов, по которым поступают входные сигналы, и аксона. С помощью аксонов сигналы от одного нейрона передаются к другим нейронам через синапсы, которые находятся на стыке между аксонами и дендритами. Предполагается, что мозг содержит до 1014 синапсов.

Каждому синапсу ассоциируется сила связи или весовой коэффициент. Возбужденные нейроны посылают электрические импульсы, которые исходят из тела нейрона. Сигналы имеют амплитуду около 100 мВ длительностью 1 мс. Каждый нейрон имеет тысячи связей с другими нейронами. Обучение происходит путем изменения силы связи синапсов. В результате меняется влияние одного нейрона на другой. Причем, в зависимости от состояния синапса, он или возбуждает следующий нейрон, или запрещает его срабатывание. Обнаружено различие между клетками с короткими аксонами, которые взаимодействуют с соседними нейронами, и клетками с длинными аксонами, от которых сигналы идут в другие участки мозга.

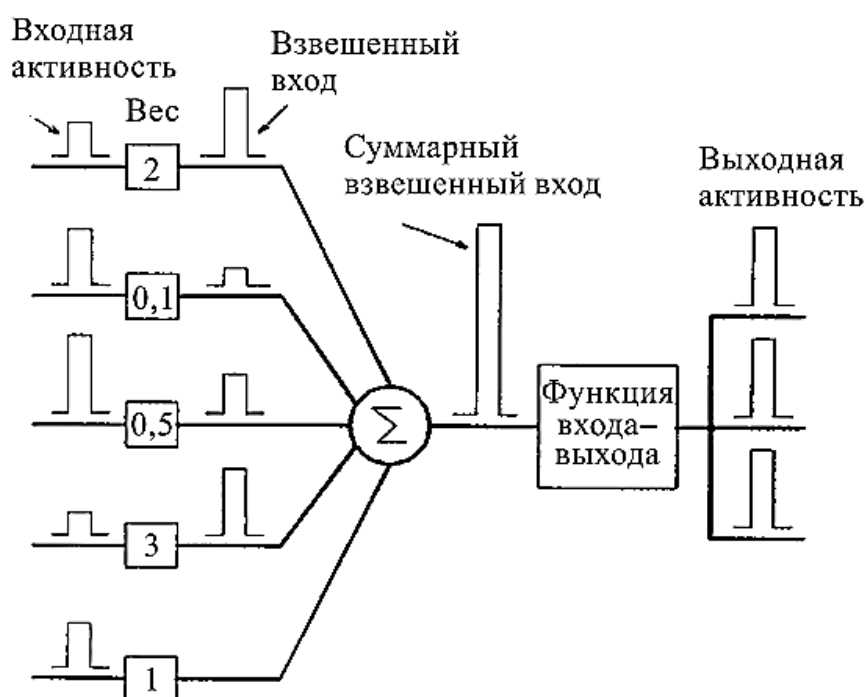


Рисунок 2. Блок-схема формального (искусственного) нейрона с пятью входами

Рассмотрим электрическую схему искусственного (формального) нейрона (рис. 2). Стык или узел между нейронами называется синапсом. Он выполняет преобразование входной информации в сигналы, воспринимаемые нейроном. С точки зрения логики нейрон представляет собой в первом приближении пороговый элемент, который с помощью синапсов собирает сигналы и суммирует их в аналоговом сумматоре. Каждый нейрон время от времени оценивает эту сумму по отношению к пороговому уровню, после чего он оставляет свой выходной сигнал без изменения либо изменяет его. Если сумма превышает определенный порог, то выходной сигнал распространяется по аксонам дальше, причем сигнал может проходить через нейрон только в одном

направлении. Искусственный нейрон имеет определенное количество входов с весами $w_{i,j}$ сумматор с суммирующей функцией, пороговый элемент и чаще всего один выход. Связи между нейронами имеют резистивный характер. Для реализации пороговой функции в нейрон вводится смещение или смещающие элементы, выходы которых соединены со входами суммирующего элемента.

Уравнение, описывающее выход нейрона в однонаправленной сети:

$$x_j = f \left(\sum_{i=1}^n w_{ij} v_i + s \right) \quad (1)$$

В общем виде выход нейрона x_j в однонаправленной сети, содержащей n нейронов (т. е. сети без обратных связей с выходов на входы), описывается уравнением (1). Здесь $w_{i,j}$ – вес связи между нейронами j и i , v_i – входной сигнал нейрона i , s – порог (смещение), который складывается со значением взвешенной суммы, f – функция активации (например, сигмоидная функция, пороговая функция, линейная функция и др.).

Используемая сигмоидная функция часто определяется из уравнения:

$$y = 1/(1 + e^{-x}). \quad (2)$$

Первая часть выражения представляет собой процедуру матричного умножения матрицы весов W и вектора активности (входного воздействия) v и является наиболее трудоемким процессом с точки зрения вычислений:

$$x = f(W v).$$

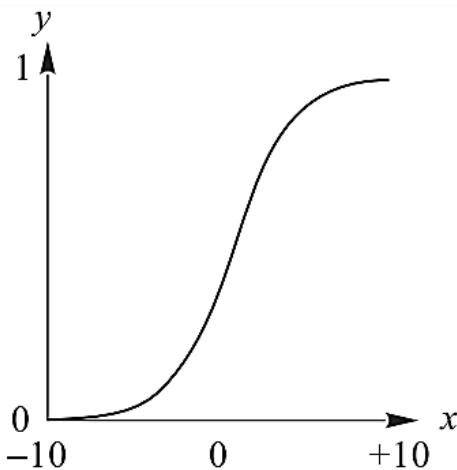


Рисунок 3. Сигмоидная функция, задаваемая уравнением $y = 1/(1 + e^{-x})$

Сигмоидная функция (рис. 3) дает такой же выход, как и обычная пороговая функция, но математически она проще. Однако, в отличие от пороговой функции, сигмоидная функция имеет производную, что весьма удобно в процессе обучения тех сетей, в которых используются алгоритмы, требующие выполнения такой операции. Следует отметить, что перемножение вектора на матрицу часто используется в численном анализе, поэтому по аналогии с созданными копроцессорами с плавающей точкой появились нейропроцессоры, выполняемые на стандартных печатных платах с

интерфейсом для связи с основной ЭВМ и возможностью каскадирования для повышения производительности. Для моделирования ИНС искусственные нейроны группируются в линейные матрицы, называемые слоями или уровнями. Для решения различного рода задач, которые связаны с распознаванием образов, классификации объектов и др., создаются искусственные нейронные сети, которые представляют собой физические модели, состоящие из множества искусственных нейронов. Из многих десятков известных моделей нейронных сетей наиболее широкое применение нашли три модели: модель Хопфилда, машина Больцмана и модель, описываемая радиально-базовыми функциями.

Вывод: Нейрочип представляет собой интегральную микросхему (обычно на основе полупроводников), специально разработанную для моделирования нейронных сетей или для взаимодействия с нейронами в биологической системе.

Развитие технологии

Цель заключается в эмуляции свойств нервной системы человека. Нейрочипы часто используются для создания электротехнических устройств, искусственного интеллекта, машинного обучения, компьютерной зрительной системы, роботов и других устройств, способных эмулировать функции человеческого мозга. Существует несколько подходов к построению нейрочипов, включая аналоговые и цифровые моделирования нейронных сетей.

В отличие от традиционных вычислительных архитектур, логика нейроморфных процессоров рассчитана на создание искусственных нейронных сетей. Как и в обычных микропроцессорах, в нейроморфных тоже используются обычные транзисторы, из которых строятся вычислительные ядра. Каждое из ядер эмулирует работу нескольких сотен нейронов головного мозга и, таким образом, одна интегральная схема, содержащая несколько тысяч таких ядер, алгоритмически может воссоздать массив из нескольких сотен тысяч нейронов и на порядок больше синапсов.

Практическое применение

Нейрочипы могут быть практически использованы в различных сферах, таких как электротехника, робототехника, медицина, системы управления, автоматизация производства и других направлениях.

1. Электротехника:

- управление электронными устройствами, такими как транзисторы, с помощью нейрочипов для оптимизации энергопотребления;
- распознавание и классификация сигналов в сенсорных сетях для улучшения эффективности систем мониторинга и контроля;
- разработка умных сетей для управления распределением и потреблением электроэнергии в зданиях;
- разработка коммуникационных систем с использованием нейрочипов для беспроводных передач данных;
- применение нейрочипов в разработке умных систем управления домашними электроприборами для оптимизации потребления энергии.

2. Автоматизация и робототехника:

Нейрочипы используются в системах управления роботами, автономных автомобилях, дронах и других автономных устройствах для обработки сенсорных данных, принятия решений в реальном времени и выполнения различных задач. Они помогают реализовать параллельные вычисления, что особенно ценно при работе с большими наборами данных.

3. Биоинтерфейсы и медицинская техника:

Нейрочипы могут быть применены в биоинтерфейсах для взаимодействия с нервной системой, а также для разработки имплантируемых устройств, таких как протезы конечностей, устройства глубокой стимуляции мозга и другие медицинские устройства.

4. Системы управления и автоматизация производства:

Нейрочипы могут использоваться для управления системами автоматизации, включая производственные линии, умный дом, интеллектуальные сенсорные системы и другие устройства, требующие адаптивного и интеллектуального управления.

Таким образом, нейрочипы имеют широкий спектр практического применения и могут быть использованы для создания более интеллектуальных, адаптивных и эффективных устройств, улучшая качество жизни людей и повышая производительность различных отраслей промышленности.

Плюсы и минусы

Плюсы:

Электротехническое применение. Энергоэффективность: нейрочипы предоставляют высокую энергоэффективность благодаря способности адаптироваться к изменяющимся условиям и оптимизировать потребление энергии. Быстрая обработка данных: нейрочипы способны обрабатывать данные параллельно и эффективно, что делает их идеальным выбором для реализации высокоскоростных систем управления и обработки данных. Автоматическое обучение: нейрочипы обладают способностью к автоматическому обучению и адаптации, что позволяет им оптимизировать свое поведение в процессе работы. Параллельная обработка: нейрочипы хорошо подходят для задач с параллельной обработкой данных, таких как обработка изображений, распознавание образов, и другие. Гибкость: нейрочипы могут быть легко настраиваемы в зависимости от специфических потребностей системы, что делает их универсальным инструментом для различных задач в электротехнике.

Медицинское применение. Развитие нейрочипов может привести к созданию продвинутых протезов, а также устройств для восстановления потерянных функций мозга.

Интеллектуальный прогресс. Изучение взаимодействия нейронов с электротехникой поможет в развитии более сложных и эффективных систем.

Минусы:

Сложность интеграции. Нейрочипы могут быть менее универсальными по сравнению с традиционными микроконтроллерами, что может создавать ограничения в их применении в некоторых типах систем. Из-за сложности работы нейронных сетей, выявление и устранение ошибок и неисправностей в нейрочипах может быть трудной задачей. Интеграция нейрочипов в существующие электротехнические системы.

Этические вопросы. Развитие интеграции нейрочипов в медицину и робототехнику вызывает вопросы о конфиденциальности данных и контроле над технологией.

Безопасность и риски. Взаимодействие нейронов с электротехникой также несет риски, связанные с возможными негативными последствиями для здоровья и безопасности.

Достижения в создании нейрочипов на сегодняшний день

О компании «Мотив Нейроморфные технологии»:

Начиная с 2012 года, именно нейронные сети, обученные алгоритмами глубокого обучения, демонстрируют лучшие, а порой сверхчеловеческие результаты. Реализация работы нейронных сетей на CPU, GPU/mGPU или на FPGA не обеспечивает нужного баланса между производительностью, энергопотреблением и габаритными размерами устройства.

Также аппаратная реализация на CPU (central processing unit, центральное обрабатывающее устройство, часто просто процессор), GPU (графический процессор) — это специализированный модуль, предназначенный для быстрой обработки и вывода графики на экран монитора)/mGPU, FPGA (Field-Programmable Gate Array, программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС)) имеет ограниченные возможности по масштабированию. А это ключевые параметры для целевых рынков. Совокупность этих факторов делает невозможным применение современных достижений в области нейронных сетей в компактных и автономных интеллектуальных устройствах.

Цель проекта — создание нейропроцессора для систем технического зрения, интеллектуальных и робототехнических систем, центров обработки данных. Нейропроцессор будет использоваться для задач распознавания и классификации видео- и аудио- образов, интегрирования и обработки информации от различных датчиков и сенсоров.

Разрабатываемый нейрочип «Алтай» (НП «Алтай») будет широко применяться для эффективного исполнения нейронных сетей в разных классах интеллектуальных устройств: от IoT (Internet of Things, или Интернет вещей, относится к коллективной сети подключенных устройств и технологии, которая облегчает связь между устройствами и облаком, а также между самими устройствами) до дата-центров (здание для размещения серверного и сетевого оборудования и подключения их к интернету).

Ключевые особенности нейрочипа «Алтай»:

- низкое энергопотребление;
- высокая производительность;

- неограниченная масштабируемость;
- небольшие размеры, невысокая стоимость;
- высокая отказоустойчивость.

Потребитель — разработчики и производители умных устройств:

- IoT, в том числе Industrial IoT (Промышленный Интернет вещей – это система объединенных компьютерных сетей и подключенных к ним промышленных объектов со встроенными датчиками и программным обеспечением для сбора и обмена данными, с возможностью удаленного контроля и управления в автоматизированном режиме, без участия человека);
- интеллектуальные видеокамеры;
- системы кибербезопасности и киберфизической безопасности;
- робототехника и беспилотные аппараты;
- и другие (пассивные 3D-сенсоры, медтехника, умная «кожа»).

Возможности, предоставляемые НП «Алтай»:

- исполнение произвольных импульсных нейронных сетей;
- неограниченная масштабируемость сети;
- обучение в процессе работы устройства;
- низкое энергопотребление по сравнению с классическими вычислительными устройствами;
- высокая производительность – обработка до 2000 кадров в секунду в задачах технического зрения.
- компактный и недорогой чип.

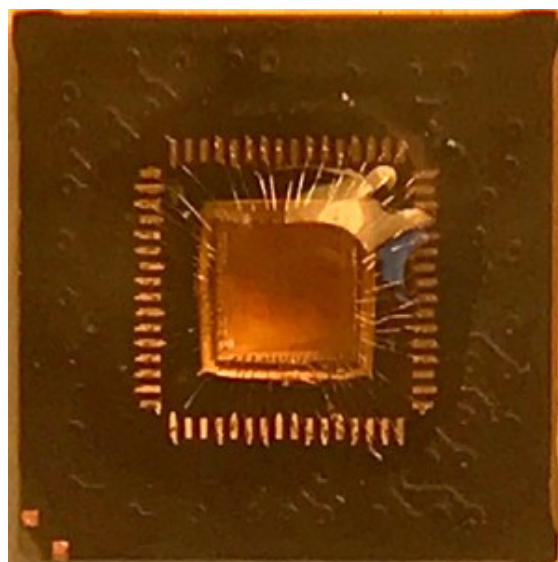


Рисунок 4. Прототип НП «Алтай» в корпусе

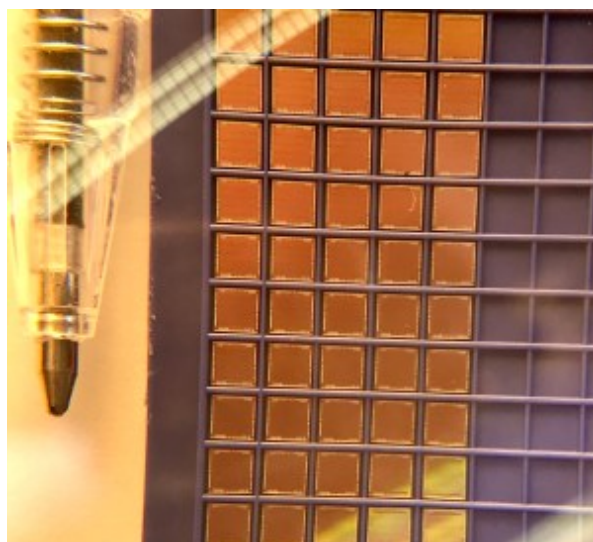


Рисунок 5. Прототипы НП «Алтай»

Текущие результаты:

Изготовлен прототип нейроморфного процессора «Алтай» (рис. 4, 5). Технологическая норма – 28 нм. Микросхемы установлены в корпус и протестированы. Микропроцессор содержит 256 нейроядер, в которых 131 072 нейрона, что в совокупности дает более 67 млн синапсов. Все это умещается на площади в 64 мм² и потребляет всего 0,5 Вт.

Производительность — около 67 млрд действий в секунду. Процессор может обрабатывать до 2200 кадров в секунду.

Техпроцесс рассчитан на возможность изготовления этих процессоров на территории России на разрабатываемом сегодня оборудовании, которое планируется к выпуску к 2030-му году. В то же время, инженерные прототипы изготавливались за рубежом, и в настоящее время при определенных политических условиях могут быть изготовлены на территории материкового Китая.



Рисунок 6. Модуль нейроморфного акселератора с 8 прототипами НП «Алтай»

Тестирование показало, что нейроморфный процессор «Алтай» (рис. 6) потребляет почти в одну тысячу раз меньше энергии, чем широко применяемые сегодня традиционные графические ускорители (GPU). На сегодняшний день это один из самых энергоэффективных процессоров в мире.

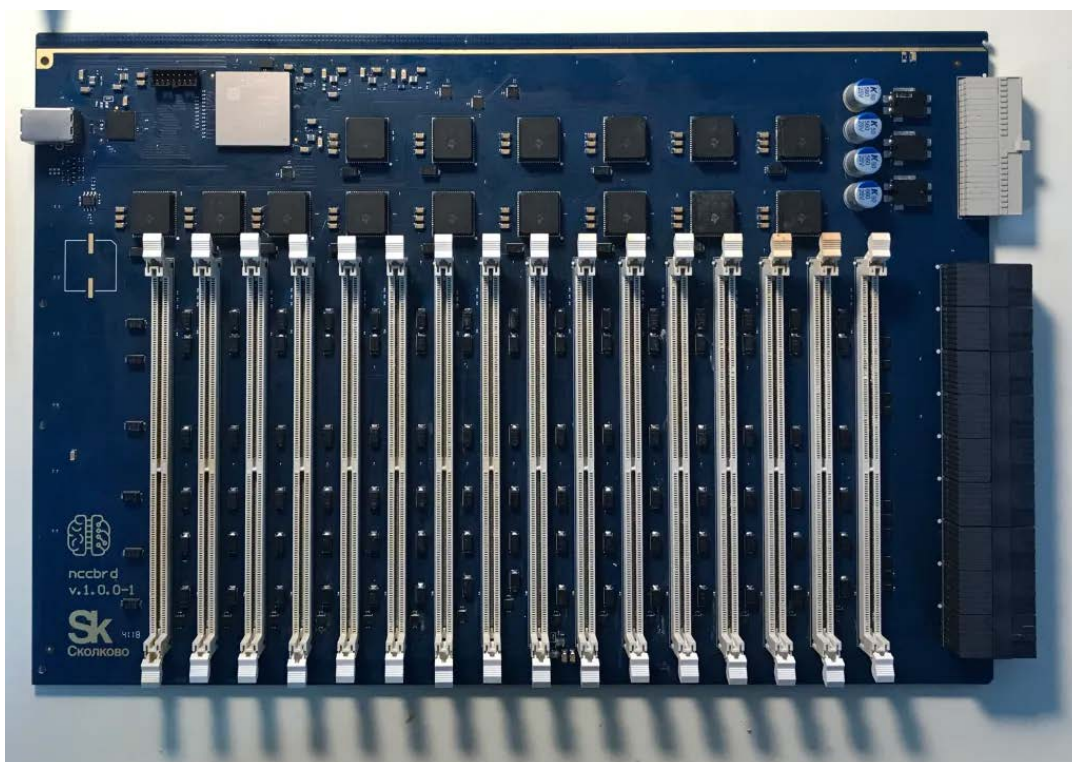


Рисунок 7. Объединительная плата для установки до 16 модулей нейроморфного акселератора и реализации интерфейса подключения к компьютеру

В настоящее время ведется разработка второй версии чипа. Реализована возможность масштабирования по технологии нейрочип – нейроморфный акселератор (16 чипов в одной плате, возможность подключения к компьютеру напрямую) – объединительная плата (рис. 7) (до 16 акселераторов, подключение по интерфейсу USB 3.0).

Также разработан комплект программного обеспечения (SDK), содержащий необходимые программные инструменты для работы с микропроцессором, в том числе для конвертации обученных нейронных сетей в импульсные нейронные сети.

Нейрочип Neuralink:

Neuralink – это проект Илона Маска, который стартовал в 2016 году. Компания занимается разработкой специального прибора, который способен передавать сигналы мозга по Bluetooth. Это позволит управлять компьютером или смартфоном напрямую, при помощи мозговых импульсов. Впервые прибор показали в июле 2019 г.

Предполагается, что капсула-приемник будет крепиться за ухом, как слуховой аппарат. От нее к мозгу будут идти нитевидные электроды. Всего в мозг имплантируют до 1500 электродов, каждый из которых в 4 раза тоньше человеческого волоса. Один процессор величиной 4 x 4 мм обрабатывает информацию с 10 тыс. электродов. Кабель USB-C обеспечит максимальную пропускную способность для передачи данных.

Специальный чип позволит парализованным людям использовать смартфоны и другие устройства. Технологию несколько лет тестировали на животных. И в начале 2024 года Компания Илона Маска Neuralink вживила «умный» чип Telepathy (телепатия) в мозг первому человеку.

Зеленый свет ученым дали в мае 2023 года. Осенью Neuralink открыла программу для добровольцев. Участвовать в ней могли люди с параличом из-за травмы спинного мозга или боковым амиотрофическим склерозом.

Прорыв в работе Neuralink Маск анонсировал в соцсети: «Первыми пользователями станут те, кто потерял возможность двигаться. Представьте, что Стивен Хокинг мог бы общаться быстрее, чем машинистка или аукционист». *Как это работает:*

Пациенту вживили чип №1, это первый продукт Neuralink, он называется Telepathy. Это небольшое устройство размером с несколько монет. В нем находится процессор, который подключается к мозгу с помощью короткой ленты. Она состоит из 64 нитей, которые в несколько раз тоньше человеческого волоса. Их делают из материала, который помогает избежать воспаления и отторжения организмом. На нитях 1024 гибких электрода — столько нет ни у одного подобного гаджета.

Устройство получает электрические сигналы мозга через электроды. Они записывают данные от нейронов и преобразуют их в цифровой код. Затем информация о том, что человек хочет подвигаться, передается в приложение на смартфоне.

Первую версию чипа нужно было подключать к компьютеру через кабель USB-C. Сейчас устройство стало беспроводным — первым среди аналогичных чипов. Без кабеля теперь можно не только передавать данные, но и заряжать чип. Батареи хватает на пару часов. Подзарядить ее можно, например, с помощью специальной кепки.

Заключение

Основная идея заключается в том, что нейрочипы — это микроэлектронные системы, которые могут имитировать работу нейронов, что позволяет им осуществлять параллельные вычисления. Этот способ организации вычислений требует разработки программ как набора взаимодействующих процессов, которые работают одновременно. Нейрочипы способны к самообучению и адаптации в реальном времени. В области электротехники их можно использовать для обработки сигналов, управления системами, анализа данных и других задач, что способствует повышению производительности и энергетической эффективности управляющих систем.

Исследования нейронных клеток и электротехники представляют собой перспективное направление, способствующее инновациям, потенциально влияющим на различные аспекты человеческой жизни. Важно продолжать работу в этой области, учитывая этические факторы и факторы безопасности, чтобы обеспечить максимальную пользу и минимизировать риски для общества.

Список литературы:

1. Агапитов, В. А. Нейропротезирование: современные достижения и перспективы / В. А. Агапитов, Н. В. Зайцева // Журнал нейронаук. – 2016. – № 12(4). – С. 45-55.
2. Иванов, И. С. Интерфейсы «мозг-компьютер»: от научных исследований к практике / Иванов, И. С., М. А. Петрова // Вестник нейрохирургии. – 2018. – № 15(2). – С. 112-119.
3. Ковалев, А. Н. Нейрочипы: возможности и вызовы / А. Н. Ковалев // Нейрофизиология. – 2020. – № 52(1). – С. 23-34.
4. Никифоров, О. П. Подходы к разработке нейрочипов и их применение / О. П. Никифоров // Neurotechnology. – 2021. – № 10(1). – С. 15-27.
5. Pfurtscheller, G., & Neuper, C. (2001). «Motor imagery and direct brain–computer communication». Proceedings of the IEEE, 89(7), 1123-1134. doi:10.1109/JPROC.2001.932508.

© Поплавская П. С., Демкина Е. И., 2024

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫПАРИВАНИЯ ЧЕРНЫХ СУЛЬФАТНЫХ ЩЕЛОКОВ

доктор техн. наук, профессор **Казаков Владимир Григорьевич**,
канд. техн. наук, доцент **Громова Екатерина Николаевна**,
аспирант **Максимов Вадим Сергеевич**,
Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики.
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. На эффективность мероприятий по повышению производительности выпарных батарей целлюлозно-бумажных комбинатов влияет целый ряд факторов, связанных с образованием накипи на теплообменных поверхностях выпарных аппаратов.

В настоящей статье рассматривается возможность включения в схему выпарной батареи теплообменных аппаратов смешения кавитационно-вихревого типа. Это решение позволит достичь повышения производительности выпарной батареи и снижения расхода греющего пара.

Ключевые слова: выпарная батарея, выпарной аппарат, выпаривание, кавитационно-вихревой теплообменник, кавитатор, черный щелок.

IMPROVEMENT OF THE EVAPORATION PROCESS OF BLACK SULFATE LIQUORS

Doctor of Technology, Professor **Kazakov Vladimir Grigoryevich**,
PhD in Technology, Associate Professor **Gromova Ekaterina Nikolaevna**,
PhD Student **Maximov Vadim Sergeevich**,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. The effectiveness of measures to increase the productivity of evaporation batteries of pulp and paper mills is influenced by a number of factors related to the formation of scale on the heat exchange surfaces of evaporators.

In this article, the possibility of including cavitation–vortex mixing heat exchangers in the evaporation battery circuit is considered. This solution will allow to achieve an increase in the performance of the evaporative battery and reduce the consumption of heating steam.

Keywords: evaporation battery, evaporation apparatus, evaporation, cavitation vortex heat exchanger, cavitator, black liquor.

Практика эксплуатации выпарных станций в целлюлозной промышленности показала, что выпарные батареи, как правило, работают при сниженной по сравнению с проектной производительностью по выпаренной воде на 30-50 % и с повышенным удельным расходом греющего пара [1].

Причинами этому могут быть:

- низкая производительность подогревателей щелока из-за попадания неконденсирующихся газов в теплообменники с вторичным паром;
- низкая производительность выпарных аппаратов из-за интенсивного зарастания теплообменной поверхности осадками различного морфологического и химического составов;
- низкая скорость падающей пленки, которая выбрана из условий предотвращения «сухой стенки» вследствие большой длины кипяtilьных труб.

При этом скорость падающей пленки должна находиться в пределах 1,5 – 2,0 м/с.

На основе анализа работы выпарных батарей по проведенным расчетам, литературным данным и опыту эксплуатации нами предлагаются следующие пути совершенствования оборудования с целью интенсификации и повышения эксплуатационной надежности работы выпарной батареи [2].

В настоящее время выпарные аппараты с падающей пленкой находят все большее распространение в производстве целлюлозы при переработке черных сульфатных щелоков. Принятые к эксплуатации конструкции выпарных аппаратов характеризуются низкими надежностью и энергетической эффективностью. Во-первых, это связано с тем, что элемент принудительной циркуляции введен в выпарной аппарат для исключения режима работы в условиях «сухой стенки». Между тем, расчеты по оптимизации работы выпарных установок по приведенным затратам показывают, что скорости потока черного щелока должны быть существенно выше принимаемых и составляют 2 – 2,5 м/с. В этом случае КТП может быть существенно выше и достигать величин 2000 – 2500 Вт/м²·°С.

Во-вторых, распределение раствора по поверхности теплообмена далеко до идеального, что может приводить к нарушению гидравлического режима. Нарушение гидравлического режима может привести к зарастанию теплообменных поверхностей вплоть до «запечатывания» труб, особенно в условиях интенсивной кристаллизации на теплообменных поверхностях осадками при пластинчатых поверхностях.

Кроме того, принятые в эксплуатации теплообменные поверхности ламельного типа сложны для ремонта. Поэтому, в последнее время при модернизации концентраторов отдают предпочтение трубчатым поверхностям теплообмена как надежным в эксплуатации и доступным для ремонта.

Устранение перечисленных недостатков возможно при трубчатой конструкции кипяtilьных труб с шнековыми распределителями потоков, обеспечивающими циклонно-пленочное движение.

Рассмотрим технические решения, направленные на модернизацию оборудования, для решения указанных проблем [3, 4].

1. Выполнение реконструкции выпарных аппаратов с целью обеспечения

скорости падающей пленки до 2– 2,5 м/с.

Для этого возможно нарастить верхнюю греющую камеру и в качестве распределительных устройств предусмотреть вставки шнекового типа. Для обеспечения рекомендуемой скорости течения пленки заменить циркуляционный насос. Такая реконструкция выпарных аппаратов позволит не только увеличить КТП в выпарных аппаратах, но и снизить скорость накипеобразования. Увеличение КТП достигается путем турбулизации потока щелока в пристеночном слое и повышением числа Рейнольдса. В стабилизацию КТП во времени вносит свой вклад замедление накипеобразования.

2. Установка для подогрева черного щелока теплообменников смешения.

Для успешного решения проблем интенсификации выпарной установки и повышения надежности ее работы предлагается использовать подогреватели смешения кавитационно-вихревого типа, разработанные на кафедре промышленной теплоэнергетики специально для нагрева раствора щелоков целлюлозного производства. Эти теплообменники прошли с положительным результатом испытание в условиях выпарной батареи Архангельского ЦБК [5].

КВТ представляет собой теплообменник смешения, работающий на принципе регулируемой кавитационной эрозии. Опытный аппарат данного типа был включен в работу в составе ВВУ-4 АО «АЦБК».

К теплообменнику для регенеративного нагрева черного щелока предъявляются следующие требования:

- компактность;
- хорошее перемешивание раствора черного щелока с конденсирующимся водяным паром;
- возможность нагрева черного щелока с низким недогревом;
- низкие капитальные затраты;
- высокая эксплуатационная надежность.

Вышеуказанные требования удовлетворяются за счет сочетания в КВТ вихревого эффекта с кавитационной эрозией. Вихревые аппараты смешивающего типа компактны и характеризуются малой величиной гидравлического сопротивления. В КВТ необходимо обеспечить полное перемешивание греющего конденсирующегося пара и раствора.

С целью полного перемешивания в КВТ совмещается вихревой эффект за счет тангенциального подвода пара и регулируемая кавитационная эрозия. Последняя приводит не только полному перемешиванию, но и к самоочистке аппарата. Для получения кавитационной эрозии необходимо создать развитое кавитационное течение. Развитым кавитационным течением или суперкавитацией называется такая форма обтекания тела, при которой за телом образуется единая полость – каверна, содержащая, как правило, газы и пары. Для создания кавитации в испытываемом КВТ применены кавитаторы, общий вид которого представлен на рисунке (рис. 1).

Кавитаторы имеют профиль суперкавитирующего крыла и снабжены отверстиями для подвода пара к циклонной камере диаметром 10 мм. Данная конструкция кавитатора с острой входной кромкой позволяет получить каверну

по всей стороне разрезания крыла, и что особенно важно, за ним, образуя полость каверны с пониженным давлением.

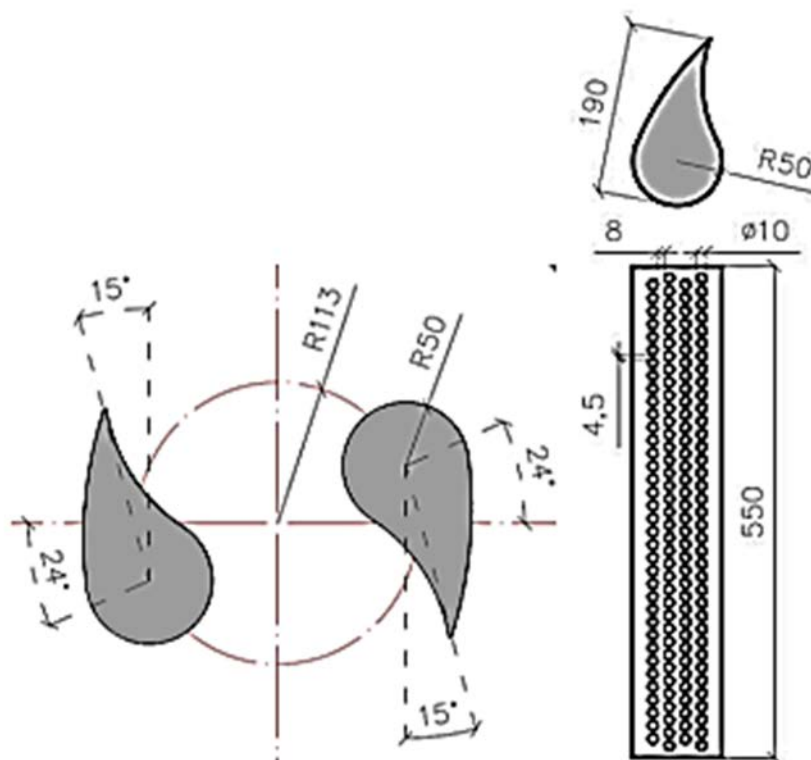


Рисунок 1. Общий вид кавитатора

Из опытных данных угол между плоскостью крыла и набегающим на него потоком принимаем 15–16 град. Принцип действия, основанный на использовании кавитатора, позволяет также воздействовать на физико-химические свойства раствора: кавитация приводит к разрушению крупных молекул органики. Органика в растворе приводит к вспениванию растворов черного щелока, большому брызгоуносу и, как следствие, зарастанию осадками межтрубного пространства накипью, с большой величиной адгезии. В результате наличия органики создаются серьезные осложнения в эксплуатации, как в части снижения производительности выпарных батарей, так и при удалении накипи. Разрушение органики за счет кавитации позволяет добиться снижения накипеобразования в выпарных аппаратах.

На рисунке 2 показан эскиз опытного КВТ, разработанный специалистами Высшей школы технологии и дизайна [5].

КВТ работает следующим образом. Раствор через входные патрубки 3 попадает в циклонную камеру смешения 1. Тангенциально закрученный поток с большой скоростью обтекает кавитаторы 4, создавая за ним кавитационные каверны, которые схлопываются за кавитаторами вблизи стенок циклонной камеры смешения. При этом создаваемое разрежение в 57 каверне способствует подсасыванию струек пара через отверстия, расположенные в задней кромке кавитатора и их перемешиванию с раствором. Подача пара происходит через паровой патрубок 5, расположенный по оси циклонной камеры в зоне

минимального давления. Схлопывание пузырьков пара и воздуха на стенке камеры смешения теплообменника или вблизи ее приводит к кавитационной эрозии, что в сумме с тангенциально закрученным потоком препятствует отложению осадков. С целью стабилизации потока на выходе с аппарата, КВТ заканчивается стабилизатором потока – улиточным диффузором 2.

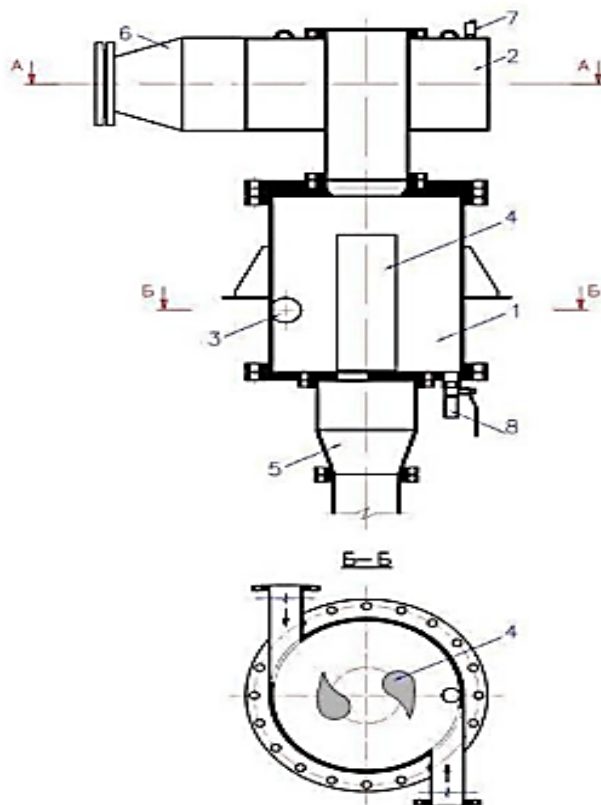


Рисунок 2. Общий вид кавитационно-вихревого теплообменника смешения

Материал деталей, находящихся в контакте со средами для опытного теплообменника, выбран из углеродистой стали с целью удешевления конструкции. Проектом предусмотрен нагрев черного щелока в КВТ перед его подачей в выпарной аппарат (ВА) до температуры на 3-5 °С ниже температуры кипения в ВА.

Таким образом, использование теплообменных аппаратов смешения кавитационно- вихревого типа в схемах выпарных станций будет способствовать снижению скорости накипеобразования на поверхностях теплообмена за счет явления кавитационной эрозии, а также позволит существенно снизить количество выделяющихся летучих органических соединений за счет окисления части связанного в растворе органического осадка.

Список литературы:

1. Казаков, В. Г. Выпаривание растворов целлюлозного производства / В. Г. Казаков, П. В. Луканин, Е. Н. Громова. – Санкт-Петербург: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2022. – 192 с. – Текст: непосредственный.

2. Луканин, П. В. Энергосберегающие технологии на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности: специальность 05.14.04 «Промышленная теплоэнергетика»: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Луканин Павел Владимирович; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет – Санкт-Петербург, 2022. – 357 с. – Текст: непосредственный.
3. Бойков, Л. М. Теплотехника целлюлозно-бумажного производства. Теплоэнергетические и теплотехнологические установки / Л. М. Бойков, Н. С. Нечаев. – Санкт-Петербург: СПбГУПТД ВШТЭ, 2017. – 383 с. – Текст: непосредственный.
4. Мовсисян, В. Л. Выпарные аппараты и схемы выпарных станций ЦБП / В. Л. Мовсисян, В. А. Суслов. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1980. – 53 с. – Текст: непосредственный.
5. Патент на полезную модель № 88785 U1 Российская Федерация, МПК F28D 7/00. Теплообменник: № 2009127373/22: заявл. 16.07.2009: опубл. 20.11.2009 / Казаков В. Г., Луканин П. В., Смирнова О. С., Копытов Г. Г. – 4 с. – Текст: непосредственный.

© Казаков В. Г., Громова Е. Н., Максимов В. С., 2024

СОВРЕМЕННАЯ АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

студент **Косенков Владислав Алексеевич**,
науч. руководитель: ст. преподаватель **Смирнов Леонид Владимирович**,
Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна,
Высшая школа технологий и энергетики
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассматриваются сравнительные характеристики атомной энергетики на примере работающих атомных электростанций, расположенных на территории Российской Федерации, Европейского Союза, Китая и Америки.

Ключевые слова: атомные станции, энергия, эффективность.

MODERN NUCLEAR ENERGY

Student **Kosenkov Vladislav Alekseevich**,
Academic Advisor: Senior Lecturer **Smirnov Leonid Vladimirovich**,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. The paper examines comparative characteristics of nuclear energy using the example of operating nuclear power plants located in the Russian Federation, the European Union, China and America.

Keywords: nuclear power plants, energy, efficiency.

Истоки атомной энергетики уходят в начало XX века с открытием радиоактивных элементов, таких как уран и радий. В 1896 году Анри Беккерель открыл явление радиоактивности, что позже положило начало изучению ядерной физики. В 1938 году гамма-излучение урана, которое производилось во время ядерного деления, открыли немецкие физики Отто Ган и Фрица Штрассман. Это открытие стало основой для создания ядерных реакторов [1].

Одним из самых значимых моментов в истории атомной энергетики стало осуществление первой контролируемой цепной реакции. В 1942 году в ходе Манхэттенского проекта, проводимого в США, физики, включая Энрико Ферми, создали первый ядерный реактор, известный как «Чикагская Поленица». Реактор состоял из урановых стержней и графитового замедлителя, позволяющего замедлить нейтроны и поддерживать цепную реакцию. Это событие стало судьбоносным и положило начало не только атомной энергетике, но и разработке ядерного оружия [2].

Обнинская атомная станция (БАЛА), запущенная в 1954 году, считается первой в мире атомной электростанцией, ставшей источником энергии для бытовых нужд. 27 июня 1954 года была введена в эксплуатацию. Разработана под руководством советского ученого Игоря Курчатова, который сыграл ключевую роль в развитии атомной энергетики в СССР. Обнинская АЭС была создана не только как источник энергии, но и как экспериментальная площадка для изучения операций ядерных реакторов и разработки технологий, которые впоследствии использовались в других АЭС. Эта станция стала символом мирного использования атомной энергии и способствовала дальнейшему развитию ядерной технологии. Запуск Обнинской АЭС положил начало новой эры в энергетике. Он продемонстрировал возможности атомной энергетики, что дало толчок к строительству новых атомных станций как в Советском Союзе, так и за его пределами. Станция работала до 2002 года, после чего была остановлена, но долгое время оставалась важным объектом научных исследований и образовательной деятельности [3].

Несмотря на значительный прогресс в области науки и техники, атомная энергетика столкнулась с серьезными вызовами. 12 декабря 1952 года в Канаде произошла первая в мире серьезная авария на атомной электростанции. Техническая ошибка персонала АЭС Чок-Ривер (штат Онтарио) привела к перегреву и частичному расплавлению активной зоны. Тысячи продуктов деления попали во внешнюю среду, а около 3800 кубических метров радиоактивно загрязненной воды было сброшено прямо на землю, в мелкие траншеи неподалеку от реки Оттавы. Авария на Чернобыльской АЭС в 1986 году стала одним из самых катастрофических событий в истории ядерной энергетики. В результате взрыва и последующих выбросов радиоактивных веществ произошло загрязнение огромных территорий на Украине и соседних странах. Это повлияло на международные нормы и правила безопасности в области атомной энергетики. В 2011 году инцидент на Фукусиме тоже оказал огромный эффект на общественное мнение. Последствия землетрясения и цунами привели к повреждению реакторов и утечке радиации. Эти события усилили опасения общественности относительно безопасности атомной энергетики и привели к пересмотру политики в ряде стран, таких как Германия, которая приняла решение о поэтапном закрытии всех своих атомных станций. Сейчас атомная энергетика сталкивается с новыми вызовами, включая необходимость модернизации стареющих реакторов, увеличение требований по безопасности и управлению отходами, а также противодействие изменению климата. В то же время продолжает развиваться применение новых технологий, таких как малые модульные реакторы (SMR) и технологии самозащиты, что открывает новые горизонты для атомной энергетики как в странах с существующим ядерным потенциалом, так и в странах, которые только начинают свой путь в этой области [4 - 6].

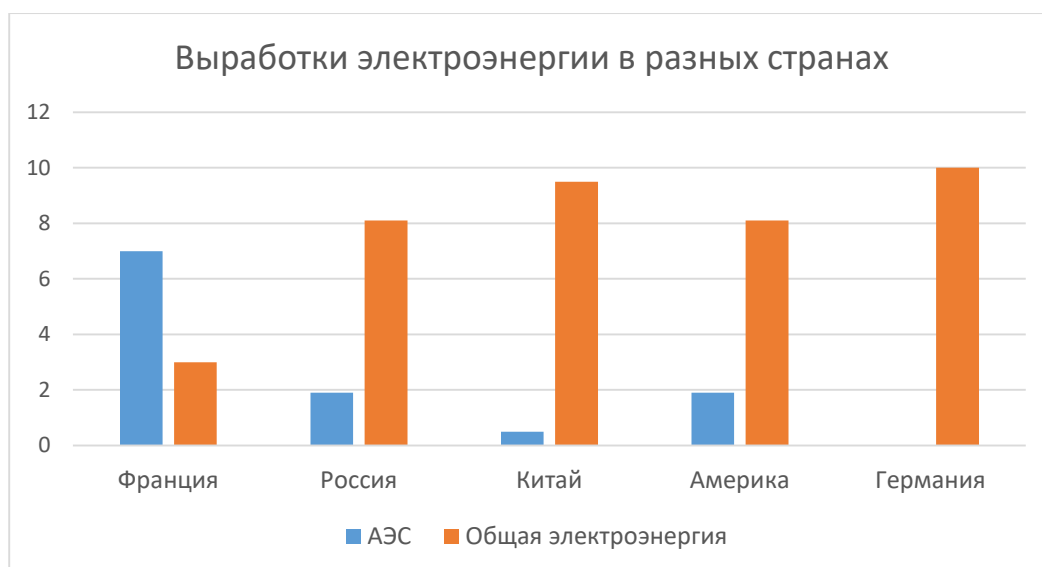


Рисунок 1. Диаграмма выработки энергии АЭС

В данный момент развивающиеся страны и страны, которые задолго делали ставки на развитие атомной энергетики, используют энергию ядра, но есть и обратные примеры, где ядерные программы сворачивают. Для сравнения, диаграмма выработки энергии АЭС в странах, по сравнению к общей выработке электроэнергии некоторых стран, рис. 1.

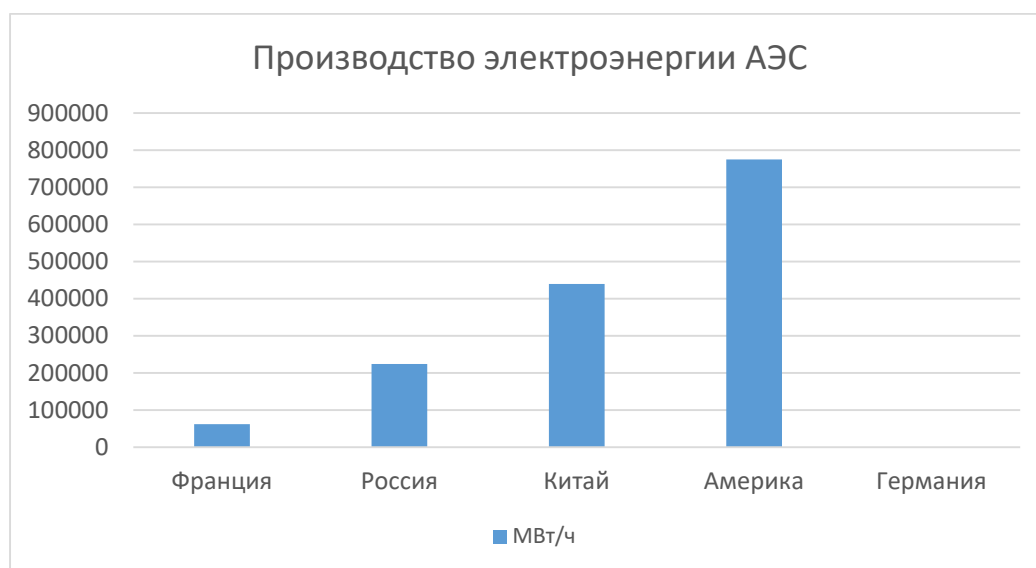


Рисунок 2. Диаграмма производства электроэнергии АЭС

Изучая соотношения, можно прийти к неправильным выводам. Поэтому для увеличения степени наглядности стоит детальным образом рассмотреть количество произведенной энергии этими странами, рис. 2.

Теперь, когда у нас есть некие представления об объемах производства электроэнергии, можно их проанализировать. После нефтяного кризиса 1973 года Франция взяла курс на развитие атомной энергетики, и сделала ее основным источником электроэнергии в стране, из-за чего общее количество производства атомной электроэнергии во Франции большое, но из-за того, что выработка

электроэнергии превышает потребности Франции на 20 %, особо больших значений они не перешагивают. Следующая страна – это Россия. У нас в стране хоть и производится большое количество атомной электроэнергии, но по сравнению с Китаем и Америкой мы особо не вырываемся. Все из-за того, что в нашей стране более развиты парогазовые электростанции, которые дешевле и имеют больший срок эксплуатации. Но при этом мы являемся поставщиками как ядерного топлива, так и ядерных электроблоков. В 2024 году на собрании стран главы России, Турции, Ирана, Индии и Египта обсудили строительство АЭС. Например, строительство первой АЭС в Турции «Аккую» и «ЭльДабаа» в Египте. Помощь в постройке 2 и 3 энергоблока на АЭС «Бушер» в Иране. Также Россия активно развивает атомную энергетику, в пример можно привести плавучую атомную теплоэлектростанцию «Академик Ломоносов», состоящую из плавучего энергоблока, который может опреснять морскую воду (от 40 до 240 тыс. м³ пресной воды в сутки).

В случае Китая мы видим переход от одного вида выработки к другому. Хотя в Китае и небольшой процент выработки АЭС, но они стремятся его увеличить. Связано это прежде всего с экологией Китая, ведь в Китае большое количество угольных электростанций. Поэтому Китай стремится перейти к «чистой энергии». Атомная энергетика США является крупнейшей в мире из-за многих факторов. Развитая инфраструктура, технологические достижения, развитая образовательная и научная база, развитые компании, работающие вне Америки и, конечно, экономическая поддержка. Из-за всех этих факторов Америка является лидером на рынке атомной энергетики. Ну и самый печальный пример – Германия. На 2023 год Германия закрыла 3 последних АЭС в стране. После аварии на Фукусиме-1 Германия с 2011 года по 2023 закрывала все свои атомные электростанции. Такая тенденция наблюдается по всей Европе и Германия одна из первых, кто закрыла вообще все АЭС на своей территории [7–9].

С учетом глобальных климатических изменений атомная энергетика может сыграть ключевую роль в переходе к устойчивым источникам энергии. В условиях необходимости сокращения выбросов углерода атомные электростанции представляют собой альтернативу, способную обеспечить базовую нагрузку в энергетической системе без значительного ущерба для окружающей среды. Согласно оценкам экспертов, для достижения целей по снижению выбросов углерода мировое сообщество должно увеличить долю атомной энергетики в структуре энергоснабжения, что позволит значительно снизить зависимость от ископаемых видов топлива, чем в свою очередь и занимается в настоящее время Китай. Также Франция наряду с Америкой пытаются изменить отношения многих стран к ядерной энергетике, стараясь причислить ее к «чистой». Вводятся в эксплуатацию новые виды реакторов, подписываются контракты по постройке АЭС по всему миру.

Подводя итоги, можно сделать вывод, что атомная энергетика в данный момент активно развивается. Одним из факторов развития является экологическая сторона вопроса, ведь во многих странах сейчас огромные проблемы, связанные с большим выбросом CO₂, а АЭС могут решить эти проблемы.

Список литературы:

1. Letcher T. M. (ed.). Future energy: improved, sustainable and clean options for our planet. – Elsevier, 2020.
2. Kittel J. H. et al. History of fast reactor fuel development //Journal of nuclear materials. – 1993. – Т. 204. – С. 1-13.
3. Фролов, Ю. Ф. История создания первой в мире АЭС: выбор проекта / Ю. Ф. Фролов // Атомная энергия. – 2020. – Т. 128. – №. 1. – С. 52-57.
4. Wasserman H., Solomon N. Killing our own: The disaster of America's experience with atomic radiation. – 2007.
5. Абагян, А. А. Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и ее последствиях, подготовленная для МАГАТЭ / А. А. Абагян //Атомная энергия. – 1986. – Т. 61. – №. 5. – С. 301-320.
6. Арутюнян, Р. В. Системный анализ причин и последствий аварии на АЭС «Фукусима-1» / Р. В. Арутюнян, Л. А. Большов, А. А. Боровой, Е. П. Велихов; Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт». – Москва, 2018. – 407 с.
7. Секачева, А. Б. Тенденции, особенности и проблемы развития атомной энергетики Франции / А. Б. Секачева // Мир новой экономики. – 2021. – №. 3. – С. 85-96.
8. Нигматулин, Б. И. Атомная энергетика в мире. Состояние и прогноз до 2050 года / Б. И. Нигматулин // Глобальная энергия. – 2019. – Т. 25. – №. 4. – С. 6-22.
9. Жучкова, Т. А. Развитие атомной энергетики в мире / Т. А. Жучкова // Инновации и инвестиции. – 2018. – №. 10. – С. 122-125.

©Косенков В. А., 2024

ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ МОДЕРНИЗАЦИИ КОММУНАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

студент **Левштанова Арина Артемовна**,
науч. руководитель: канд. юрид. наук, доцент **Залавская Ольга Михайовна**,
Оренбургский институт (филиал)
Университета им. О. Е. Кутафина (МГЮА)
г. Оренбург, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматриваются потенциальные изменения и улучшения в сфере жилищно-коммунального хозяйства. Основное внимание уделяется анализу материалов, полученных в ходе проведения «правительственного часа», где обсуждались актуальные проблемы и перспективы развития данной отрасли. Кроме того, в статье поднимаются важные вопросы, касающиеся целесообразности и необходимости усовершенствования системы ответственности в сфере ЖКХ. В условиях растущих требований к качеству предоставляемых услуг и повышающихся ожиданий граждан важно пересмотреть существующие механизмы ответственности как со стороны управляющих компаний, так и со стороны органов власти.

Ключевые слова: хозяйство, тарифы, энергоноситель, водоснабжение, водоотведение, ответственность, реформирование.

LEGAL ASPECTS OF MODERNIZATION OF MUNICIPAL INFRASTRUCTURE

Student **Levshtanova Arina Artemovna**,
Academic Advisor: PhD in Juridical, Associate Professor
Zalavskaya Olga Mikhailovna,
Orenburg Institute (branch) O. E. Kutafin University (MGUA)
Orenburg, Russian Federation

Abstract. The article discusses potential changes and improvements in the field of housing and communal services. The main attention is paid to the analysis of materials obtained during the "government hour", where topical issues and prospects for the development of this industry were discussed. In addition, the article raises important questions regarding the expediency and necessity of improving the system of responsibility in the housing and communal services sector. Given the growing demands on the quality of services provided and the increasing expectations of citizens, it is important to review the existing mechanisms of responsibility on the part of both management companies and authorities.

Keywords: agriculture, tariffs, energy, water supply, water supply, sanitation, responsibility, reform.

Исходя из ст. 157 Жилищного кодекса Российской Федерации (далее по тексту – ЖК РФ) установление тарифов в сфере жилищно-коммунального хозяйства (далее по тексту – ЖКХ) осуществляется органами государственной власти субъектов Российской Федерации. Эти органы несут ответственность за утверждение тарифов на коммунальные услуги в соответствии с порядком, установленным федеральным законодательством [1].

Регулируемые организации обязаны ежегодно до 1 мая подавать в соответствующую комиссию заявления о необходимости установления тарифов на следующий год. К заявлению прилагаются обосновывающие документы, которые должны содержать подробные расчеты и аргументацию. После получения заявлений комиссия издает приказ, открывающий тарифное дело. В рамках этого процесса назначаются эксперты, которые будут рассматривать представленные материалы, а также определяются методы регулирования тарифов. В ходе экспертизы эксперты анализируют представленные данные, исключая необоснованные расходы из состава тарифа. Также проводится оценка результатов хозяйственной деятельности организации за предыдущий отчетный период, что позволяет более точно определить обоснованность запрашиваемых тарифов. При формировании тарифов учитываются прогнозируемые изменения цен на энергоносители, а также общие инфляционные тенденции в экономике страны [2, с. 32–33]. Это позволяет обеспечить адекватное реагирование на изменения рыночной ситуации и сохранить финансовую устойчивость организаций. Решение об установлении тарифов принимается коллегиально на заседании правления комиссии путем голосования. Этот этап обеспечивает прозрачность и демократичность процесса, позволяя учесть мнения всех участников [3].

За соблюдением законодательства в сфере ЖКХ и контролем за установленными тарифами следит Федеральная антимонопольная служба (далее по тексту – ФАС России). Она проверяет соответствие действий органов власти и регулируемых организаций требованиям законодательства Российской Федерации, а также принимает меры для устранения нарушений и приведения тарифных решений в соответствие с законом.

Таким образом, процесс установления тарифов в сфере ЖКХ представляет собой многоступенчатую систему, направленную на обеспечение справедливости и прозрачности в ценообразовании на коммунальные услуги, что в свою очередь способствует улучшению качества жизни граждан.

Однако о необходимости государственного регулирования тарифов на жилищно-коммунальные услуги говорили на протяжении долгого времени, что вытекает из материалов научной литературы 2013–2015 годов [4, с. 105].

До 2015 года регулирование тарифов в сфере водоснабжения и водоотведения находилось в компетенции Федеральной службы по тарифам. Эта служба разрабатывала и утверждала методические указания для расчета регулируемых тарифов, при этом согласовывая свои действия с Министерством экономического развития Российской Федерации и Министерством

регионального развития РФ. С 2016 года контроль за тарифами в сфере ЖКХ перешел к ФАС России [5].

С 6 февраля 2023 года вступил в силу новый механизм контроля за процессом формирования и утверждения тарифов на коммунальные услуги. Этот механизм также охватывает исполнение предписаний контрольных органов и реализацию инвестиционных программ в сфере ЖКХ [6]. Кроме того, постановление от 7 ноября 2023 года № 1869 расширило полномочия территориальных органов ФАС, предоставив им возможность проверять обоснованность установленных тарифов. Теперь региональные управления службы, действуя по поручению центрального аппарата, могут проводить внеплановые выездные и документарные проверки в данной области [7].

С 1 июля 2024 года региональные тарифные органы обязаны ежегодно представлять ФАС России отчеты о выполнении инвестиционных программ, которые учитывались при формировании стоимости коммунальных ресурсов. Если в ходе проверок надзорный орган выявит нецелевое использование средств, то соответствующий орган власти региона будет обязан исключить выявленную сумму из тарифа по предписанию ФАС. Это нововведение направлено на повышение прозрачности и эффективности расходования бюджетных средств в сфере ЖКХ, а также на защиту интересов потребителей.

Однако 24 октября 2024 года в Государственной Думе (далее по тексту – ГД РФ) прошел «правительственный час» по вопросам состояния коммунальной инфраструктуры. В начале «правительственного часа» председатель ГД РФ В. В. Володин подчеркнул необходимость парламентского контроля над тарифами в сфере ЖКХ. Он отметил, что Государственная Дума не утверждает тарифы, это делают федеральные органы, такие как ФАС России и региональные энергетические комиссии. Тем не менее, парламент должен следить за изменениями тарифов и анализировать их обоснование. Вячеслав Викторович также указал, что регионы не должны уклоняться от ответственности за проблемы в ЖКХ, несмотря на то, что это в первую очередь забота местных и региональных властей. Учитывая многочисленные жалобы на работу поставщиков тепла и воды, было решено обсудить ситуацию и предложить инициативы Правительству России. В. В. Володин отметил различия в управлении коммунальными услугами в разных городах: в Москве, Санкт-Петербурге и Казани услуги остаются в ведении государства, тогда как в Самаре они переданы концессионерам, такую политику необходимо пересмотреть [8].

Стоит подчеркнуть, что установление более строгого парламентского контроля может привести к повышению прозрачности в формировании тарифов и улучшению их обоснованности. Это может снизить количество необоснованных повышений цен на коммунальные услуги. При этом уточнение ответственности региональных властей может способствовать более активному решению проблем в сфере ЖКХ. Если регионы будут знать, что они под контролем, это может стимулировать их к более эффективному управлению ресурсами и улучшению качества услуг. Активное участие парламента в контроле за тарифами может повысить доверие граждан к государственным институтам. Люди будут видеть, что их интересы учитываются и что власти

готовы реагировать на их жалобы. Таким образом, акцент на парламентском контроле и ответственности регионов может привести к положительным изменениям в сфере ЖКХ, улучшая качество услуг и повышая уровень доверия граждан к власти.

Так же в мероприятии принял участие заместитель Председателя Правительства М. Ш. Хуснуллин, который подчеркнул важность упорядочивания коммунального сектора для успешного жилищного строительства. Он предложил уточнить законодательство по терминологии «мастер-план», отметив, что устаревшие генеральные планы могут привести к потере средств при модернизации коммунальной инфраструктуры. Кроме того, им была подчеркнута необходимость к концу года утвердить упрощенный «мастер-план» и схемы сетей, чтобы определить количество жителей и работников в населенных пунктах на 2030 и 2036 годы. Марат Шакирзянович выступил за ужесточение ответственности за преступления в сфере ЖКХ, подчеркивая несоответствие мер наказания для кражи воды и других преступлений.

Выявление преступлений в сфере ЖКХ актуально ввиду сложности организации и обилия нормативно-правового регулирования. Основными способами преступлений являются: составление фиктивных договоров, неперечисление денежных средств поставщикам коммунальных услуг, выставление недействительных счетов, завышение стоимости работ и тарифов, а также хищение денежных средств и товарно-материальных ценностей. Типичная ситуация заключается в удержании управляющей компанией или товариществом собственников жилья собранных средств на своих счетах вместо перечисления поставщикам ресурсов в установленные сроки. В сфере ЖКХ общественно опасные деяния квалифицируются как мошенничество, присвоение или растрата и использование управленческих полномочий в ущерб организации [9]. Большинство нарушений при этом не образуют состав преступления, а квалифицируются как административные правонарушения.

Однако следует подчеркнуть, что 29 мая 2024 года вступили в силу поправки в ст. 7.23 Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях (далее по тексту – КоАП РФ) [10]. Важно заметить, что законопроект, предусматривающий поправки в ст. 7.23 КоАП РФ, в Государственной Думе РФ рассматривался в период с 2021 по 2024 год [11]. В новой редакции ст. 7.23 КоАП РФ предусматривает административную ответственность за нарушение нормативного уровня или режима обеспечения коммунальными услугами организациями-поставщиками.

Итак, законодательное регулирование ответственности в сфере жилищно-коммунального хозяйства, включая как уголовную, так и административную ответственность, находится на этапе активного формирования и совершенствования. Это свидетельствует о том, что правовая база в данной области продолжает эволюционировать, адаптируясь к современным вызовам и требованиям общества. Важно отметить, что изменения в законодательстве

направлены на улучшение качества предоставляемых услуг, защиту прав потребителей и обеспечение прозрачности в работе коммунальных служб.

Следует уделить внимание вопросу внедрения современных цифровых технологий с целью комплексного обновления сферы ЖКХ. В частности, в настоящее время планируется создание единой цифровой платформы, которая будет использоваться для учета ресурсов. Это позволит значительно повысить прозрачность и эффективность управления коммунальными услугами. Кроме того, применение умных счетчиков обеспечит более точное измерение потребления ресурсов, что, в свою очередь, улучшит взаимодействие между поставщиками услуг и потребителями.

Особое внимание в настоящее время важно уделять схемам теплоснабжения, водоснабжения и водоотведения. Эти схемы играют ключевую роль в общей эффективности работы системы ЖКХ, так как их качество напрямую сказывается на надежности и устойчивости предоставляемых услуг. В связи с этим в ходе «правительственного часа» было объявлено о разработке нового законопроекта, который будет предусматривать ежегодное обновление данных схем, что позволит оперативно учитывать изменения в инфраструктуре и адаптироваться к потребностям населения.

К сожалению, более 40 % коммунальных сетей в стране находятся в критическом состоянии и требуют замены ввиду значительного уровня износа. В ответ на эту проблему был запущен федеральный проект «Модернизация коммунальной инфраструктуры», который направлен на решение этих задач. Проект включает в себя не только замену устаревшего оборудования и сетей, но и внедрение инновационных решений и технологий. Это должно привести к улучшению качества предоставляемых услуг, повышению надежности инфраструктуры и, в конечном итоге, к улучшению уровня жизни граждан [12].

Согласно новой национальной цели, объявленной Президентом Российской Федерации, к 2030 году в различных регионах страны запланирована реконструкция и модернизация как минимум 2 тысяч объектов систем питьевого водоснабжения и водоподготовки. Кроме того, в рамках данного проекта будут обновлены сопутствующие элементы коммунальных сетей и инженерных коммуникаций, что является важной составляющей всей инфраструктуры. Эта масштабная инициатива будет реализована в рамках нового национального проекта под названием «Инфраструктура для жизни», а также в рамках федерального проекта, направленного на комплексное обновление коммунальной инфраструктуры. Основная цель данных мероприятий — улучшение качества предоставляемых услуг населению, повышение надежности и устойчивости систем водоснабжения, а также обеспечение доступа к чистой питьевой воде для всех граждан.

Реконструкция и модернизация объектов водоснабжения не только повысят уровень комфорта и безопасности для жителей, но также окажут положительное влияние на здоровье населения и экологическую ситуацию в регионах. Важно отметить, что эти изменения будут способствовать созданию более устойчивой и эффективной инфраструктуры, что в свою очередь станет

основой для дальнейшего социально-экономического развития регионов России [13, с. 62].

Тем не менее, обсуждение необходимости усовершенствования системы жилищно-коммунального хозяйства становится все более актуальным. О. В. Морозов, председатель Комитета по контролю, акцентирует внимание на важности быстрого реагирования в отопительный сезон и необходимости пересмотра тарифных механизмов. С. А. Пахомов выделяет две ключевые задачи: обеспечение стабильности в отопительном сезоне и модернизацию ЖКХ с акцентом на повышение энергоэффективности. Н. Г. Шульгинов, председатель Комитета по энергетике, призывает к повышению безопасности в отопительный сезон, а также к модернизации инфраструктуры и выделению бюджетных средств на реконструкцию устаревших объектов. Он отметил, что без этих мер невозможно обеспечить надежное теплоснабжение.

Представители различных фракций в ходе «правительственного часа» также высказывают свои инициативы. Р. М. Лябихов предлагает передать бесхозные сети в управление поставщикам услуг, чтобы устранить проблему неэффективного управления. Это предложение акцентирует внимание на проблеме бесхозяйственности, которая часто приводит к ухудшению качества услуг и увеличению затрат на их содержание. Передача управления профессиональным поставщикам может повысить ответственность и эффективность эксплуатации сетей, что в свою очередь может улучшить качество предоставляемых услуг населению.

В. А. Кошелев указывает на критический уровень износа инфраструктуры, что требует немедленных действий для ее восстановления, чтобы предотвратить возможные аварии и сбои в теплоснабжении. А. С. Аксененко предлагает разработать «дорожную карту» для модернизации ЖКХ, которая бы систематизировала подходы и этапы преобразований. Это предложение важно, поскольку оно предлагает четкий план действий, который может включать этапы, приоритеты и необходимые ресурсы для реализации модернизации. Такой подход может помочь избежать хаотичных и несогласованных действий, которые часто приводят к неэффективным результатам. Таким образом, обсуждение вопросов модернизации и реформирования системы ЖКХ находит поддержку у представителей различных политических сил, что свидетельствует о важности этой темы для общества и необходимости совместных усилий в ее решении.

Необходимо подчеркнуть, что поддержка и модернизация жилищно-коммунального хозяйства являются одной из ключевых задач, поставленных Президентом. Эта сфера требует особого внимания, так как от ее состояния напрямую зависит качество жизни граждан и устойчивое развитие регионов. Исполнение поручений Президента имеет критическое значение для достижения положительных результатов в этой области, и именно на этом следует сосредоточить усилия всех уровней власти. В связи с этим считаем целесообразным осуществить предложенную В. В. Володиным меру по направлению половины сэкономленных средств от аннулированных бюджетных кредитов на модернизацию ЖКХ в регионах. Эти средства могут быть

использованы для обновления устаревших систем, повышения энергоэффективности и улучшения качества предоставляемых услуг населению.

Кроме того, необходимо внимательно рассмотреть инвестиционные аспекты в сфере ЖКХ. Привлечение частных инвестиций и создание благоприятных условий для бизнеса могут существенно ускорить процессы модернизации и повысить уровень обслуживания. Важно разработать механизмы, которые позволят инвесторам участвовать в развитии этой отрасли, а также обеспечить прозрачность и эффективность использования бюджетных средств. Таким образом, комплексный подход к модернизации ЖКХ, включающий как бюджетное финансирование, так и частные инвестиции, станет залогом успешного решения актуальных проблем в этой сфере.

Список литературы:

1. Жилищный кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 29 декабря 2004 года № 188-ФЗ в ред. Федерального закона от 8 августа 2024 года № 238-ФЗ // СЗ РФ. - 2005. – № 1 (часть I). – Ст. 14; СЗ РФ. – 2024. – № 33 (часть I). – Ст. 4934. – Текст: непосредственный.
2. Залавская, О. М. Гражданско-правовое регулирование теплоснабжения в сфере жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации: теоретические и практические аспекты [Текст]: монография / О. М. Залавская; [М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования «Московский гос. юридический ун-т им. О. Е. Кутафина (МГЮА)», Оренбургский ин-т (фил.)]. – Оренбург: Университет, 2013. – 149 с. ISBN 978-5-4417-0375-8.
3. О ценообразовании в сфере теплоснабжения: Постановление Правительства Российской Федерации от 22 октября 2012 года № 1075 в ред. Постановления Правительства Российской Федерации от 17 октября 2024 года № 1388 // СЗ РФ. – 2012. – № 44. – Ст. 6022; СЗ РФ. – 2024. – № 43. – Ст. 6409. – Текст: непосредственный.
4. Савотина, С. В. Необходимость государственного регулирования тарифов на жилищно-коммунальные услуги в условиях рыночной экономики / С. В. Савотина // Вестник Томского государственного педагогического университета. – 2013. – № 12 (140). – С. 104 – 106. – Текст: непосредственный.
5. О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации: Постановление Правительства Российской Федерации от 28 октября 2016 года № 1098 // СЗ РФ. – 2016. – № 45 (часть II). – Ст. 6263. – Текст: непосредственный.
6. О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 27 июня 2013 года № 543: Постановление Правительства Российской Федерации от 4 февраля 2023 года № 163 в ред. Постановления Правительства Российской Федерации от 11 июня 2024 года № 781 // СЗ РФ. – 2023. – № 7. – Ст. 1134; СЗ РФ. – 2024. – № 25. – Ст. 3497. – Текст: непосредственный.
7. О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации: Постановление Правительства Российской Федерации от 7 ноября

2023 года № 1869 // СЗ РФ. – 2023. – № 46. – Ст. 8261. – Текст: непосредственный.

8. В Государственной Думе прошел «правительственный час» по вопросам состояния коммунальной инфраструктуры // Официальный сайт Государственной Думы Российской Федерации URL: <http://duma.gov.ru/news/60228/> (дата обращения: 27.11.2024 года). – Текст: электронный.

9. Уголовный кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 13 июня 1996 года № 63-ФЗ в ред. Федерального закона от 9 ноября 2024 года № 387-ФЗ // СЗ РФ. – 1996. – № 25. – Ст. 2954; СЗ РФ. – 2024. – № 46. – Ст. 6915. – Текст: непосредственный.

10. О внесении изменений в статью 7.23 Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях: Федеральный закон от 29 мая 2024 года № 116-ФЗ // СЗ РФ. – 2024. – № 23 (часть I). – Ст. 3054. – Текст: непосредственный.

11. О внесении изменений в статью 7.23 Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях: законопроект № 1143914-7 // Система обеспечения законодательной деятельности URL: <https://sozd.duma.gov.ru/bill/1143914-7> (дата обращения: 27.11.2024 года). – Текст: электронный.

12. О формировании проектов законов (решений) о бюджетах бюджетной системы Российской Федерации на 2025 год (на 2025 год и на плановый период 2026 и 2027 годов): Письмо Минфина России от 8 октября 2024 года № 02-05-08/97433 // Официальный сайт Министерства финансов Российской Федерации URL: https://minfin.gov.ru/ru/performance/budget/classandaccounting/npra?id_65=308873-pismo_minfina_rossii_ot_08.10.2024__02-05-0897433_metodicheskie_rekomendatsii_v_tselyakh_podgotovki_proektov_zakonov_reshenii_o_byudzheta_kh_byudzhetnoi_sistemy_rossiiskoi_federatsii_na_2025_god_na_2025_god_i_na_planovyi_period_2026_i_2027_godov (дата обращения: 28.11.2024 года). – Текст: электронный.

13. Ересько, А. Питьеовое водоснабжение. Официальная позиция / А. Ересько. – Текст: электронный // Бюллетень Счетной палаты РФ: электрон. журн. – 2024. – № 10. – С. 61 - 62. – URL: <https://ach.gov.ru/statements/> (дата обращения: 28.11.2024).

© Левштанова А. А., 2024

АВТОМАТИЗАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКОЙ С ПОМОЩЬЮ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ

доктор техн. наук, профессор **Тен Татьяна Леонидовна**,
канд. экон. наук, доцент **Дрозд Владимир Григорьевич**,
Карагандинский университет Казпотребсоюза,
г. Караганда, Республика Казахстан

Аннотация. В статье представлены результаты исследования и моделирования разработки мобильного приложения для решения транспортно-логистических оптимизационных задач экономики. Приводится критериальная оценка сложности применения современных программных средств для решения транспортных задач, что обосновывает актуальность в разработке более удобного и мобильного инструмента для специалиста в области автоматизации такого рода вычислений, с целью решения транспортных задач для торговых компаний различного масштаба. Поэтому рассмотрение способов решения транспортной задачи с использованием мобильных алгоритмических программных средств, с последующим их анализом, является актуальной и перспективной научно-практической задачей.

Ключевые слова: оптимизация, транспортная логистика, мобильное приложение, моделирование, алгоритм, распределение ресурсов.

AUTOMATION OF BUSINESS MANAGEMENT PROCESSES TRANSPORT LOGISTICS USING A MOBILE APPLICATION

Doctor of Technology, Professor **Ten Tatyana Leonidovna**,
PhD in Economics, Associate Professor **Drozd Vladimir Grigorievich**,
Karaganda University of Kazpotrebsouz,
Karaganda, Republic of Kazakhstan

Abstract. The article presents the results of research and modeling of the development of a mobile application for solving transport and logistics optimization problems of the economy. A criterion-based assessment of the complexity of using modern software tools for solving transport problems is given, which justifies the relevance in developing a more convenient and mobile tool for a specialist in the field of automation of such calculations in order to solve transport problems for trading companies of various sizes. Therefore, the consideration of ways to solve the transport problem using mobile algorithmic software, followed by their analysis, is an urgent and promising scientific and practical task.

Keywords: optimization, transport logistics, mobile application, modeling, algorithm, resource allocation.

Транспортно-логистический сектор является одним из наиболее прогрессивных и перспективных с точки зрения развития IT-технологий, идущий наравне с финансовой, банковской сферой и e-commerce. Имеющиеся особенности в деятельности предприятий транспорта и логистики порождают потребность в поиске путей для организации наиболее слаженной и максимально эффективной работы, которая является в целом единой, но по факту распределена в разрезе территорий и по времени.

Существующий рынок мобильных приложений продолжает свой активный рост, и поэтому все больше компаний выступают с запросами на создание своих приложений, что наталкивает их на проблему выбора инструментов разработки таких приложений. Круг выставляемых задач, которые можно решать с использованием мобильного приложения, постоянно расширяется за счет растущей скорости модернизации и развития IT-технологий.

Цель и задачи исследования: Необходимость постановки и решения оптимизационных задач на мобильных устройствах на примере моделирования транспортной задачи для Android приложения. Непосредственный функциональный потенциал разрабатываемых модульных приложений зависит от структуры экономического субъекта, географии и специфики оказываемых информационных услуг, и уже вполне может решать такие задачи как:

- возможность внедрения разрабатываемых приложений мобильных технологий, как средства для оптимизации и контроля работы водителей, проведение начислений и выполнение обслуживания штрафов (проверка груза, шин и т. п.);
- повышение качественного уровня обслуживания и сервиса предприятия –трекинг грузов, калькуляция, присвоение определяющего статуса (push-уведомления) для потенциального клиента;
- обеспечение стабильной и эффективной работы с категорией выездных сотрудников (стивидоры, экспедиторы, курьеры, страховщики и т. д.);
- верификация непрерывных трудовых процессов по передаче надлежащих документов и грузов в каждом из транспортных звеньев выстроенной логистической цепочки;
- организация трудовых процессов для повышения эффективности работы документооборота предприятия (расходные накладные, счета и т. п.);
- обеспечение участников трудовых процессов в транспортной компании точной и оперативной информацией, а также поддержка справочно-сопроводительной информации в актуальном состоянии;
- учетное сопровождение выявленных поврежденных грузов, контейнеров и т. д.

В конечном итоге, цель выполняемой разработки мобильного приложения для транспортной компании – это организация простого и эффективного взаимодействия каждого из представителей звеньев логистической цепочки, либо оптимизация и совершенствование внутренних процессов транспортной компании [1].

Когда говорят о задачах планирования и математического программирования, то в большей степени имеют в виду рассмотрение задач

критериальной оптимизации, возникающие в транспортной сфере в связи с принимаемой попыткой повысить эффективность работы промышленно-транспортных организаций за счет более рационального расходования средств и тех или иных ресурсов. Предназначенная для практической реализации этих целевых задач выбранная математическая модель будет включать в себя два составляющих базовых компонента – целевую функцию F оптимизационной задачи, которая формализует основной из критериев оптимальности и множество возможно допустимых плановых решений D [2].

Анализ последних исследований и публикаций: Таким образом, в формировании модельного представления оптимизационной задачи математического программирования, применяемые методы решения для которой остаются на сегодня весьма разнообразными и находятся в определенной зависимости от типа множества вариантов допустимых решений (D), имеющих свойства целевой функции, которые определяют ограничения всей оптимизационной задачи. Если эти целевые функции являются линейными, то тогда эта задача линейного программирования, которая является базовой основой для решения достаточно широкого круга задач, возникающих не только в области практических приложений, но и в сфере теоретических исследований.

Данная задача будет иметь ряд весьма важных модификаций, для которых надо разрабатывать еще более эффективные и универсальные программные алгоритмы их решения. Одним из значимо ярких представителей подобного класса оптимизационных задач выступает транспортная задача, классическую постановку которой детально изучали такие видные ученые, как Кузнецов А. В., Коробов П. Н., Бирман И. Я., Холод Н. А., Костевич Л. С. Поэтому как с практической, так и с теоретической точки зрения решение таких задач дает возможность обеспечить снижение расходов на транспортные перевозки и снизить потенциальные риски для принимаемых управленческих решений [3, 4].

Общим принципом стратегии определения оптимальности для решения транспортной задачи будет являться распределение ресурсов, находящихся у потенциальных поставщиков (производителей), по потенциальным потребителям этих ресурсов, согласно определенным критериям оптимальности:

- минимум выделенного времени (критериальное ограничение времени);
- критериальное ограничение по стоимости (т. е. минимум затрат на организацию и выполнение плана перевозок) и др.

Исходя из установленных критериев оптимальности, экономико-математическая модель решаемой транспортной задачи будет принимать следующий формализованный вид:

- определено множество I , которое включает m пунктов груза отправления, имеющегося в количественном представлении a_i ($i=1 \dots m$);
- определено множество J , которое включает n пунктов груза потребления, в каждом из которых имеется спрос на данный груз в количественном представлении b_j ($j=1 \dots n$);
- определены промежуточные затраты c_{ij} на выполняемую транспортировку единицы товарного груза между имеющимися пунктами назначения i и j .

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Итогом принимаемого авторами исследования оптимизационного решения для данной транспортной задачи будет являться поиск и нахождение оптимального плана груза перевозок $X = (x_{ij})$. Согласно полученного оптимального плана, определенный груз товаров из исходных пунктов отправления следует в определенные пункты прибытия. При этом достигая минимизации транспортных издержек, а спрос при этом будет удовлетворяться полностью.

К основным предъявляемым требованиям и имеющимся особенностям при постановке транспортной задачи следует отнести:

- для распределения выбираются только однородные ресурсы;
- все краевые условия оптимизационной задачи описываются уравнениями;
- определенные в задаче переменные выражаются только в единых единицах измерения;
- коэффициенты при неизвестных во всех описанных уравнениях равны единице;
- каждая из неизвестных встречается только в двух уравнениях сформированной системы ограничений.

Таким образом, математическая запись для транспортной задачи примет следующий вид:

Целевая функция

$$\min_{x_{ij}} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

Условия удовлетворения спроса:

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = b_j, \quad j = 1 \dots n$$

Условия полного вывоза груза:

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = a_i, \quad i = 1 \dots m$$

Условия неотрицательности:

$$X_{ij} \geq 0, \quad i = 1 \dots m, \quad j = 1 \dots n$$

Процесс детальной разработки любого мобильного приложения следует разбивать на этапы по направлениям создания и дальнейшей интеграции различных ее компонентов. Как указывалось выше, любое мобильное приложение ввиду своих алгоритмических особенностей и предъявляемых к ним требований будет использовать определенные компоненты фоновых сервисов, таких как подключение к интернету и ряд других функциональных возможностей. Рассмотрим более расширенный список рекомендуемых для включения компонентов и общие принципы для их программной реализации [4].

Список подключаемых программных компонентов:

- 1) программный сервис процессов, действующих в фоновом режиме;
- 2) программный модуль ресурсных компонентов для настроек приложения;
- 3) программный менеджер по управлению данными приложения;
- 4) программный модуль оперативной конвертации сохраняемых данных;

- 5) алгоритмическая система кодового шифрования, дешифрования и защиты данных;
- 6) программный модуль для работы с данными сетевых ресурсов;
- 7) пользовательская система для модификации рабочего интерфейса;
- 8) программный модуль по навигации в мобильном приложении;
- 9) программный модуль для управления и администрирования файловой системой.
- 10) программный модуль для подключения к интернету;
- 11) расширенный блок системы кэширования данных.

Основные результаты исследования. Среди вышеприведенных и описанных действующих программных компонентов отсутствуют некоторые базовые элементы для работы стандартной модели мобильного приложения и для системы Android в целом. Данная алгоритмическая система управления имеет свою реализацию непосредственно в операционной системе Android и сама обеспечивает предоставление доступа к сервисным ресурсам приложения, а также организует их постоянное хранение на носителях. Однако существующий способ предоставления этих сервисных ресурсов не представляет собой что-то универсальное, поэтому в данном разрабатываемом мобильном приложении он будет применяться лишь весьма относительно. Недостающий же сервисный функционал решено реализовать в одном из модулей мобильного приложения.

В данный список входит следующий функциональный блок программных решений:

- контрольные функции за процессом экранного разрешения графических образов для пользовательского интерфейса;
- контрольные функции по выполнению локализационных задач;
- контролирование программных действий системы активной анимации;
- применение системы базового контроля ресурсных полномочий и предоставления прав доступа пользователя к ресурсам данных приложения;
- применение системы алгоритмического построения и графической визуализации пользовательского интерфейса;
- применение системы выполнения фоновых алгоритмических процессов.

Разрабатываемые программные системы становятся все более усложненными и все большее количество функциональных процессов закладывается в арсенал мобильных устройств. Приступить к разработке приложения сейчас весьма правильное и верное управленческое решение, так как имея в арсенале базовый набор функций, уже гораздо легче развиваться вместе с динамичным рынком программных продуктов, а не ждать, пока клиенты компании будут искать более удобный программный сервис.

Общий принцип работы менеджеров транспортной компании с наличием мобильного программного приложения заключается в последовательном и детализированном запросе на обновление программного приложения, при получении соответствующих прав пользования и вообще при наличии необходимости обновления данного программного продукта. Процесс

обновления приложения происходит в отдельном алгоритмическом блоке, что гарантирует то, что мобильное приложение и программный сервис не будут приостановлены в своем выполнении, и запрос данных из основного модуля приложения не потребует долгого временного ожидания [5, 6].

К числу наиболее важных факторов, которые определяют качество разработки, выступают:

- качественные характеристики интеграции с разработанной ERP-системой;
- стабильность, корректность и оперативность работы мобильного приложения;
- работа с отзывами (поддержка продукта, отладка);
- дизайнерский фон (понятность интерфейса и простота);
- многогранность возможностей по доработке приложения (расширяемость его функционала).

Общую схему взаимодействия этих компонентов можно представить следующим образом:

Модельная технология программирования значительно ускоряет разработку мобильного приложения. Программное приложение для ОС Android состоит из набора активностей, каждой из которых соответствует экран приложения. Каждая активность представлена в проекте классом, реализованном на языке Java, хранящемся в одноименном файле с расширением .java. Каждой активности соответствует xml файл-описание. В xml-файле описано в виде xml-кода расположение визуализируемых объектов [6].

На рисунке представлена диаграмма работы фрагментов реализуемого приложения, демонстрирующая выбор настроек в категории меню.

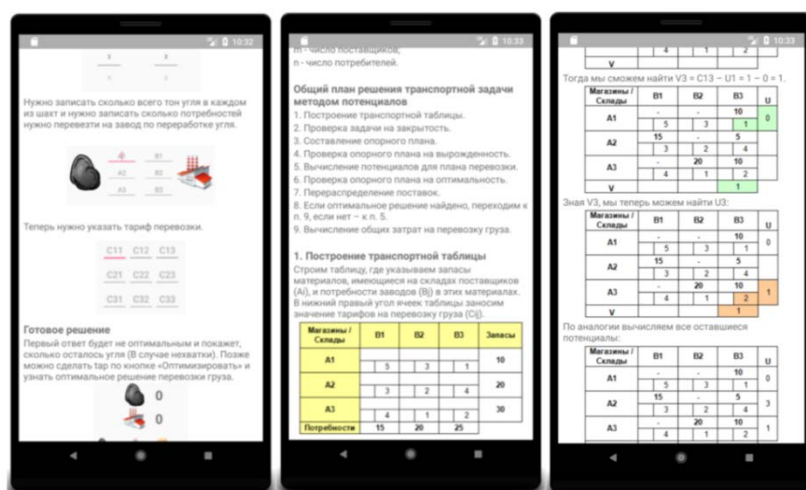


Рисунок. Экранные формы фрагментов мобильного приложения

При запуске активной формы система Android автоматически выполняет распознавание параметров размера экрана рабочего мобильного устройства и приводит (адаптирует) выводимый контент в соответствии с экранной разметкой из xml-файла. Таким образом, одна и та же экранная форма будет постоянно выглядеть почти одинаково, и это будет независимо от размеров диагонали

используемого мобильного устройства. Также для каждого мобильного приложения существует отдельный xml-файл, в котором алгоритм xml-кода будет адаптирован к минимальным требованиям операционной системы при запуске приложения.

Мобильное приложение работает со встраиваемой в систему реляционной БД SQLite. Данный ресурс не использует клиент-серверную парадигму. Поэтому, движок SQLite не представляет собой отдельно работающий процесс, с которым может взаимодействовать мобильное приложение, а предоставляет свою библиотеку, с которой мобильная программа согласуется и становится ресурсной частью мобильного приложения. Таким образом, в качестве действующего протокола обмена данными используются вызовы управляющих функций (API) рабочей библиотеки SQLite. Такой динамичный подход весьма существенно уменьшает накладные временные расходы. Ресурс SQLite обеспечивает хранение всей БД приложения (включая данные, таблицы, определения и индексы) в единственном унифицированном форматном файле на мобильном устройстве [7].

В области действующих практик по разработке ПО используется специализированный язык графического описания с элементами объектного моделирования. Так называемый язык UML (Unified Modeling Language). При проведении описания работы мобильного приложения формируется абстрагированная универсальная модель действующей системы или ее части, называемая UML-моделью. Поскольку основными элементами мобильного приложения для Android всегда являются активные формы, то схема выполнения разрабатываемого мобильного приложения представляет собой универсальную схему взаимосвязей между этими активными формами.

При загрузке рабочего модуля приложения основная активная форма обращается к базе данных приложения, находящейся на диске гаджета. Если на носителе информационный ресурс не обнаружен, то создается пустой информативный сектор данных и происходит его периодическое обновление и актуализация через интернет ресурс.

Выводы. Анализируя результаты проделанной работы, можно отметить, что сегодня для создания полноценного сервиса требуются значительные усилия. Но необходимо отметить, что любой созданный сервис или приложение сегодня должно использовать максимально простые для обычного пользователя решения, в целях увеличения клиентской аудитории пользователей.

На данный момент, как мы можем отметить, рынок мобильных технологий и сервисов переполнен некачественными и низкопробными продуктами. На наш взгляд, анализируя последние тенденции, в нем наблюдается постепенное появление действительно хороших сервисов, что является перспективой дальнейшего развития, так как пользователи нуждаются в получении качественного продукта.

Разработанное мобильное приложение для Android было неоднократно протестировано, и параметры его функционирования показали свою надежную работоспособность как на стандартных эмуляторах системы, взятых из арсенала

SDK Android, так и на сериях реальных мобильных устройств на базе платформы Android.

Список литературы:

1. Селиверстов, Я. А. Развитие интеллектуальных транспортных систем на основе мобильных технологий и процедур анализа социальной активности городского населения / Я. А. Селиверстов, Г. Ю. Гергель, С. А. Селиверстов, К. В. Никитин // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2018. – Т. 11. – № 1. – С. 47–64.
2. Тесля, Н. Н. Принципы построения интеллектуальных транспортных систем для обеспечения инфомобильности / Н.Н. Тесля //Труды СПИИРАН. – 2014.– № 6 (37). – С 21-36.
3. Замков, О. О. Математические методы в экономике: учебник / О. О. Замков, А. В. Толстопятенко, Ю. Н. Черемных; под общ. ред. д.э.н., проф. А.В.Сидоровича; МГУ им. М. В. Ломоносова. – 3-е изд., перераб. – М.: Дело и Сервис, 2001. – 368 с.
4. Иванов, Ю. П. Математические модели в экономике / Ю. П. Иванов, А. В. Лотов. – М.: Наука, 2003. – 453 с.
5. Махров, А. В. Чистая архитектура мобильных приложений на платформе андроид с использование KOTLIN, RXJAVA и DAGGER2 / А. В. Махров // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2018. – № 7–1 (39). С. 22–26.
6. Тлембаев, А. А. Исследование программных средств разработчиков мобильных приложений / Тлембаев А. А., Г. Т. Даненова, М. М. Коккоз // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2018. № 2. – С. 53–58.
7. Великанова, Л. О. Принципы разработки приложений под операционную систему iOS / Л. О. Великанова, А. Г. Мурлин, А. Р. Гайвук // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 127. – С. 546–556.

© Тен Т. Л., Дрозд В. Г., 2024

АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТАМИ-МАНИПУЛЯТОРАМИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

студент **Багров Валерий Владимирович**,
науч. руководитель: зав. кафедрой, канд. техн. наук, доцент
Ковалев Дмитрий Александрович,
Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна
Высшая школа технологии и энергетики
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В современных робототехнических системах роботы-манипуляторы играют ключевую роль в автоматизации промышленных процессов. Эффективное управление такими системами осложняется неопределенностями, возникающими из-за неполных или зашумленных данных сенсоров, изменяющихся из-за условий окружающей среды и ошибок модели. В статье рассматриваются современные подходы к решению этих проблем с помощью адаптивных алгоритмов, таких как фильтр Калмана, робастное и адаптивное управление. Представлены примеры успешного применения моделей на предприятиях. Сделан обзор классических и современных методов регулирования и проведено их сравнение.

Ключевые слова: робот-манипулятор, условия неопределенности, адаптивные алгоритмы, робастное управление, фильтр Калмана, промышленные роботы.

CONTROLLING ALGORITHMS OF ROBOTIC MANIPULATORS IN UNCERTAINTY CONDITIONS

Student **Bagrov Valery Vladimirovich**,
Academic Advisor: Head of the Department, Phd in Technology, Associate Professor
Kovalev Dmitry Aleksandrovich,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. In modern robotic systems, robotic manipulators are essential for industrial process automation. Effective management is challenging due to uncertainties, including incomplete or noisy sensor data, environmental changes, and model errors. The article explores modern approaches like the Kalman filter, and robust and adaptive control to address these issues. Successful applications in enterprises are presented, along with a comparison of classical and modern regulation methods.

Keywords: robotic manipulator, uncertainty conditions, adaptive algorithms, robust control, Kalman filter, industrial robots.

Робот-манипулятор – это устройство, которое используется для выполнения задач, требующих высокой точности и повторяемости, в промышленных и других приложениях. Эти механизмы способны перемещать и манипулировать объектами на производственных линиях, дополняя или заменяя человеческий труд. Промышленные манипуляторы играют ключевую роль в автоматизации и повышении эффективности производства, что является основой концепции Индустрии 4.0 [1].

Роботы-манипуляторы делятся на следующие типы:

- стационарные манипуляторы, которые выполняют задачи на одном месте, например, сборку или сварку;
- мобильные манипуляторы, способные перемещаться по производственным площадкам, что добавляет гибкости производству;
- коллаборативные роботы (коботы), которые работают вместе с людьми в одном рабочем пространстве [2].

Роль манипуляторов в промышленности продолжает расти благодаря интеграции с новейшими технологиями, такими как искусственный интеллект и системы IoT, что позволяет повысить адаптивность, гибкость и эффективность производственных систем.

Роботы-манипуляторы находят применение в различных отраслях, включая автомобилестроение, электронику, медицину и логистику. Важными направлениями развития являются улучшение стратегий управления и планирования траекторий, что особенно актуально в условиях неопределенности, когда внешние факторы или изменения среды могут нарушать работу манипулятора.

Проблема неопределенности в управлении роботами-манипуляторами заключается в том, что системы управления часто сталкиваются с изменяющимися условиями окружающей среды, шумом в сенсорах и другими возмущениями. Эти факторы могут значительно повлиять на точность выполнения задач, требующих высокой повторяемости и надежности. Например, даже небольшие отклонения в измерениях сенсоров могут вызвать ошибки в траектории движения манипулятора, что будет критично для промышленных роботов, работающих с хрупкими объектами.

PID-регуляторы являются одними из самых популярных инструментов для управления роботами благодаря простоте настройки и надежности. PID-алгоритм корректирует ошибки в реальном времени, используя пропорциональный, интегральный и дифференциальный законы. Такой подход показывает отличные результаты при стабильных условиях, но его эффективность сильно уменьшается при наличии значительных возмущений или неполных данных [3].

Существуют более продвинутые классические методы регулирования. Например, методы оптимального управления, такие как линейно-квадратичное регуляторное управление (LQR) и линейно-квадратичное гаусовское управление (LQG), предназначены для минимизации определенных отклонений. Эти методы позволяют учитывать различные ограничения системы, такие как

энергопотребление, ограничения по скорости или точности движений. Однако их применение ограничивается линейными системами.

LQR (Linear-Quadratic Regulator) – это подход, направленный на минимизацию функции стоимости, которая представляет собой баланс между ошибкой системы (например, отклонением от заданного положения) и расходом энергии на коррекцию данной ошибки. Основой LQR является использование матрицы весов для оценки того, в каком направлении должна изменяться система, чтобы достигнуть оптимального состояния.

Алгоритм LQR основан на решении уравнений Риккати, что позволяет определить оптимальные управляющие сигналы для заданной системы. LQR-управление демонстрирует отличные результаты при работе с системами с множеством степеней свободы, такими как роботы-манипуляторы. Однако LQR чувствителен к изменяющимся условиям среды, что ставит под сомнение его гибкость в условиях неопределенности.

LQG (Linear-Quadratic Gaussian) расширяет метод LQR, добавляя фильтрацию шумов и дополнение неполноты информации. С помощью фильтра Калмана LQG оценивает истинные состояния системы даже при наличии шумов сенсоров и других возмущений. В этом методе фильтр Калмана играет роль оценщика, который позволяет системе идентифицировать и компенсировать неполные или зашумленные данные. LQG объединяет оптимальный контроль и фильтрацию данных, создавая управляемую структуру, способную адаптироваться к условиям неопределенности.

Фильтр Калмана — это алгоритм обработки и предсказания данных, предназначенный для работы с линейными системами в условиях наличия шума измерений и неопределенности. Этот метод широко используется для оценки состояний системы в робототехнике, когда данные с сенсоров, таких как гироскопы, акселерометры или камеры, часто зашумлены или неполны.

Фильтр Калмана часто используется для стабилизации манипуляторов в динамических условиях, например, при установке робота на подвижной платформе. Он обрабатывает данные с инерциальных сенсоров для компенсации вибраций. Данный алгоритм требует точной априорной информации о характеристиках шума.

Фильтр Калмана применим только для линейных систем. Для нелинейных систем используются расширенный фильтр Калмана (EKF) или фильтр частиц (Particle Filter) [4]. Схема работы фильтра Калмана представлена на рисунке 1.

Традиционные алгоритмы управления, такие как PID-регуляторы, хорошо работают только при наличии точной информации о системе, но они не способны эффективно компенсировать неопределенности. Поэтому в последние годы активно развиваются подходы робастного и адаптивного управления, способные учитывать изменчивость условий среды и данных. Они обеспечивают более стабильную работу, чем классические методы.

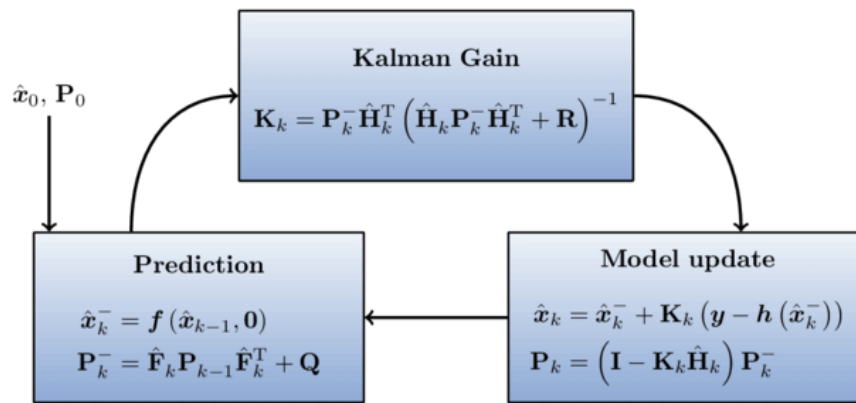


Рисунок 1. Схема работы фильтра Калмана

Среди наиболее распространенных робастных подходов выделяется H_∞ -управление (H-infinity control). Оно минимизирует худшие возможные отклонения системы, обеспечивая стабильность даже при значительных возмущениях и неопределенности. Это особенно важно для сложных систем, таких как робот-манипулятор, где точность математической модели может быть ограничена.

H_∞ -управление работает по схожей с LQR методике. H_∞ -контроллер по сравнению с контроллером LQR более надежен, поскольку он может обрабатывать неопределенности в модели импеданса [5]. Конструкция контроллера в методе H_∞ зависит от выбора весовой функции, тогда как в контроллере LQR предпочтительна матрица усиления обратной связи по оптимальному состоянию. Таким образом, внедрение подхода H-infinity может потребовать больших усилий, чем LQR-контроллер [6].

H_∞ -управление успешно применяется в промышленности для стабилизации манипуляторов в динамических условиях, например, на производственных линиях, где важна высокая точность позиционирования схвата. Этот метод также применяется в авиации и космической технике, где требуется высокая надежность работы в условиях сильных возмущений. Это относится и к другим методам робастного управления.

Среди наиболее распространенных адаптивных моделей управления выделяется предсказательная модель управления (Model Predictive Control, MPC). MPC — это современный подход к управлению динамическими системами, который использует модель объекта управления для прогнозирования его поведения на определенном временном горизонте. Главная идея MPC заключается в оптимизации управляющих воздействий с учетом изменяющегося состояния системы, ограничений и предсказанных результатов.

За такими возможностями скрываются и недостатки. Для систем с большим количеством степеней свободы требуются огромные вычислительные мощности. Этот факт является основой для ряда проблем. Для сложных задач скорость работы ограничена, и решения могут запаздывать относительно состояния системы. Также модель системы должна быть построена очень точно, ведь любая неточность приведет к нарушению управления.

В российской промышленности метод предсказательного управления применяется для оптимизации работы автоматизированных кранов, перемещающих заготовки на сталелитейных предприятиях. Например, на Магнитогорском металлургическом комбинате (ММК) [7]. Сложность задачи управления заключается в том, что груз подвешен на тросах, которые склонны к колебаниям, а внешние факторы, такие как движение воздушных потоков в рабочей среде и/или вибрации, создают условия неопределенности.

Внедрение такого подхода на предприятии осуществляется по следующим этапам.

1. Составляется математическая модель объекта.

Для примера возьмем кран в качестве объекта. Модель должна включать динамические уравнения для груза, подвешенного на тросах, ограничения по скорости перемещения, высоте подъема и допустимому колебанию груза.

2. Онлайн-оптимизация.

Алгоритм MPC в режиме реального времени прогнозирует траекторию движения груза на заданный временной интервал с учетом текущего состояния и модели системы.

3. Коррекция действий.

Управляющие воздействия оптимизируются с учетом ограничений, чтобы минимизировать колебания и обеспечить точное позиционирование груза в конечной точке.

4. Адаптация к изменениям:

MPC обновляет свои расчеты по мере поступления новых данных с датчиков, что позволяет учитывать (на горизонте планирования) непредвиденные обстоятельства.

MPC используется на множестве предприятий различных отраслей, включая целлюлозно-бумажную промышленность. На рисунке 2 приведена схема управления для метода MPC из сферы целлюлозно-бумажной промышленности [8, 9].

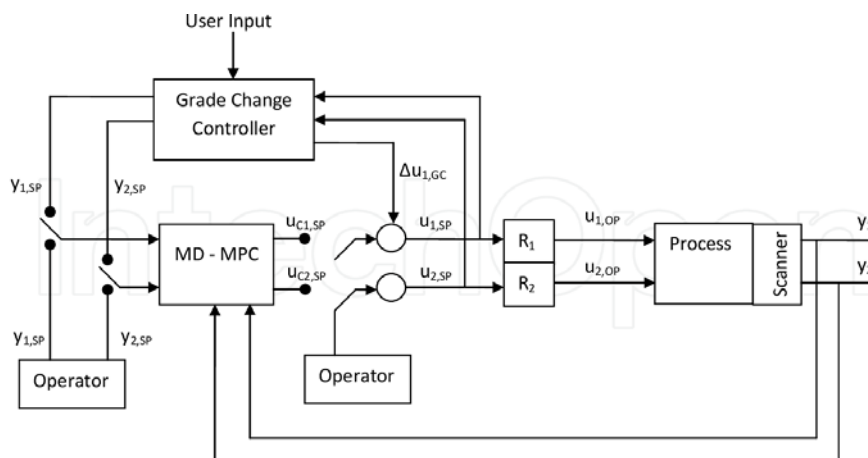


Рисунок 2. Пример использования предсказательной модели управления из целлюлозно-бумажной промышленности [8]

Сравним рассмотренные модели управления друг с другом по ключевым параметрам, важным для внедрения на предприятия. Результат сравнения представлен в таблице 1.

Сравнение моделей управления показывает, что выбор алгоритма зависит от таких факторов, как сложность объекта управления, уровень неопределенности и доступные вычислительные ресурсы. Для роботизированных манипуляторов, работающих в условиях высокой неопределенности, наилучшим выбором будет MPC или H_∞ -управление. Они обеспечивают гибкое управление, точное следование траектории и устойчивость к возмущениям. Не следует использовать LQG или PID-регуляторы для манипуляторов.

Таблица 1. Сравнение разных моделей управления

Параметр	PID	LQR	LQG	H_∞	MPC
Сложность реализации	Очень простая	Простая	Средняя	Сложная	Сложная
Устойчивость	Низкая	Средняя	Высокая	Очень высокая	Высокая
Вычислительные ресурсы	Небольшие	Небольшие	Средние	Высокие	Очень большие
Гибкость	Малая	Средняя	Средняя	Средняя	Очень большая
Применимость в реальном времени	Зависит от объекта, малая	Средняя	Средняя	Средняя	Очень высокая
Области применения	Управление запорной арматурой	Управление механизмами с небольшим числом степеней свободы	Робототехнические системы, где важна устойчивость к шумам	Сложные промышленные системы, чувствительные к возмущениям	Управление сложными динамическими объектами, включая роботов

В данной работе был выполнен обзор подходов к управлению роботами-манипуляторами в условиях неопределенности. Рассмотрены классические и современные методы управления, а также их возможности адаптации к изменяющимся условиям за счет применения алгоритмов прогнозирования. На основе сравнительного анализа выделены сильные и слабые стороны каждого подхода и их применимость в различных промышленных задачах.

Приведенные данные демонстрируют потенциал современных моделей в оптимизации производственных процессов, увеличении точности управления и обеспечении устойчивости системы в условиях внешних возмущений.

Таким образом, работа подчеркивает значимость разработки и внедрения на предприятия адаптивных методов управления для повышения эффективности роботизированных систем. В перспективе особую ценность представляет исследование и интеграция технологий машинного обучения для решения задач в условиях неопределенности.

Список литературы:

1. Багров, В. В. Межмашинная коммуникация в индустрии 4.0. Материалы XVII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием на английском языке «Диалог культур». В 3 ч. / Минобрнауки РФ; ФГБОУ ВО «С.-Петерб. гос. ун-т промышленных технологий и дизайна»; сост. К. А. Сечина, М. С. Липатов; под общ. ред. В. В. Кирилловой. — СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2024. — Ч. I. — 228 с. ISBN 978-5-91646-380-4. стр 143-147 URL: <https://nizrp.narod.ru/metod/kafinyaz/1725376745.pdf> (дата обращения: 28.11.2024)
2. Nooshin Ghodsian, Khaled Benfriha, Adel Olabi, Varun Gopinath Aurélien Arnou Mobile Manipulators in Industry 4.0: A Review of Developments for Industrial Applications, *Sensors* 2023, 23(19), 8026; URL: <https://doi.org/10.3390/s23198026> (дата обращения: 21.10.2024)
3. Параев, Ю. И. Колесникова С. И., Цветницкая С. А. Управление роботом-манипулятором в условиях неопределенности / Ю. И. Параев, С. И. Колесникова, С. А. Цветницкая // Вестн. Том. гос. ун-та. Управление, вычислительная техника и информатика. — 2021. — №57. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-robotom-manipulyatorom-v-usloviyah-neopredelennosti> (дата обращения: 27.10.2024).
4. M. Elsis, K. Mahmoud, M. Lehtonen and M. M. F. Darwish, "Effective Nonlinear Model Predictive Control Scheme Tuned by Improved NN for Robotic Manipulators," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 64278-64290, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3075581. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9416459> (дата обращения: 02.11.2024)
5. Borna Ghannadi, Reza Sharif Razavian, John McPhee Configuration-Dependent Optimal Impedance Control of an Upper Extremity Stroke Rehabilitation Manipulandum, *Systems Design Engineering*, University of Waterloo, Waterloo, ON, Canada, 2018. URL: <https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00124> (дата обращения: 22.11.2024).
6. Mazhar, A.; Tanveer, A.; Izhan, M.; Khan, M.Z.T. Robust Control Approaches and Trajectory Planning Strategies for Industrial Robotic Manipulators in the Era of

Industry 4.0: A Comprehensive Review. Eng. Proc. 2023, 56, 75. URL: <https://doi.org/10.3390/ASEC2023-15330> (дата обращения: 21.11.2024).

7. ММК с помощью предиктивной аналитики снижает простои оборудования. – новость пресс-центра компании. – 2023. URL: <https://mmk.ru/ru/press-center/news/mmk-s-pomoshchyu-prediktivnoy-analitiki-snizhaet-prostoi-oborudovaniya/> – [официальный сайт] (дата обращения: 28.11.2024).

8. Chu, D., Forbes, M.G., Backstrom, J.U., Gheorghe, C., & Chu, S. Model Predictive Control and Optimization for Papermaking Processes (2011) URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Model-Predictive-Control-and-Optimization-for-Chu-Forbes/ff82577a06a1a7b6ff2213f7d3374d37ff75ee38> (дата обращения: 25.11.2024).

9. Ковалев, Д. А. Применение роботов-манипуляторов для оптимизации упаковочной линии целлюлозно-бумажного комбината: моделирование в Anylogic / Д. А. Ковалев, А. В. Бахтин, А. С. Кротов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. – 2024. – № 1. – С. 159-167. – DOI 10.46418/2079-8199_2024_1_29. – EDN WJQVJY.

© Багров В. В., 2024

ПРОПОРЦИЯ ПАРЕТО В ОЦЕНКЕ ЗАГРУЖЕННОСТИ СЕРВИСНЫХ ЦЕНТРОВ ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ НАИБОЛЕЕ ЧАСТОТНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДЕФЕКТОВ

канд. физ.-мат. наук, доцент **Мосин Владимир Геннадьевич**,
Самарский государственный технический университет,
г. Самара, Российская Федерация

Аннотация. В статье проанализирована деятельность пунктов гарантийного и сервисного обслуживания одного из ведущих отечественных автопроизводителей. Показано, что значительная доля всех сервисных центров является невостребованной и образует белый шум в данных о работе сервисной сети в целом, что приводит к существенному понижению качества прогнозирующих моделей.

Ключевые слова: управление качеством, автомобилестроение, гарантийное обслуживание, анализ данных, машинное обучение, прогнозирующие модели.

PARETO DISTRIBUTION IN THE ASSESSMENT OF THE WORKLOAD OF SERVICE CENTERS IN THE MAINTENANCE OF THE MOST FREQUENT AUTOMOTIVE DEFECTS

PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor
Mosin Vladimir Gennadievich,
Samara State Technical University,
Samara, Russian Federation

Abstract. The article analyzes the activities of warranty service points of one of the leading domestic automakers. It is shown that a significant proportion of all service centers are unclaimed and form white noise in the data on the operation of the service network as a whole, which leads to a significant decrease in the quality of predictive models.

Keywords: quality management, automotive, warranty service, data science, machine learning, predictive models.

Управление качеством в автомобилестроении связано не только с производством, но и с процессом постпродажного сервисного обслуживания, который продолжается в течение всего периода эксплуатации автомобиля, другими словами, в оценке качества автомобиля как продукта, занимающего определенную рыночную нишу. Речь идет о факторах качества, актуальных в течение всего жизненного цикла каждого из изделий [1], [2]. Согласно этому подходу, сотрудниками Самарского государственного технического университета, работающими в рамках научного направления «Анализ данных»

совместно с одним из ведущих отечественных автопроизводителей, была разработана система мониторинга пунктов гарантийного обслуживания автомобилей, основанная на анализе больших массивов данных и построении прогнозирующих моделей машинного обучения [3], которая в режиме реального времени, т. е. непосредственно в момент обновления базы данных, распознает отдельные наблюдения как аномальные и включает соответствующие протоколы реагирования. Она реализована в виде программного комплекса и показала неплохие результаты на этапе апробации.

Однако в ходе исследований обнаружили одну любопытную деталь, которой и посвящена настоящая заметка. Для регистрации аномальных состояний наша система автоматического мониторинга использует прогнозирующие модели двух типов: 1) по времени наблюдений в одной отдельно взятой локации и 2) по наблюдениям в локациях в один отдельно взятый момент времени. И в том, и в другом случае в анализе участвуют метрические и древесные регрессионные модели, и существенную роль при этом играет прогнозирующая точность модели: чем точнее модель, тем более достоверно, что слишком высокое отклонение реального наблюдения от модельного свидетельствует о какой-то аномалии [4]. Высокая же точность модели во многом определяется качеством подаваемых ей на вход данных (здесь в полной мере проявляет себя хорошо известный в среде аналитиков афоризм: «Trash in – trash out», что можно перевести на русский как «Мусор на входе – мусор на выходе»). После агрегации и упорядочивания таблица данных 336 на 727 имеет следующий вид:

Таблица 1. Структура данных

	2022-01-03	2022-01-04	2022-01-05	...	2023-12-30
44360	88	102	111	...	50
11785	50	69	52	...	25
44560	0	46	25	...	0
...	...	...	...	...	...
15002	0	0	0	...	0

Здесь маркерами строк выступают коды локаций (т. е. пунктов гарантийного обслуживания автомобилей, их 336 штук), маркерами столбцов – даты наблюдений (наблюдения ежедневные в течение почти двух лет за исключением нескольких дней, таких дат 727), а в качестве значений используется суммарное число обращений в данный пункт гарантийного обслуживания в данную дату со всеми возможными по гарантийному регламенту дефектами. Строки в этой таблице упорядочены по частотности упоминаний в базе данных той или иной локации, и уже в этот момент начинает вызывать подозрения локация с кодом 15002: она упоминается 1 раз (это сумма всех значений в соответствующей строке), тогда как локация 44360 упоминается 76517 раз, локация 11785 – 40152 раза и так далее.

Визуально (то есть, в виде временных рядов) различия локаций выглядит так:

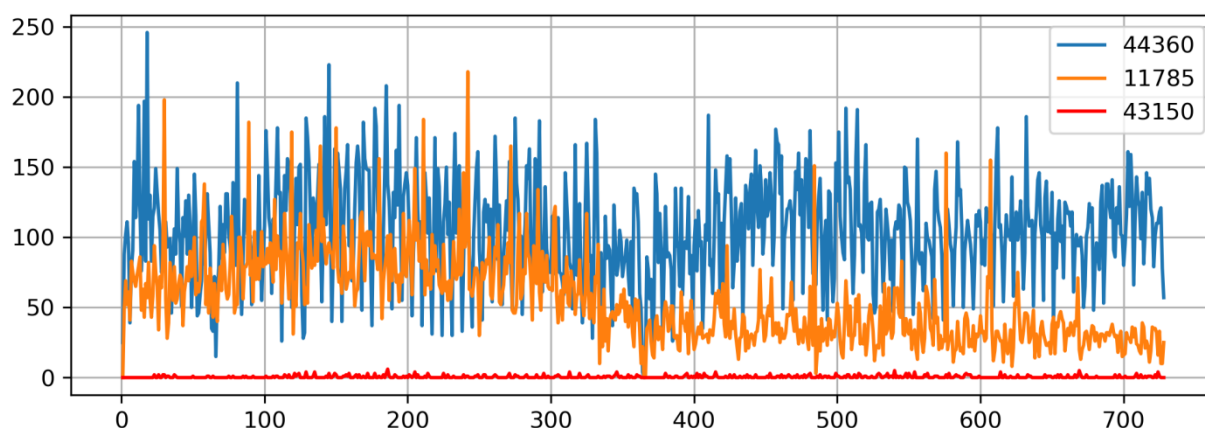


Рисунок 1. Число обращений в тот или иной пункт гарантийного обслуживания

Наиболее частотная локация – это локация с кодом 44336, она занимает первую строчку в нашей таблице, и ее линия на визуализации в среднем самая высокая, вторая по частотности – локация 11785, а в качестве аутсайдера мы использовали даже не последнюю строчку таблицы, не локацию 15002, а локацию с кодом 43150, которая располагается примерно за сотню позиций до конца (иначе красная кривая визуально не отличалась бы от точной горизонтали, а нам хотелось подчеркнуть, что в отстающих локациях жизнь все-таки теплится, и горизонталь имеет какие-то отклонения от нуля).

В приведенной ниже таблице мы, двигаясь с шагом 35, отслеживаем три показателя: *n* – число наиболее востребованных локаций (фактически, мы движемся по таблице данных сверху вниз, начиная с наиболее частотных строк), *loc* – процент востребованных локаций от общего числа локаций (напомним, что всего из 336), *total* – процент от всех обращений, который приходится на эти локации.

Таблица 2. Процент наиболее востребованных локаций

n	loc	total	n	loc	total	n	loc	total
35	10.41	61.76	140	41.66	94.99	245	72.91	99.54
70	20.83	80.40	175	52.08	97.69	280	83.33	99.73
105	31.25	89.94	210	62.50	98.98	315	93.75	99.78

На уровне 70 наиболее востребованных локаций мы обнаруживаем знаменитую пропорцию Парето: 80% всех обращений в сервисную сеть приходится на 20% сервисных центров. Это значит, что если мы избавимся от 80% данных, то у нас останутся хорошо прогнозируемые временные ряды, и тогда существенно повысится точность наших моделей. Кажется бы, удалять 80% данных – это абсолютно неразумное решение, в конце концов, их собирали не для того, чтобы потом выкинуть, но давайте вспомним о своей основной задаче, которая состоит в повышении качества продукта в целом, а не каких-то

отдельных локаций. Если мы сможем адекватно детектировать аномальные состояния в 20 % наиболее востребованных локаций, мы тем самым повысим качество обслуживания для 80 % потребителей, и фактически, вопрос ставится таким образом: что лучше – писать плохие модели для всех, или писать хорошие модели для 80 %? Ответ, на наш взгляд, очевиден.

В дополнение к сказанному отметим, что 95 % всех обращений в сервисную сеть приходится на 50 % сервисных центров. Вопрос, что делает вторая половина и зачем она нужна, мы переадресуем владельцу процесса (возможно, есть объективные причины содержать неэффективные локации, несмотря на всю их вопиющую нерентабельность, например, в силу требований регулятора). У нас другая задача: мы повышаем точность наших прогнозирующих регрессионных моделей, и для этого избавляемся от неэффективных локаций, спрогнозировать которые невозможно в силу того, что их деятельность составляет не более чем белый шум в работе сервисной сети.

Список литературы:

1. Деминг, Э. Выход из кризиса. Новая парадигма управления людьми, системами и процессами / Эдвардс Деминг; Пер. с англ. – 6-е изд. – М.: Альпина Паблишер, 2014. – 417 с. – ISBN 978-5-9614-4717-0.
2. Каору И. Японские методы управления качеством / Исикава Каору; – М: Экономика, 1988 г. – 199 с.
3. Мосин, В. Г. Обоснование методологии детекции аномалий в качестве нового цифрового инструмента управления качеством / В. Г. Мосин, В. Н. Козловский //Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2024. – Т. 26, № 3. – С. 16-22.
4. Вьюгин, В. В. Математические основы теории машинного обучения и прогнозирования / В. В. Вьюгин. – М.: МЦИМО. – 2013. – 387 с. – ISBN: 978-5-4439-2014-6.

© Мосин В. Г., 2024

ВЫЧИСЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОЙ МОЩНОСТИ ПРОЖЕКТОРА ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

магистрант Астахов Артур Михайлович,
науч. руководитель: доктор техн. наук, профессор
Черненко Людмила Васильевна,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В исследовании представлена задача необходимости расчета требований минимального уровня мощности прожектора освещения для проведения аэрофотосъемки в условиях ночи. Произведена формализация поставленной задачи, выведены основные математические формулы, необходимые для вычисления необходимой мощности прожектора в ваттах для соответствия критериям устанавливаемой камеры. Выполнена реализация программного обеспечения для проведения вычислений требований минимальной мощности прожектора для разрабатываемого беспилотного летательного аппарата.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, освещение, прожектор, камера, аэрофотосъемка, программное обеспечение.

CALCULATION OF THE REQUIRED POWER OF THE LIGHTING SPOTLIGHT FOR AN UNMANNED AERIAL VEHICLE

Master Student Astakhov Artur Mikhailovich,
Academic Advisor: Doctor of Technology, Professor
Chernenkaya Lyudmila Vasilevna,
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. The study presents the problem of the need to calculate the minimum power requirements of a floodlight for aerial photography at night. The task has been formalized, the basic mathematical formulas necessary to calculate the required power of the spotlight in watts to meet the criteria of the camera being installed have been derived. The software has been implemented to calculate the minimum power requirements of the searchlight for the unmanned aerial vehicle under development.

Keywords: unmanned aerial vehicle, lighting, spotlight, camera, aerial photography, software.

Развитие беспилотных авиационных систем (БАС) позволило начать использовать беспилотные аппараты в сфере мониторинга за объектами предприятий [1]. Но использование беспилотников ночью становится невозможным из-за особенности камер видимого диапазона, которые не

позволяют получить качественное изображение при низкой освещенности. По этой причине использование классических камер видимого диапазона невозможно для мониторинга предприятия ночью.

Использование инфракрасных камер имеет ряд требований при полетах на большой высоте, так как разрешение подобного оборудования также не позволяет получить качественное изображение [2].

Из-за чего для мониторинга в темное время требуется использование светодиодных прожекторов, которые позволят осветить исследуемую область [3]. Выбор требуемой мощности прожектора для корректной работы камер является важной задачей при разработке беспилотника.

В настоящее время на рынке прожекторов для беспилотников имеется больше разнообразие моделей с разной мощностью. Для выбора подходящей модели необходимо определить соответствие мощности прожектора поставленной задаче освещения области, в которой снимает камера на беспилотнике.

Первичные ограничения к мощности прожектора задают характеристики камеры. Данными ограничениями выступают: минимальная яркость в люменах, при которой получаемое изображение соответствует требованиям необходимого качества; высота полета, при которой изображение будет иметь необходимую детализацию; угол обзора камеры, которому должен соответствовать угол распределения света прожектором.

Область работы прожектора (заштрихованные участки – прожектор освещения) изображены на рисунках 1 и 2. На рисунке 1 можно увидеть следующие значения: D – ширина одной стороны области, которую освещает прожектор; H – высота, на которой находится беспилотник; k – угол работы прожектора [4].

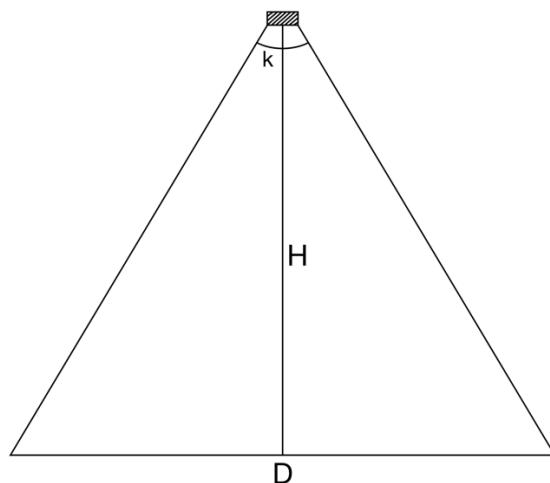


Рисунок 1. Ширина области работы прожектора

На рисунке 2 вводится значение V – длина области освещенной поверхности. Так как камеры в основном производят съемку в соотношении сторон 16:9, то $V < D$.

Так как беспилотные аппараты имеют небольшие аккумуляторы, то в задаче выбора прожектора применяется условие минимизации энергопотребления, соблюдая условие критерия минимального уровня освещенности. Данная проблема прожектора имеет следующий вид. С увеличением значений V и D мощность прожектора, без уменьшения освещения объекта, будет расти как квадратичная функция. Так как значение D соответствует зоне видимости камеры, следовательно его изменение невозможно, то требуется ограничить значение V .

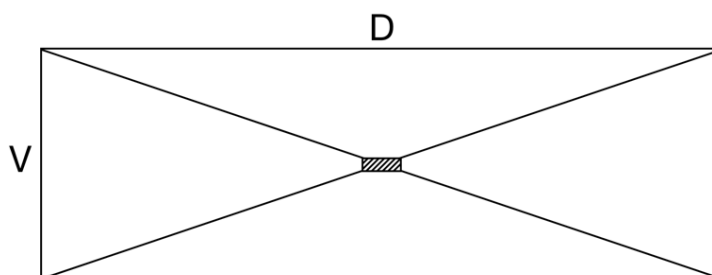


Рисунок 2. Освещенная прожектором область сверху

На основе ограничений, заданных характеристиками камеры, будет произведено преобразование математических формул, благодаря которым можно будет определить необходимую мощность прожектора.

Формула для вычисления площади освещенности для определенной мощности:

$$S = \frac{L_m \cdot P}{L_x}, \quad (1)$$

где S – площадь освещенности в квадратных метрах; L_m – мощность яркости источника света, измеряемая в люксах; P – значение рассеивания света из-за неровной границы освещения, данное значение задается от 0 до 1, базовое значение равно 0,75; L_x – требуемая освещенность поверхности в люменах.

Мощность яркости источника света вычисляется из мощности в ваттах. Данное значение отличается для прожекторов разных производителей, но обычно 1 ватт мощности равен 100 люксам.

Для данной задачи требуется определение мощности яркости источника света. Преобразуем формулу 1:

$$W = \frac{S \cdot L_x}{P \cdot 100}, \quad (2)$$

где W – мощность прожектора в ваттах.

В результате чего получается значение мощности прожектора в ваттах, по которому в дальнейшем происходит выбор соответствующего прожектора.

Для того, чтобы определить подходящее значение V при условии ограничения по энергопотреблению и ограничениям, заданным характеристиками камер, можно воспользоваться следующим уравнением, преобразованным из уравнения 2.

$$V = \frac{P \cdot 100 \cdot W}{D \cdot L_x}. \quad (3)$$

На основе приведенных выше математических формул было реализовано программное обеспечение, которое позволяет вычислить необходимую мощность прожектора на основе рассмотренных параметров.

На рисунке 3 представлен интерфейс реализованного программного обеспечения.

Рисунок 3. Интерфейс программного обеспечения

Программа содержит пользовательский интерфейс для ввода данных о размере зоны освещения, необходимой освещенности в люменах, а также о параметре рассеивания света. В результате программа производит вычисление формулы, определяющей минимальную необходимую мощность прожектора в ваттах на основе требований пользователя [5].

Предложенные в работе способы определения мощности прожектора могут быть применимы при разработке новых беспилотных летательных аппаратов, точно определяя правильную конфигурацию требуемого оборудования, тем самым делая расчет того, каким будет энергопотребление будущего аппарата.

Дальнейшее развитие данной темы может быть связано с определением полного энергопотребления всех систем навесного оборудования беспилотного аппарата, включая камеры и датчики, используемые для навигации и

мониторинга объектов предприятия. Также развитие данной тематики может быть связано с использованием понятий многокритериальной оптимизации для определения множества Парето всех рассматриваемых моделей прожекторов, которое будет использоваться для итогового выбора моделей прожекторов в соответствии с ограничениями по требованиям мощности.

Список литературы:

1. Стратегическая сессия о развитии беспилотных авиационных систем: [сайт]. – 2023. – URL: <http://government.ru/news/49492/> – (дата обращения 16.09.2024). – Текст: электронный.
2. Семенищев, Е. А. Объединение изображений ближнего инфракрасного и видимого диапазона, полученных с камер БПЛА / Е. А. Семенищев, И. В. Толстова. – Текст: электронный // Евразийский Союз Ученых. – 2019. – №. 11. – С. 34-41. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obedinenie-izobrazheniy-blizhnego-infrakrasnogo-i-vidimogo-diapazona-poluchennyh-s-kamer-bpla/viewer> (дата обращения: 27.11.2024).
3. Макушенко, Е. С. Перспективные сферы применения беспилотных летательных аппаратов / Е. С. Макушенко. – Текст: электронный // Приоритеты новой экономики: энергопереход 4.0 и цифровая трансформация. – 2022. – С. 170–173. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_49490218_99911782.pdf (дата обращения: 18.09.2024).
4. Гоман, В. В. Проектирование и расчет систем искусственного освещения: учебное пособие / В. В. Гоман, Ф. Е. Тарасов. – Екатеринбург: УрФУ, – 2013. – 76 с. – Текст: непосредственный.
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024616419. Программа для вычисления необходимой мощности прожектора для БПЛА: № 2024614854: заявл. 12.03.2024: опубл. 20.03.2024 / Астахов А. М. – 1 с. – Текст: непосредственный.

© Астахов А. М., 2024

**АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ:
НОВОЕ СЛОВО В БЕЗОПАСНОСТИ
ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

студент **Калашникова Екатерина Олеговна**,
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент **Зуева Елена Павловна**,
Брянский государственный технический университет,
г. Брянск, Российская Федерация

Аннотация. Статья посвящена исследованию устройств безопасности подъемно-транспортных машин, акцентируя внимание на роли автоматики и системы управления в обеспечении надежного функционирования оборудования. Рассматриваются инновационные решения проблем, связанных с предотвращением неисправностей и несчастных случаев. Освещаются механизмы, такие как конечные выключатели и ограничители грузоподъемности, которые способствуют созданию безопасной рабочей среды на предприятиях, улучшая общую эффективность системы безопасности.

Ключевые слова: автоматика, система управления, инновационные решения, безопасность, подъемно-транспортные машины, конечные выключатели, ограничители грузоподъемности, механизмы безопасности.

**AUTOMATION OF CONTROL SYSTEMS: A NEW ERA IN THE SAFETY
OF LIFTING AND TRANSPORT EQUIPMENT**

Student **Kalashnikova Ekaterina Olegovna**,
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor
Zueva Elena Pavlovna,
Bryansk State Technical University,
Bryansk, Russian Federation

Abstract. The article focuses on the study of safety devices for lifting and transport machines, highlighting the role of automation and control systems in ensuring reliable equipment operation. Innovative solutions to problems related to preventing malfunctions and accidents are discussed. Mechanisms such as limit switches and load limiters, which contribute to creating a safe working environment at enterprises, are emphasized to improve the overall safety system's efficiency.

Keywords: automation, control system, innovative solutions, safety, lifting and transport machines, limit switches, load limiters, safety mechanisms.

Устройства безопасности машин являются необходимым элементом при эксплуатации и проведении необходимых испытаний в любой отрасли применения для обеспечения нормальной работы оборудования подъемно-транспортных машин (ПТМ), исключая возможности разрушения и

неисправности механизмов, предотвращения несчастных случаев операторов и рабочих. Важная задача разработки любых конструктивных и технических вопросов по созданию механизмов, обеспечивающих безопасность на предприятии или в зоне работы оборудования, – надежность использования и минимизация рисков в случае аварии машины.

Однако следует учесть, что невозможно охватить все механизмы по обеспечению безопасности вследствие того, что вариативность причин неисправностей и путей их решения многогранна. Поэтому в данной работе рассмотрены только такие устройства и приборы, которые являются общими для многих машин. К таким приборам следует отнести конечные выключатели и механизмы, обеспечивающие безопасное расстояние для путей ограничения передвижения, ограничители грузоподъемности для остановки механизма подъема крана, впоследствии превышенного веса груза и противоугонные рельсовые захваты для предохранения рельсовых транспортирующих средств от угона ветром [1].

Электрические конечные выключатели применимы в тех случаях, когда следует заблокировать некоторые участки пути передвижения, а также подать сигнал о перемещении в определенное положение, для ограничения пути транспортирующих машин в одном или двух направлениях. Принцип работы этих выключателей заключается в том, что они подают несколько команд к определенной точке на пути передвижения. Контактные валики или кулачки выключателей приводятся в действие поступательно движущимися толкателями, поворотными рычагами либо винтовой или зубчатой передачей [2, стр. 216].

Вследствие ненадежного замыкания контакта в конечной точке пути передвижения предохранительные конечные выключатели выполняют в виде выключателей мгновенного действия, то есть под действием усилия срабатывания при рабочем ходе сначала натягивается пружина до состояния, достаточного для деблокирования кулачкового валика или шайбы, при этом мгновенно происходит замыкание контакта. Концевые выключатели включаются в цепь управления, а также при силе тока до 100 А – устанавливаются в цепи главного тока, из-за чего выключение в конечном положении происходит независимо от контактов и реле.

Следует различать концевые выключатели по назначению: предохранительные концевые выключатели, согласно положению об охране труда, по условиям эксплуатации не должны работать регулярно, так как они выполняют только предохранительную функцию, значит, имеют небольшое число ожидаемых включений. Рабочие выключатели, которые необходимы для перехода к полуавтоматическому и автоматическому режиму, наоборот, должны срабатывать при каждом рабочем цикле, а также выдерживать большое число включений соответственно; их не допускается использовать в качестве предохранительных, если положения об охране труда требуют применения концевого выключателя для остановки движения, например, для ограничения положения груза в механизмах подъема.

На примере выключателя электродвигателя для ограничения поступательного движения, выпускаемого Народным предприятием

электротехнических приборов, г. Белитц-Эренберг, рассмотрим принцип действия данного рычажного механизма, который приводится в движение приводной линейкой. После осуществления поворота рычага на угол включения, равный $30 - 40^\circ$ (зависит от типоразмера выключателя) валик проворачивается вследствие рабочего хода натягиваемой пружины, тем самым производя включение. Контакты различаются как нормально-замкнутые и нормально-разомкнутые, их число различно в допускаемых пределах. В некоторых случаях может потребоваться поворот рычага на дополнительный угол выбега $25 - 32^\circ$ для обеспечения надежности включения из-за колебаний усилий в пружине или в элементах блокировки. Если превышен полный угол, то может произойти поломка выключателя. В выключатель заливается масло, которое служит для охлаждения и снижения износа подвижных элементов.

Существует шпindelный конечный выключатель того же завода-изготовителя, приводимый в движение непосредственно от вращающегося вала, который контролируется приводом либо цепной передачей и преобразует вращательное движение ходового винта в поступательное движение подвижной гайки. Подвижная гайка поворачивает корытообразную балку и через рычаг с роликом контактный валик вследствие прохождения ограничительного пути, который огражден с двух сторон упорами. Если пружина мгновенного действия сломалась или возникло пригорание контактов предохранительного устройства, происходит мгновенное механическое отключение.

Пределы рабочего хода шпindelного выключателя составляют $48 - 60$ оборотов при выбеге $12 - 19$ оборотов, а частота вращения шпинделя определяется не ниже 5 об/мин и не выше 100 об/мин, что определяет необходимое передаточное число по отношению к валу приводного механизма. В том случае, если путь выбега превышен, выключатель мгновенно возвращается в нулевое положение. Данное положение необходимо учитывать, если выключатель должен срабатывать в один и тот же момент движения приводного механизма. Достаточный путь выбега необходим при предконечном включении, при котором происходит дополнительный рабочий ход на пониженных скоростях, прежде чем сработает конечный выключатель.

Редукторные конечные выключатели являются простыми механизмами, имеющими зубчатые передачи между приводным и кулачковым валом. Настраивается положение включения поворотом кулачковых шайб, сидящих на кулачковом валике. Следует отметить, что данный выключатель может работать при более высоких частотах вращения привода, так как передаточное отношение между кулачковым и приводным валом выбирается в широком диапазоне. Редукторные выключатели могут применяться в качестве рабочих конечных выключателей с высокой частотой срабатывания из-за высокой износостойкости и сочетания электрического и механического устройства.

При необходимости контроля общего пути или разности пути ввиду выполнения двух отдельных движений, к примеру, при ограничении движений грейфера, следует включить дифференциальную передачу перед конечным выключателем, в котором два конечных выключателя объединены в одном приборе. Вращательное движение валов муфт, которые приводятся в движение

поддерживающей и замыкающей лебедками, взаимно накладывается на дифференциальную передачу и одновременно передается с соответствующим понижением на кулачковые валы движение подъема и движение замыкания грейфера. Также редукторные переключатели с дифференциальной передачей имеют применение на безмуфтовых грейферных лебедках и на стреловых кранах при перемещении груза по прямой траектории, а также при ограничении высоты подъема крюка на крановых тележках с главным и вспомогательным подъемом.

При работе кранов следует учесть опасность столкновения подъемных машин, перемещающихся по общему крановому пути, а также предотвратить их соударение на полной скорости передвижения; краны следует предохранить от того, чтобы груз или порожний грузовой крюк крана, движущегося по верхнему ярусу, не мог столкнуться с движущимся под ним краном или зацепиться за него. Для таких случаев применяются ограничители сближения.

Недостатком поиска решений данного вопроса является то, что сама проблема теоретически в литературе еще не разработана, а именно существуют лишь общие расчеты влияния буферного удара [3, 4]. Пределом, выше которого необходимо применение ограничения сближения кранов по причине предотвращения динамического удара от столкновения, в положении об охране труда указывается эмпирическая скорость сближения 64 м/мин, которая является суммой скоростей передвижения двух кранов.

В настоящее время были разработаны многочисленные ограничители сближения, которые подразделяются на механические и электрические, а также устройства с направленным излучением; они могут применяться как для подачи предупредительного сигнала, так и для автоматического отключения сближения.

Вследствие больших требований к эксплуатации кранов выявили определенный перечень, которому должен удовлетворять любой ограничитель:

1. Надежность работы и малая стоимость оборудования и обслуживания.
2. Строгая периодичность контроля и необходимость технического обслуживания не чаще, чем для других узлов крана.
3. Способность эксплуатироваться независимо от возможного обесточивания соседнего крана.
4. Возможность применения для нескольких кранов, которые работают на одном подкрановом пути.
5. Мгновенное срабатывание на различных безопасных расстояниях между кранами в зависимости от скорости их сближения; при постоянной скорости сближения расстояние в момент срабатывания должно быть одинаково.
6. Сокращение расстояния в момент срабатывания наполовину при неподвижном соседнем кране.
7. Применение на кранах, которые передвигаются на разных ярусах.
8. Учет положения стрелы на стреловых поворотных кранах или стреловых тележках козловых кранов.

Механические устройства предохранения приводятся в движение жесткими элементами или вспомогательными канатами, имеющими концевые выключатели. Рассматривая самое простое исполнение, на каждом кране устанавливается жесткая линейка, которая воздействует на рычажный концевой

выключатель, установленный на другом кране. Из-за возможного перекоса кранов и недостаточной жесткости линейки применение таких устройств ограничивается большими расстояниями в момент отключения – до 3 метров. Но данные устройства безопасности не являются надежными, однако их можно усовершенствовать, снабдив рычаги отключения поворотными скобами, или выполнить их поворачивающимися вокруг своей горизонтальной или вертикальной оси. Другой способ модернизации состоит в том, что воздействующие элементы могут опираться своим консольным концом на подкрановый рельс или на дополнительную шину вследствие закрепленного на них колеса, повышающего их жесткость.

Механические устройства со вспомогательными кранами настраиваются на различные расстояния сближения, они работают в качестве конечных выключателей, и более того имеют высокую эксплуатационную надежность.

Несмотря на некоторые преимущества механических ограничителей, большинство кранов имеют электрический привод и электрическую систему управления, поэтому целесообразно будет использовать электрические ограничители сближения. Электрические ограничители определяются схемами выключения, учитывающими дополнительные параметры, как скорость передвижения, положение стрелы и др. Их можно разделить на четыре принципа действия: использование секционированной троллей цепи управления; использование комбинации токонесущей шины, которая контролирует фактическое положение, и шины для подачи сигнала; расположение вдоль подкранового пути провода с высоким сопротивлением; использование шаговых переключателей.

В процессе эксплуатации подъемно-транспортных машин обеспечение безопасности является приоритетной задачей, которая требует комплексного подхода и применения современных технологий. В данной статье проанализированы ключевые аспекты работы устройств безопасности. Эти механизмы играют важную роль в профилактике аварийных ситуаций и защите операторов, а также вспомогательного персонала на предприятиях.

Необходимо отметить, что выбор конкретного устройства зависит от специфики работы и задач, стоящих перед оборудованием. Важным аспектом остается необходимость учета множества факторов, включая потенциальные неисправности и варианты их устранения [5, с. 34]. Современные электрические ограничители, рассматриваемые в работе, представляют собой более гибкие и эффективные решения, чем традиционные механические аналоги, поскольку они могут учитывать динамические параметры, такие как скорость и положение стрелы крана.

В конечном итоге, адекватная реализация технологий безопасности будет способствовать созданию более безопасных условий труда, снижению рисков аварий и научно-техническому прогрессу в области подъемно-транспортных машин. Поскольку вариативность конструкций и задач, с которыми сталкиваются операторы, велика, важно продолжать исследование и разработку новых эффективных устройств, которые обеспечат высокую степень безопасности и надежности на всех уровнях эксплуатации.

Список литературы:

1. Безопасность подъемно-транспортных машин [Текст]: учебное пособие / Министерство образования и науки Российской Федерации, Костромской государственный университет, Кафедра техносферной безопасности; составители: Г. К. Букалов, Е. В. Кривошеина. - Кострома: КГУ, 2017. - 111 с.: ил., табл.; 21 см.; ISBN 978-5-8285-0909-6: 50 экз.
2. Шеффлер, М. Грузоподъемные краны: в 2-х кн. Кн. 2. / М. Шеффлер, Х. Дресиг, Ф. Курт. – Сокр. пер. с нем. / Пер. М.М. Рунов, В.Н. Федосеев; Под ред. М.П. Александрова. – М.: Машиностроение, 1981. – 287 с.
3. Scheibner, J.: Die Kräfte beim Fahren einer Laufkatze gegen Puffer. Hebezeuge u. Fordermittel 3 (1963), S. 266 – 270.
4. Sedlmayer, F.: Dynamische Wirlang der Putterkrafte auf die Tragkonstruktion der Krane. Der Stahlbau 33 (1962), S. 15 ff.
5. Колосов, Олег Сергеевич. Технические средства автоматизации и управления: учебник для вузов / О. С. Колосов [и др.]; под общей редакцией О. С. Колосова. – Электрон. дан. – Москва: Юрайт, 2022. – 291 с. – (Высшее образование). – URL: <https://urait.ru/bcode/489157> (дата обращения: 28.11.2024).

© Калашникова Е. О., 2024

ДОБЫЧА КАМЕННОГО УГЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

студент **Фокин Никита Павлович**,
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент **Зуева Елена Павловна**,
Брянский государственный технический университет,
г. Брянск, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассматривается проектирование механизма добычи угля с использованием новых технологий. В процессе проектирования выбираются и рассматриваются различные коэффициенты запаса прочности конвейера, а также различные варианты компоновки привода. Создание протяженного конвейера позволяет упростить и ускорить добычу полезного ископаемого, необходимого для энергетики.

Ключевые слова: уголь, конвейер, коэффициент запаса, напряжения, мощность двигателя, стоимость.

COAL MINING USING MODERN TECHNOLOGIES

Student **Fokin Nikita Pavlovich**,
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor
Zueva Elena Pavlovna,
Bryansk State Technical University,
Bryansk, Russian Federation

Abstract. The paper considers the design of a coal mining mechanism using new technologies. During the projection process, various safety factors of the conveyor are selected and considered, as well as various drive layout options. The creation of an extended conveyor makes it possible to simplify and accelerate the extraction of minerals necessary for energy.

Keywords: coal, conveyor, stock ratio, rubber belt, voltage, cost.

В 1879 году Томас Эдисон изобрел лампу накаливания. С этого момента в домах начало появляться электрическое освещение. Самые первые электростанции были спроектированы под наиболее дешевое и легкодоступное топливо – каменный уголь и назывались тепловыми. Только одна Российская империя за год добывала 12,3 миллиона тонн этого полезного ископаемого. В начале XX века половину электроэнергии США вырабатывали теплоэлектростанции (ТЭС). В наше время, несмотря на огромный прогресс во всех технологиях, каменный уголь до сих пор добывается и активно используется. Его применяют в металлургии, химической промышленности и в энергетике. Как много лет назад, каменный уголь является важнейшим топливом

для тепловых электростанций. По данным 2022 года, доля электроэнергии, полученной сжиганием каменного угля на ТЭЦ, во всем мире составляет 35,4 %.

Каменный уголь является полезным ископаемым. Его добывают как открытым способом, так и шахтным. При открытом способе пласты каменного угля взрывают, разбирают экскаваторами и вывозят карьерными самосвалами. При добыче угля шахтным способом уголь необходимо поднять на поверхность. Для этого используются конвейеры высокой производительности. Раньше требовалось большое количество конвейеров малой длины, но современные материалы позволяют заменить их одним конвейером большой протяженности.

Рассмотрим применение современных технологий при проектировании конвейера для шахтного способа добычи каменного угля. Протяженность конвейера – 4583 м, высота подъема – 585 м, производительность – 2400 т/ч.

Для упрощения расчетов, воспользуемся программой Excel 2016. Занесем известные данные в таблицу 1.

Таблица 1. Исходные данные

Исходные характеристики конвейера	
Общая длина трассы м, L	4583
Высота подъема м, H	585
Производительность Q_{pm} , т/ч	2400
Груз	Уголь
Участки трассы	
Участок 1 – Горизонтальный, м	328
Участок 2 - Наклонный с углом 3,46 градусов, м	846
Участок 3 - Наклонный с углом 9 градусов, м	3409
Характеристики угля	
Плотность, т/м ³	1
Подвижность частиц	средняя
Угол откоса в покое	40
Угол откоса в движении	15

Произведем первичный расчет конвейера. Он необходим для выбора длины ленты, определения примерного сопротивления и предварительной необходимой мощности двигателя. Согласно труду А. О. Спиваковского [1, с. 203], выберем необходимые коэффициенты и занесем их в таблицу 2.

Таблица 2. Коэффициенты

Коэффициенты	
K_β по подвижности	0,97
K_Π по опорам	470
K_D по длине	1,1
w_B по условиям работы	0,032
w_H нижняя ветвь	0,03
X по крупности	2,5
K_3 запаса	1,1

Произведенный расчет представим в таблице 3.

Таблица 3. Первичный расчет

Расчет ленты и двигателя		
Ширина ленты	$B = 1,1 \cdot \left(\left(\frac{Q_{pm}}{K_\Pi \cdot K_\beta \cdot \vartheta \cdot p} \right)^2 + 0,5 \right)$	1,2
Проверка на кусковатость	$B_k = X_a + 200$	450
Сила тяжести насыпного груза q_Γ Н/м	$q_\Gamma = \frac{g \cdot Q_{p.c.}}{3,6\vartheta}$	1308
Сила тяжести вращающихся частей роlikоопор верхней ветви $q_{p.v.}$	$q_{p.v.} = \frac{g \cdot m_{p.v.}}{l_{p.v.}}$	337
Сила тяжести вращающихся частей роlikоопор нижней ветви $q_{p.n.}$	$q_{p.n.} = \frac{g \cdot m_{p.n.}}{l_{p.n.}}$	126
Сила тяжести ленты q_L	$q_L = g \cdot m_L \cdot B$	239
Приближенное общее сопротивление W	$W = K_D \cdot L \cdot \left((q_\Gamma + q_{p.v.} + q_L) \cdot w_B + (q_{p.n.} + q_L) \cdot w_H \right) + q_\Gamma \cdot H$	1124348,626
Приближенная мощность электродвигателя N КВт	$N = \frac{K_3 \cdot W \cdot \vartheta}{1000 \cdot \eta}$	7730

На основе первичного расчета конвейера выберем по стандартному ряду скорость конвейера, ширину ленты, а также роlikоопоры. Роlikоопоры являются стандартными изделиями и выбираются по каталогам производителя. Все результаты занесем в таблицу 4.

Таблица 4. Характеристики конвейера

Дополнительные характеристики	
Примем желобчатые трехроlikовые опоры с углом наклона боковых роlikов 20	
Примем скорость конвейера $v=5$ м/с, так как крошение не понижает качество угля	5
Примем ширину ленты 1400 мм	1400
Примем, что условия работы тяжелые, но температура в шахте постоянна	
Для роlikоопор воспользуемся каталогом первоуральского завода горного оборудования	
Верхние роlikоопоры	ЖГ140-159-20
Масса вращающихся частей $m_{p.v.}$, кг	68,7
Нижние роlikоопоры	НГ-140-159
Масса вращающихся частей $m_{p.n.}$, кг	51,51
Расстоянии между опорами верхней ветви $l_{p.v.}$	1,3
Расстояние между опорами нижней ветви $l_{p.n.}$	2,6
Масса одного метра ленты m	17,4
Примем, что используется крупный уголь, размер кусков a	100
КПД для приводов	0,8

Произведем приближенный тяговый расчет. Наиболее важным коэффициентом для расчета является коэффициент запаса прочности K_0 . Согласно методикам А. О. Спиваковского и Р. Л. Зенкова, этот коэффициент вычисляется. Производя расчеты по методике Р. Л. Зенкова [2, с. 128], коэффициент запаса равняется 7, а по методике А. О. Спиваковского – 10. Данные значения показывают, что проектирование такого длинного конвейера с приводами исключительно в головной части нецелесообразно, но современные технологии и материалы сделали возможным выбор этого коэффициента. Коэффициент запаса выбирается исходя из перегружаемого груза и необходимой долговечности работы конвейера. По методике голландского завода «Данлоп-Енерка» (DUNLOP) [3, с. 7], выберем коэффициент запаса равным 4. Данный коэффициент делает целесообразным проектирование конвейера такой производительности и протяженности, а также позволяет выбрать стандартную ленту любого производителя, что ее значительно удешевляет. Занесем данные, необходимые для расчета, в таблицу 5.

Таблица 5. Коэффициенты

μ по трению ленты	0,25
K_0 запас прочности	4
$K_{ст}$ по стыку	0,9
$K_{ТТ}$ по трассе	0,85
K_p по режиму	0,95
K_6 однобар., двухбар., натяжной и отклоняющие	1
	1,1
	0,8
	0,6
$K_{п.с.}$ Запас при пуске	1,2
$w_{в.п.}$	0,0384
$w_{в.н.}$	0,036

Произведем приближенный тяговый расчет по методике В. П. Дунаева [4, с. 210] и занесем данные в таблицу 6.

Таблица 6. Приближенный тяговый расчет

Тяговый расчет		
Расчетное натяжение ленты $S_{нб1}$ с одним барабаном	$S_{нб1} = \frac{K_3 \cdot W \cdot e^{\mu L}}{e^{\mu L} - 1}$	2124712,5
Расчетное натяжение ленты $S_{нб1}$ с двумя барабанами	$S_{нб1} = \frac{K_3 \cdot W \cdot e^{\mu L}}{e^{\mu L} - 1}$	1498486,7
Расчетное натяжение ленты $S_{нб1}$ с тремя барабанами	$S_{нб1} = \frac{K_3 \cdot W \cdot e^{\mu L}}{e^{\mu L} - 1}$	1334157,1
Коэффициент запаса K'	$K' = \frac{K_0}{K_{ст} \cdot K_{ТТ} \cdot K_p}$	5,5
Необходимая прочность ленты $S_{пт}$	$S_{пт} = \frac{S_{нб1} \cdot K'}{B}$	5891,1
Проверка выполнена	$\frac{S_{нб1}}{B} \leq S_{пт.д.}(1260)$	1070,3
Диаметр барабана, если один барабан	$D = D_6 K_6$	2000,0
Диаметр, если много барабанов	$D = D_6 K_6$	2200,0
Диаметр для всех отклоняющих барабанов	$D = D_6 K_6$	1200,0
Диаметр натяжного барабана	$D = D_6 K_6$	1600,0

Коэффициент использования прочности Φ_2 с одним барабаном	$\Phi_2 = \frac{e^{\mu \Sigma L} - 1}{e^{\mu \Sigma L}}$	0,6
Коэффициент с двумя барабанами Φ_2	$\Phi_2 = \frac{e^{\mu \Sigma L} - 1}{e^{\mu \Sigma L}}$	0,8
Коэффициент с тремя барабанами	$\Phi_2 = \frac{e^{\mu \Sigma L} - 1}{e^{\mu \Sigma L}}$	0,9
Мощность ЭД для первого барабана	$N_1 = \frac{N \cdot K_\phi}{K_\phi + 1}$	3864,9
Мощность ЭД для второго барабана	$N_1 = \frac{N}{K_\phi + 1}$	3864,9
Мощность ЭД для третьего барабана		2500,0
Окружные усилия на первом барабане	$W_1 = \frac{W \cdot K_\phi}{K_\phi + 1}$	562174,3
Окружные усилия на втором барабане	$W_1 = \frac{W}{K_\phi + 1}$	562174,3
Окружная сила на третьем барабане		374782,7
Сбегающая лента если 1б	$S_{сб1} = \frac{W \cdot K_3}{e^{\mu L} - 1}$	887929,0
Сбегающая лента если 2б	$S_{сб2} = \frac{W_2 \cdot K_3}{e^{\mu_2 L_2} - 1}$	443964,5
Сбегающая лента если 3б	$S_{сб3} = \frac{W_3 \cdot K_3}{e^{\mu_3 L_3} - 1}$	295976,2
Натяжение, сбегающее с первого и набегающее на второй	$S_{нб2} = S_{сб1} = S_{сб2} \cdot e^{\mu_2 L_2}$	1062356,2
Натяжение сбегающего со второго на третий	$S_{нб3} = S_{сб3} = S_{сб3} \cdot e^{\mu_2 L_2}$	708237,2
Тяговый фактор первого барабана	$e^{\mu_1 L_1} = \frac{S_{нб1}}{S_{сб2} \cdot e^{\mu_2 L_2}}$	1,4
Общий тяговый фактор	$e^{\mu \Sigma L}$	5,73
Давление на поверхность барабана	$p_L = \frac{360 \cdot S_{нб1}}{L_1 \cdot \pi \cdot B \cdot D_6} \cdot \frac{e^{\mu L} + 1}{e^{\mu L}}$	0,617
Давление на поверхность первого барабана	$p_L = \frac{360 \cdot S_{нб1}}{L_1 \cdot \pi \cdot B \cdot D_6} \cdot \frac{e^{\mu_1 L_1} + 1}{e^{\mu_2 L_2}}$	0,435
Давление на поверхность первого барабана, когда их 3	$p_L = \frac{360 \cdot S_{нб1}}{L_1 \cdot \pi \cdot B \cdot D_6} \cdot \frac{e^{\mu_1 L_1} + 1}{e^{\mu_2 L_2}}$	0,310

Также был произведен проектный расчет нескольких вариантов компоновок привода конвейера. Вариант компоновки с одним приводом не

прошел проверку по давлению на поверхность первого и единственного барабана. Выберем вариант исполнения с двумя двигателями для каждого привода. Современные технологии и производства, конечно, позволяют производить электродвигатели с мощностью 4000 КВт, но он будет в три раза дороже двух двигателей мощностью 2000 КВт, а выбор стандартного редуктора и других комплектующих невозможен для двигателя такой мощности. Также нецелесообразно использование варианта с тремя приводами. Для варианта с двумя приводными барабанами нам потребуется 4 двигателя мощностью 2000 КВт, а для варианта с тремя приводными барабанами – 6 двигателей мощностью 1500 КВт. Согласно каталогам производителей [5, с. 2; 6, с. 4], разница в цене между такими двигателями крайне мала, а размерами они практически не отличаются. Выберем для механизма вариант исполнения с двумя приводными барабанами и четырьмя двигателями. Дальнейшие вычисления являются стандартными и современных технологий не используют.

Таким образом, современные технологии позволяют ускорить и упростить добычу полезных ископаемых для энергетики. С конца XX века появилась возможность уменьшать коэффициенты запаса почти в два раза, не теряя в надежности. Также мы можем использовать большие и очень мощные двигатели для механизмов. Установка одного, хоть и длинного конвейера, куда проще, чем нескольких малых.

Список литературы:

1. Спиваковский, А. О. Транспортирующие машины: учеб. пособие для машиностроительных вузов / А. О. Спиваковский, В. К. Дьячков – 3-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1983. – 487 с.
2. Зенков, Р. Л. Машины непрерывного транспорта: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Подъемно-транспортные машины и оборудование» / Р. Л. Зенков, И. И. Ивашков, Л. Н. Колобов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 432 с.
3. DUNLOP Belting Conveyor Belt Design Manual / [Электронный ресурс] //Dunlop:[сайт].—
URL: https://www.ckit.co.za/secure/conveyor/troughed/belt_tension/dunlop-belting.htm дата обращения: 20.11.2024).
4. Дунаев, П. Ф. Конструирование узлов и деталей машин: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. – 10-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 496 с. [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=43710].
5. Двухполюсные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором серии АТД4 типа 4АЗМ (1) / [Электронный ресурс] // Группа ВП-Альянс: [сайт]. — URL: https://vp-alliance.ru/f/tth_4azm.pdf (дата обращения: 22.11.2024).
6. Асинхронные короткозамкнутые двигатели общепромышленного назначения / [Электронный ресурс] // Ленинградский электромеханический завод: [сайт]. — URL: <https://lemez.nt-rt.ru/images/showcase/lemz-catalog.pdf> (дата обращения: 22.11.2024).

© Фокин Н. П., 2024

АНАЛИЗ ВИСБРЕКИНГА И ДРУГИХ ТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЦЕЛЯХ МОДЕРНИЗАЦИИ АФИПСКОГО НПЗ

студент Камнева Дарья Сергеевна,
студент Назирова Лейла Агабалаевна,
студент Шемякина Валерия Дмитриевна,
науч. руководитель: доцент Дерюгина Ольга Павловна,
Тюменский индустриальный университет
г. Тюмень, Российская Федерация

Аннотация. В научной статье рассматриваются виды термических процессов на основе их сравнения. Выявлены их основные преимущества и недостатки, на основе которых был проведен анализ наиболее перспективных решений по модернизации предприятия Афипского НПЗ с целью замены оборудования висбрекинга.

Ключевые слова: висбрекинг, термолиз, гидрокрекинг, гудрон.

ANALYSIS OF VISBREAKING AND OTHER THERMAL PROCESS FOR THE PURPOSE OF MODERNIZING THE AFIP REFINERS

Student Kamneva Daria Sergeevna,
Student Nazirova Leila Agabalaevna,
Student Shemyakina Valeria Dmitrievna,
Academic Advisor: Associate Professor Deryugina Olga Pavlovna,
Tyumen Industrial University,
Tyumen, Russian Federation

Abstract. The paper discusses ways to use hydrogen to generate electricity. As a result of the analysis, two main ways of working with hydrogen are selected and compared – the creation of fuel batteries and the creation of synthetic fuels.

Keywords: hydrogen, synthetic fuel, fuel cell, hydrocarbon, ethanol, methanol.

Висбрекинг является одним из видов термических процессов в нефтепереработке. Стоит отметить, что данный вид термолиза относится к мягкой форме термического крекинга и проводится в условиях температур от 400 до 600 °С и до 5 МПа.

Процесс висбрекинга представляет собой важный этап переработки углеводородного сырья, позволяющий получить котельное топливо пониженной вязкости от изначального сырья, сравнительно небольшой выход светлых фракций, таких как бензин и дизельное топливо.

В России на данный момент используются два вида висбрекинга, отличающиеся между собой оборудованием и условиями процесса получения

котельного топлива: висбрекинг-установка с реакционной камерой и висбрекинг-установка с сокинг-секцией [1].

Висбрекинг-установка с реакционной камерой характеризуется проведением основного процесса в реакционной камере (реакторе). Температурный режим находится в диапазоне от 450 до 455, давление 1,7 МПа. Охлаждение смеси перед подачей ее в реактор происходит за счет холодного газойля. Совместно с основным продуктом получают нестабильный бензин в сепараторе, после отделения его от жирных газов. Образовавшийся тяжелый остаток – котельное топливо – отправляется на вакуумную ступень.

Достоинствами процесса являются:

- низкая скорость закоксовывания аппаратов;
- низкие эксплуатационные затраты;
- длительное время межремонтного пробега (до 1 года);
- высокая селективность процесса;
- низкие перепады давления.

Недостатки:

- сложность очистки печи от кокса (необходимо сложное по структуре оборудование).

Висбрекинг-установка с сокинг-секцией – главная отличительная особенность данной установки заключается в том, что основной процесс висбрекинга проводится не в реакторе, а в змеевике печи. Температура в печи достигает 480 °С, давление – до 5 Мпа. Нагрев исходной смеси происходит за счет отдачи тепла дымовых газов при их охлаждении, исходящих – из топочной камеры.

Преимущества:

- меньшие капитальные затраты;
- высокая гибкость подведения тепла;
- большой выход тяжелого газойля.

Недостатки:

- высокая скорость отложения кокса в печи;
- высокие эксплуатационные затраты;
- значительные перегревы стенок змеевика [2].

На рисунке 1 представлена технологическая схема процесса висбрекинга с реакционной камерой, где указаны по потокам необходимое сырье, выходы по дистиллятам и отмечено используемое оборудование.

Сырье поступает в реактор 3, где под высоким давлением (около 1,7 МПа) происходит крекинг. Основные продукты — это углеводородные газы, бензин и жидкие фракции с точкой кипения 200-450 °С.

Полученная смесь продуктов проходит через редукционный клапан и попадает в фракционирующую колонну 8. Перед этим смесь охлаждается за счет подачи холодного газойля через теплообменник.

В колонне 8 разделяются бензиновые пары, которые затем конденсируются. Остальные газы проходят охлаждение и отделяются в сепараторе 13, где жирные газы отделяются от нестабильного бензина. Часть бензина идет на орошение

колонны для увеличения эффективности разделения. Легкая керосиновая фракция отбирается из колонны и выводится с установки насосом 10.

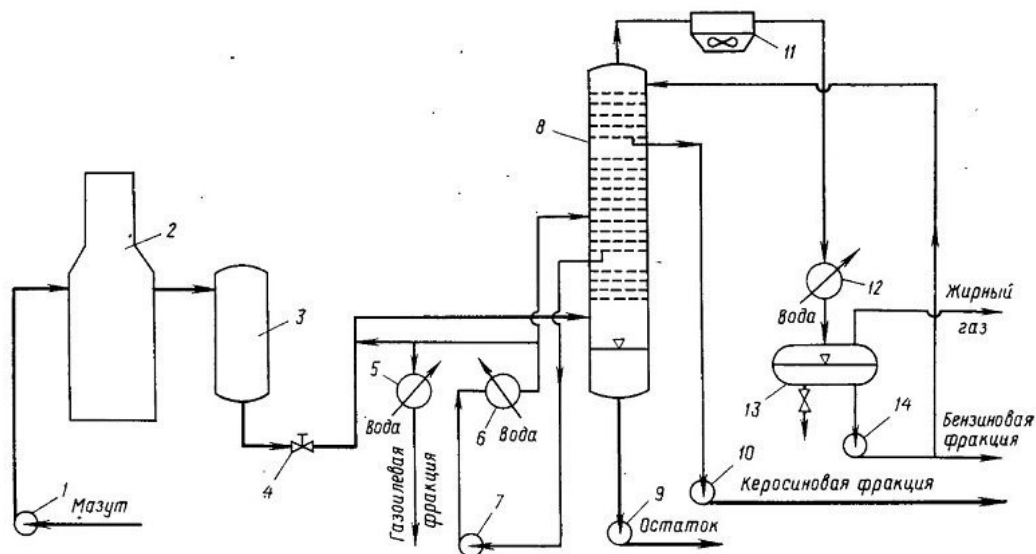


Рисунок 1. Технологическая схема процесса висбрекинга с реакционной камерой:

- 1 – змеевик; 2 – трубчатая печь; 3 – реактор; 4 – редукционный клапан; 5 – холодильник; 6 – теплообменник; 7 – нагнетаемый насос; 8 – средняя зона колонны; 9 – насос; 10 – насос; 11 – аппарат воздушного охлаждения; 12 – водяной холодильник; 13 – горизонтальный сепаратор; 14 – насос

Крекинг-остаток (позднее используемый как котельное топливо) отводится на следующую стадию переработки — вакуумную ступень.

Для повышения выхода легких фракций предусмотрено использование выносной отпарной колонны, а также дополнительной реакционной камеры при низких температурах, что позволяет достичь необходимых показателей конверсии.

Бензин и газ (в сумме 3-6 % от массы исходного сырья), получаемые в процессе висбрекинга, отделяются от смеси пара и жидкости с помощью ректификации; остаток крекинга, который кипит выше 200 °С, используется как жидкое топливо для котлов (выход около 90 %). Газы направляют на установку газодифракционирования, а бензин после очистки с использованием глубокого гидрирования и каталитического риформинга применяется как составная часть автомобильного топлива.

В некоторых случаях из крекинг-остатка в специальном испарителе выделяют газойлевые фракции (с диапазоном кипения 200-360 °С и 360-450 °С; выход 10-25% по массе). Первая фракция после гидроочистки используется в качестве дизельного топлива.

Чтобы достичь необходимой вязкости котельного топлива, оставшуюся часть крекинг-остатка разбавляют, например, газойлем, полученным в процессе каталитического крекинга. Главным реакционным оборудованием установки висбрекинга является трубчатая печь. Если процесс осуществляется при

пониженных температурах (440-460 °С) и добиться нужной степени конверсии в печи сложно, вводится дополнительная реакционная камера. Благодаря ее значительному объему (30-50 м³) парожидкостная смесь «вызревает» в ней нужное время, что способствует углублению висбрекинга [3].

В качестве альтернатив были рассмотрены другие способы переработки тяжелых остатков.

Процесс замедленного коксования в необогреваемых камерах направлен на получение нефтяного кокса в качестве основного продукта, а также легких и тяжелых газойлей, бензина и газа. Замедленное коксование – это полунепрерывный процесс, в ходе которого нагретое остаточное нефтяное сырье переносится в большие барабаны коксования и остается в печи до завершения реакции крекинга.

В процессе замедленного коксования используются атмосферные и вакуумные остатки нефти с низким содержанием серы. Из данного сырья в промышленности получают губчатый кокс. Чтобы синтезировать высококачественный игольчатый кокс, применяют более термически устойчивое сырье, богатое ароматическими соединениями, например, крекинг-остатки и каталитические газойли. Ключевыми показателями качества сырья для установок замедленного коксования (УЗК) являются плотность, содержание серы и коксуемость по Конрадсону, которое определяется на основе коксового остатка, остающегося после выпаривания и пиролиза нефтепродукта.

Основные параметры качества получаемого кокса включают истинную плотность, содержание серы, зольность и микроструктуру. Главным потребителем кокса является алюминиевая промышленность, где кокс используется в качестве восстановителя (анодная масса) при производстве алюминия из руды. Кроме того, кокс применяется как сырье для производства графитированных электродов для сталеплавильных печей, а также для получения карбидов (кальция и кремния) и сероуглерода.

Гидрокрекинг – каталитический процесс переработки различных фракций сырья с использованием водородсодержащего газа под давлением. Введение холодного газа, содержащего водород, в промежутки между слоями катализатора помогает поддерживать равномерную температуру сырьевой смеси в реакторе. Главной целью гидрокрекинга является производство гидроочищенных легких фракций моторных топлив и сжиженных газов из более тяжелого нефтяного сырья, таких как вакуумные и атмосферные газойли, газойли термического и каталитического крекинга, деасфальтизаты, мазуты и гудроны. В ходе процесса используют катализаторы, которые сочетают в себе характеристики крекинга и гидрогенизации для оптимального превращения конкретного сырья в желаемый продукт.

Основные компоненты оборудования для гидрокрекинга включают реакторы высокого давления, блоки фракционирования низкого давления, насосы, теплообменники, нагревательные печи и компрессоры для подачи циркулирующего водородсодержащего газа. В настоящее время в промышленности применяются различные процессы гидрокрекинга, большинство из которых используют реакторы с неподвижным слоем. В них

сырье в жидкой фазе проходит поток вниз через слои катализатора при давлении 8-20 МПа и температурах около 300-450 °С. Среди наиболее распространенных схем выделяют одноступенчатый и двухступенчатый гидрокрекинг. Также существуют варианты с однопроходным или одностадийным процессом с рециклом, а также двухстадийный с рециклом.

Гидрокрекинг не только увеличивает глубину переработки нефти, но и повышает гибкость технологических процессов предприятия и качество конечного продукта, значительно повышая эффективность его работы. Тем не менее, гидрокрекинг гудрона, с помощью которого возможно достичь глубины переработки до 85 %, требует предварительной подготовки сырья, такой как вакуумная разгонка и деасфальтизация, и осуществляется при повышенном давлении от 20 до 30 МПа с использованием дорогостоящих оборудования и катализаторов. Наличие тяжелых нефтяных остатков может быстро снижать активность катализатора из-за содержания гетероатомов и металлов, что требует частой замены и подпитки свежим катализатором. Кроме того, высокая потребность в водороде может увеличивать затраты, что делает гидрокрекинг достаточно затратным процессом с экономической точки зрения.

Процесс получения технического углерода (сажи) представляет собой высокотемпературный термолиз (выше 1200 °С) тяжелого высокоароматизированного сырья, осуществляемый при низком давлении и короткой продолжительности, что отличает его от других термических процессов переработки. Этот процесс можно рассматривать как пиролиз, проводимый в более жестких условиях, с целью не получения газов, насыщенных олефинами (так называемым пиролизным газом), а производства твердого высокодисперсного углерода, который является результатом глубокого термического разложения углеводородного сырья на составляющие элементы.

Технический углерод состоит из полидисперсных мельчайших частиц углерода, получаемых при неполном сгорании углеводородного сырья. Он представляет собой один из крупнейших по объему нефтехимических продуктов, его производство в мире превышает 13 миллионов тонн в год.

В России основной метод производства технического углерода реализуется в печах. Процесс протекает в условиях непрерывного турбулентного пламени в реакторах проточного типа при температурах от 1000 до 1500 °С. Жидкие углеводороды впрыскиваются форсунками в поток газов полного сгорания топлива, где происходят термоокислительные реакции. Реакционную смесь охлаждают путем впрыска воды, а технический углерод улавливают в циклонах, рукавных фильтрах или электрофильтрах.

Процесс получения нефтяных пеков, известный как пекование, представляет собой современный метод карбонизации, применяемый в нефтепереработке. Суть данного метода заключается в обогащении органического вещества углеродом при пониженном давлении и температуре 360–420 °С с длительным временем протекания реакции. В ходе этого процесса наряду с пеками также образуются газы и керосино-газойлевые фракции. Пек – это битуминозный материал черного или бурого цвета, который имеет блестящий раковистый излом. В обычных условиях он является твердым веществом, но при

нагревании выше температуры размягчения приобретает вязко-текучую консистенцию. Существует несколько способов получения пеков:

- вакуумной перегонкой;
- компаундированием различных видов сырья;
- термическая поликонденсация.

Классификация пеков по применению:

- пеки — связующие;
- пропитывающие пеки;
- брикетные пеки связующие (для частичного брикетирования углей перед их коксованием);
- пеки, используемые для получения углеродных волокон;
- специальные пеки;
- сырье коксования.

Процесс термоконденсации нефтяных остатков для получения пеков, несмотря на то, что он напоминает висбрекинг, отличается пониженной температурой (360 – 420 °С) и давлением (0,1 – 0,5 МПа). Продолжительность термолиза (от 0,5 до 10 часов) и оборудование более схожи с процессом замедленного коксования. Следует подчеркнуть, что пекование зачастую комбинируется с установкой замедленного коксования.

Для производства нефтяного пека используют остатки прямой перегонки нефти, таких как мазуты, полугудроны и гудроны, а также продукты переработки термического крекинга, пиролиза (например, смола) и высококипящие концентраты ароматических соединений и газойли, получаемые из дистиллятных продуктов.

Установка функционирует по полупериодической системе термического крекинга с перенасыщенным паром. Сырье вместе с рециркулятом, нагретое в печи до 500 °С, поступает в реакторный блок. Блок состоит из двух реакторов: один заполняется сырьем, а через другой с помощью крана-переключателя пропускают перегретый до 600 °С водяной пар. В результате происходит к выходу термокрекинг сырья и отпарка образующихся продуктов.

Поскольку все продукты перерабатываются в жидкой или газовой фазах, процесс не наносит ущерб экологии окружающей среды.

Обслуживание установки, благодаря отсутствию аппаратов высокого давления, отличается простотой и безопасностью при монтаже и ремонте [4].

Одним из нефтеперерабатывающих заводов, использующих висбрекинг, является Афипский нефтеперерабатывающий завод (ООО «Афипский НПЗ»), занимающий одно из первых мест по нефтеперерабатывающим предприятиям на Юге России. Деятельность завода прогрессирует с 1963 года. Возможности оборудования по переработке сырья достигают до 500 000 тонн в месяц. Предприятие занимается производством вакуумного газойля, газового бензина, мазута, дистиллятов газового конденсата. Глубина переработки составляет 78,5 %, выход светлых фракций – 56,7 %, что не соответствует энергетической стратегии страны до 2030 года. В связи с этим возникает острая необходимость

усовершенствования технологии переработки нефти для повышения глубины ее переработки.

Технологическая схема ООО «Афипский НПЗ» включает простые установки для неглубокой переработки нефти.

Установка по перегонке нефтепродуктов АТ-22/4 была введена в эксплуатацию в 1970 году и прошла реконструкцию в 2013 году. Ее мощность по переработке нефтяного сырья составляет 3,0 млн тонн в год.

Установка по перегонке нефтепродуктов СПГК (установка совместной переработки попутного **нефтяного** газа и газоконденсата) начала свою работу в 1964 году и была модернизирована в 2020 году. Мощность этой установки составляет 3,25 млн тонн сырья в год.

Блок деасфальтизации ГФУ также был введен в эксплуатацию в 1964 году и использует головные фракции, полученные на установках АТ-22/4 и СПГК.

Комбинированная установка, совмещающая вакуумную перегонку мазута и висбрекинг гудрона, ПМ-3, начала работать в 2017 году. Она состоит из трех секций:

- **Секция 100** предназначена для вакуумной перегонки прямогонного мазута, поступающего с установок АТ-22/4 и СПГК, с мощностью 3,3 млн тонн в год;
- **Секция 200** отвечает за висбрекинг гудрона из вакуумного блока, ее мощность составляет 1,65 млн тонн в год;
- **Секция 300** занимается утилизацией сероводорода, полученного в секции 200, мощностью 0,009 млн тонн в год.

Установка по перегонке нефтепродуктов АТ-22/4 включает в себя блок ЭЛОУ, блок атмосферной перегонки, узел подачи газообразного топлива и блок утилизации тепла. Продукты, получаемые из атмосферного блока, включают: сухой газ — используется в качестве топлива для печей, газовая фракция — сырье для блока ГФУ установки СПГК, стабильный бензин — компонент товарного бензина, керосиновая фракция — часть товарного топлива ТС-1, дизельная фракция — компонент судовых топлив и товарного дизельного топлива для экспорта, мазут — сырье для переработки в установке висбрекинга секции 100 и компонент котельных топлив.

Установка по перегонке нефтепродуктов СПГК обладает схожей структурой блоков, как и АТ-22/4.

Блок ГФУ включает в себя блок очистки сырья, блок ректификационных колонн, блок моноэтаноламиновой очистки сжиженных газов и факельную систему. Из этого блока выходят следующие продукты: сухой газ — топливо для печей, пропановая фракция — после очистки используется как компонент товарных сжиженных газов, бутановая фракция — после очистки также служит компонентом товарных сжиженных газов и товарных автобензинов, газовый бензин — является компонентом товарного бензина.

Комбинированная установка вакуумной перегонки мазута и висбрекинга гудрона ПМ-3 состоит из трех основных секций.

Секция 100 отвечает за вакуумную перегонку прямогонного мазута и включает в себя блок печей, вакуумную колонну, а также блок утилизации тепла от отходящих дымовых газов печей. Результатом работы этой секции являются: вакуумная дизельная фракция, которая используется в качестве компонента для судового и котельного топлива, экспортного дизельного топлива, вакуумный газойль – товарный продукт, а также гудрон, который служит сырьем для блока висбрекинга и компонентом котельного топлива.

Секция 200 предназначена для висбрекинга гудрона и состоит из печей, системы ректификации продуктов висбрекинга, установки очистки газов висбрекинга от сероводорода с использованием раствора моноэтаноламина (МЭА), блока утилизации тепла от дымовых газов печей, узла подготовки теплофикационной воды и узла сброса газов на факел. Продукты, получаемые в этой секции, включают газ – топливо для печей, бензин висбрекинга – товарный продукт, и остаток висбрекинга, который применяется как компонент котельного топлива.

Секция 300 отвечает за утилизацию сероводорода и включает в себя секции извлечения серы, дегазации жидкой серы с хранилищем дегазированной жидкой серы, термического окисления и грануляции. Товарным продуктом этой секции является техническая газовая гранулированная сера.

Сырьем для ООО «Афипский НПЗ» служат Западно-Сибирская нефть и смеси легких нефтей, которые поступают по железной дороге.

Компания производит следующие нефтепродукты:

- стабильный газовый бензин;
- экспортный технологический бензин;
- дизельное топливо;
- топочный мазут;
- маловязкое судовое топливо;
- вакуумный газойль;
- дистилляты газового конденсата;
- нефтяной висбрекинга;
- тяжелые нефтяные остатки;
- техническая газовая гранулированная сера.

Около 30 % общего объема производства реализуется на внутреннем рынке России, при этом основным продуктом является дизельное топливо, которое в основном продается на территории Российской Федерации.

Оценка экономической эффективности осуществляется на основе общего материального баланса компании, в который входят затраты на сырье, цена произведенной продукции и расходуемые энергетические ресурсы. Приведем в качестве примера в таблице 1 материальный баланс по установке висбрекинга.

Таблица 1. Материальный баланс по установке висбрекинг

Сырье	Объем, тонн в год	%
Гудрон ВТ (АНПЗ)	1 467 840	100
Продукты	Объем, тонн в год	%
Мазут висбрекинга	1 447 290	92,15
Газойль висбрекинга	20 550	1,31
Бензин висбрекинга	53 723	3,42
Газ сухой ВТ	38 164	2,43
Потери	10 862	0,69
Итого	1 570 589	100,00
Энергоресурсы	Объем, в год	
Электроэнергия, КВтч	11 907 967	
Вода свежая, м ³	260 487	
Оборотная вода, м ³	18 606 199	
Итого	30 774 653	

В ходе анализа состава нефти, используемой на Афипском НПЗ, были получены следующие результаты:

1. Представлены статистические данные, полученные в ходе исследований нефти, а также результаты определения узких фракций и расчет потенциального содержания «светлых» фракций для нефти Западно-Сибирского образца.

2. Определено потенциальное содержание светлых фракций, которое составило 54,1 % по массе для Западно-Сибирского образца и 51,4 % по массе для Хадыженского образца. Этот потенциал светлых дистиллятов позволит оценить направления для улучшения технологий на Афипском НПЗ и выполнить экономические расчеты моделей предприятия. Плотность при 15 °С образца равна 855,1 кг/м³, массовая доля серы составила 0,550 %. Определение плотности исполнено согласно ГОСТ 51069-97 «Метод определения плотности, относительной плотности и плотности в градусах API», прибор для измерений – ареометр. Исследование содержания серы в нефти исполнено в соответствии с требованиями ГОСТ 51947-2002 «Определение серы методом энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектроскопии». Что касается данных по результатам определения точки начала кипения нефтяного сырья, было определено, что точки начала кипения ПСП «Крымская» и ПСП «Хадыженская» достаточно высокие, более 43 °С, что говорит о низком содержании газовых фракций в составе сырья. По данным по кислотности нефти, что нефть «Хадыженская» содержит больше нафтеновых, карбоновых и оксикарбоновых кислот, фенолов и других соединений кислотного характера. Общее содержание ароматических углеводородов для широкой дизельной фракции по методу ГОСТ Р ЕН 12916, IP 391 «Определение содержания ароматических углеводородов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии» составила 25,5 % масс.

На основе проведенного анализа установок процессов термолиза и основного сырья предприятия более эффективным решением является внедрение установки гидрокрекинга как замена процессу висбрекинга, так как при процессе гидрокрекинга образуются наиболее ценные продукты передела, которые являются стабильными и не требуют дополнительного гидрооблагораживания в отличие от висбрекинга, отложения кокса в оборудовании сведены до минимума и повышается глубина переработки нефти. Был также рассчитан материальный баланс по гидрокрекингу, представленный в таблице 2.

Таблица 2. Расчетный материальный баланс новой установки гидрокрекинга ООО «Афипский НПЗ» [5].

Продукты	Объем, тонн в год	Объем, %
Газ кислый	93 684	3,5
Газ сухой	36 000	1,4
Сжиженные углеводородные газы	60 000	2,3
Легкий бензин	210 000	7,9
Тяжелый бензин	300 000	11,3
Дизельное топливо	1 793 823	67,7
Остаток	149400	5,6
Потери	7 500	0,3
Итого	2 650 407	100,00

Список литературы:

1. Сидоров, А. В. Совершенствование технологии переработки нефтяного сырья: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сидоров Алексей Владимирович; Губанский государственный технологический университет. – Краснодар, 2024. – 192 с. – Текст: непосредственный.
2. Висбрекинг – это один из видов термического крекинга: [сайт]. – 2012. – URL: <https://neftegaz.ru/tech-library/tekhnologii/141706-visbreking-eto-odin-iz-vidov-termicheskogo-krekinga/> (дата обращения: 24.11.2024). – Текст: электронный.
3. Установка висбрекинга: [сайт]. – URL: <https://pronpz.ru/ustanovki/visbreking.html#i-9> (дата обращения: 24.11.2024).
4. Косарева, М. А., Стахеев, С. Г., Третьякова, Н. А. Основные технологии переработки нефтегазового сырья / М. А. Косарева, С. Г. Стахеев, Н. А. Третьякова. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2022. – 116 с. – Текст: непосредственный.
5. Ярошенко, П. М. Перспективные технологии переработки гудрона / Ярошенко П. М.; Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского. – Саратов, 2018. – 4 с. – Текст: непосредственный

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В ЗИМНЕ-ОСЕННИЙ ПЕРИОД

студент **Хажакян Вероника Ованесовна**,
студент **Михонов Валерий Васильевич**,
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент **Бабин Сергей Васильевич**,
Ступинский филиал ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»,
г. Ступино, Российская Федерация

Аннотация. Цель данного исследования заключается в анализе возможностей применения атмосферного воздуха в качестве охладителя, а также в оценке эффективности такого охлаждения. Была поставлена задача рассчитать суммарную мощность, отбираемую холодным воздухом от воды в теплообменных аппаратах систем охлаждения дизельного мотор-генератора.

Ключевые слова: охлаждение, генератор, атмосфера, энергосберегающие системы, теплообменник

IMPROVING THE ENVIRONMENTAL FRIENDLINESS OF INDUSTRIAL COOLING BY USING ATMOSPHERIC AIR IN THE WINTER AND AUTUMN PERIOD

Student **Khazhakian Veronika Ovanesovna**,
Student **Mikhonov Valeriy Vasilyevich**,
Academic Advisor: PhD in Technology, Assistant Professor
Babin Sergey Vasilyevich,
Stupinsky Branch of the Moscow Aviation Institute (National Research University)
Stupino, Russian Federation

Abstract. The aim of this study is to explore the feasibility of utilizing atmospheric air as a cooling medium, as well as evaluate the efficiency of such a cooling system. The objective was to calculate the overall energy consumption of cold air extracted from water in heat exchangers within the cooling systems of diesel engine generators.

Keywords: cooling, generator, atmosphere, energy-saving systems, heat exchanger

Современные производственные процессы и хранение товаров требуют эффективных систем климат-контроля, обеспечивающих оптимальные условия для работы оборудования и сохранности продукции. Атмосферный воздух, обладая низкой температурой, может стать эффективным средством для поддержания комфортного микроклимата внутри зданий, особенно в зимний

период. Данная концепция не только способствует снижению потребления электроэнергии, но и позволяет использовать естественные ресурсы, что делает ее более устойчивой и экологически чистой.

Цель данного исследования заключается в анализе возможностей применения атмосферного воздуха в качестве охладителя, а также в оценке его эффективности. Была поставлена задача рассчитать суммарную мощность, отбираемую холодным воздухом от воды в теплообменных аппаратах систем охлаждения дизельного мотор-генератора. Расчеты произведены для системы охлаждения дизельного генератора Caterpillar 3516 DITA [1].

Рассчитаем мощность, отбираемую системой охлаждения из рубашки охлаждения двигателя [2-5]. Оценить тепло, отбираемое охлаждающей водой от двигателя можно по формуле:

$$Q = Cb \cdot Gb \cdot (\Delta T), \quad (1)$$

где Q – отводимая тепловая мощность, Cb – теплоемкость воды, Gb – массовый расход воды (объемный расход, умноженный на плотность воды и разделенный на 3600 сек [кг/с]), ΔT – разность температур на входе и на выходе из теплообменника.

Таблица 1. Исходные данные

Тип данных	Обозначение	Значение
Тепловая мощность, отводимая охлаждающей водой из рубашки охлаждения двигателя (Heat Rejection to Jacket Water (total))	Q1	670 кВт
Расход воды в системе охлаждения	Gb	75 м3/час
Температура воды на входе в охладитель	Tвх	93°C
Температура воды на выходе из охладителя	Tвых	83°C
Тепловая мощность, отводимая охлаждающей водой с помощью дополнительного охладителя (Heat Rejection to Aftercooler)	Q2	270 кВт
Расход воды в системе охлаждения дополнительного охладителя	Gb	26 м3/час
Температура воды на входе в охладитель	Tвх	71°C
Температура воды на выходе из охладителя	Tвых	60°C
Температура воздуха окружающей среды, используемого для охлаждения мотор-генератора	Токр.воз д.	42°C
Температура холодного атмосферного воздуха, используемого для охлаждения воды холодильника изменяется в пределах	Tатм	(-5 ... -20)°C

$$Q = 4196 \cdot (75 \cdot 1000/3600) \cdot (93 - 83) = 874166,7 \text{ Вт}$$

По паспортным данным эта величина составляет 670 кВт, для дополнительного теплообменника по расчетам – 333348,9 Вт, по паспорту – 270

кВт. В расчете используем и паспортное и теоретическое значение Q , полученное по формуле (1), для сравнения. Процесс теплопередачи от охлаждаемой воды холодному воздуху описывается следующим уравнением:

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta T \quad (2)$$

Неизвестными являются коэффициент теплопередачи K и площадь теплообменника F . Оценить данные параметры полностью теоретическим путем не представляется возможным из-за недостатка данных. Предлагается использовать формулу (2) и исходные данные для процесса передачи тепла от горячей воды в системе охлаждения мотора генератора к воздуху окружающей среды. Из формулы (2) можно определить произведение $K \cdot F$. Параметры воздуха при изменении температуры от -20 до 42 °С меняются не существенно, так как воздух находится в состоянии далеком от конденсации, поэтому множитель $K \cdot F$, полученный для температуры 42 °С, можно распространить и на отрицательные температуры. Таким образом, получаем:

$$K \cdot F = Q / \Delta T, \quad (3)$$

где ΔT – средний перепад температур в теплообменнике:

$$\Delta T = T_{\text{вх}} + T_{\text{вых2}} - T'_{\text{вх}} + T'_{\text{вых2}} \quad (4)$$

Значение температуры воздуха на выходе из теплообменника $T'_{\text{вых}}$ можно оценить, зная расход воздуха G через теплообменник. Для оценки расхода воздуха воспользуемся известной мощностью вентилятора, предназначенного для принудительной продувки воздуха через теплообменник и диаметром проходного сечения вентилятора:

$$N = (G \cdot V_2) / 2, \quad (5)$$

где N – мощность электродвигателя вентилятора, V – скорость воздуха через теплообменник, G – расход воздуха через теплообменник.

В данном случае неизвестными являются два параметра V и G . Данная задача решалась на ЭВМ методом последовательных приближений, при этом предварительно задавалась скорость потока воздуха. В результате расчетов получено для вентилятора диаметром $D = 1$ м расход воздуха G составляет $12,8$ кг/с, для вентилятора диаметром $D = 0,85$ м $G = 10,21$ кг/с. Расход воздуха умножается на количество вентиляторов в системе. Это соответственно составляет:

1) для основной системы $G_1 = 12,8 \cdot 2 = 25,6$ кг/с,

2) для дополнительной $G_2 = 10,21 \cdot 3 = 30,63$ кг/с.

Температура воздуха на выходе из теплообменника оценивается по формуле:

$$Q_1 = G_1 \cdot (i_1 - i_2), \quad (6)$$

где i_1 – энтальпия воздуха на входе в вентилятор (при температуре воздуха 42 °С), i_2 – энтальпия воздуха на выходе из вентилятора.

Нахождение i_2 позволяет определить температуру воздуха:

$$i_2 = (Q_1 + i_1 \cdot G_1) / G_1 \quad (7)$$

В результате расчета получены следующие данные:

Таблица 1. Расчетные данные

Параметр	для Q1	для Q2
Энтальпия воздуха после нагрева	341	323
T воздуха на выходе из теплообменника, °C	68	51

В результате средний перепад температур в теплообменнике основной системы охлаждения при теплопередаче от горячей воды к воздуху определится как:

$$\Delta T = (93 + 83)/2 - (42 + 68)/2 = 330 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

а в системе дополнительного охладителя:

$$\Delta T = (71 + 60)/2 - (42 + 51)/2 = 190 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Произведение $K \cdot F$ для основного и дополнительного теплообменников, рассчитанное по формуле (3) соответственно составит:

$$K \cdot F1 = 26489,9$$

$$K \cdot F2 = 17544,68$$

Мощность охлаждения воды теплообменниками системы охлаждения двигателя генератора оценивается по формуле:

$$N = K \cdot F \cdot \Delta T_{\text{ср}} \quad (8)$$

или

$$N = K \cdot F \cdot ((T_{\text{вх}} + T_{\text{вых}})/2 - (T_{\text{окр.возд.}} + T_{\text{хол}} + 2)/2), \quad (9)$$

где $T_{\text{потр}}$ – температура воды после потребителя (°C), $T_{\text{хол}}$ – температура воды на выходе из теплообменника (°C), $T_{\text{окр. возд.}}$ – температура воздуха в окружающей среде.

В результате расчетов по данным формулам получено:

Таблица 2. Мощность охлаждения воды основной системой охлаждения

T окр. воздуха	Мощность охлаждения, Вт
-50C	225164,1
-100C	357613,6
-150C	490063,1
-200C	622512,6

Таблица 3. Мощность охлаждения воды дополнительной системой охлаждения

T окр. воздуха	Мощность охлаждения, Вт
-50C	149129,8
-100C	236853,2
-150C	324576,5
-200C	412299,9

Таблица 4. Суммарная мощность охлаждения воды системами охлаждения

T окр. воздуха	Мощность охлаждения, кВт
-50C	374
-100C	595
-150C	815
-200C	1035

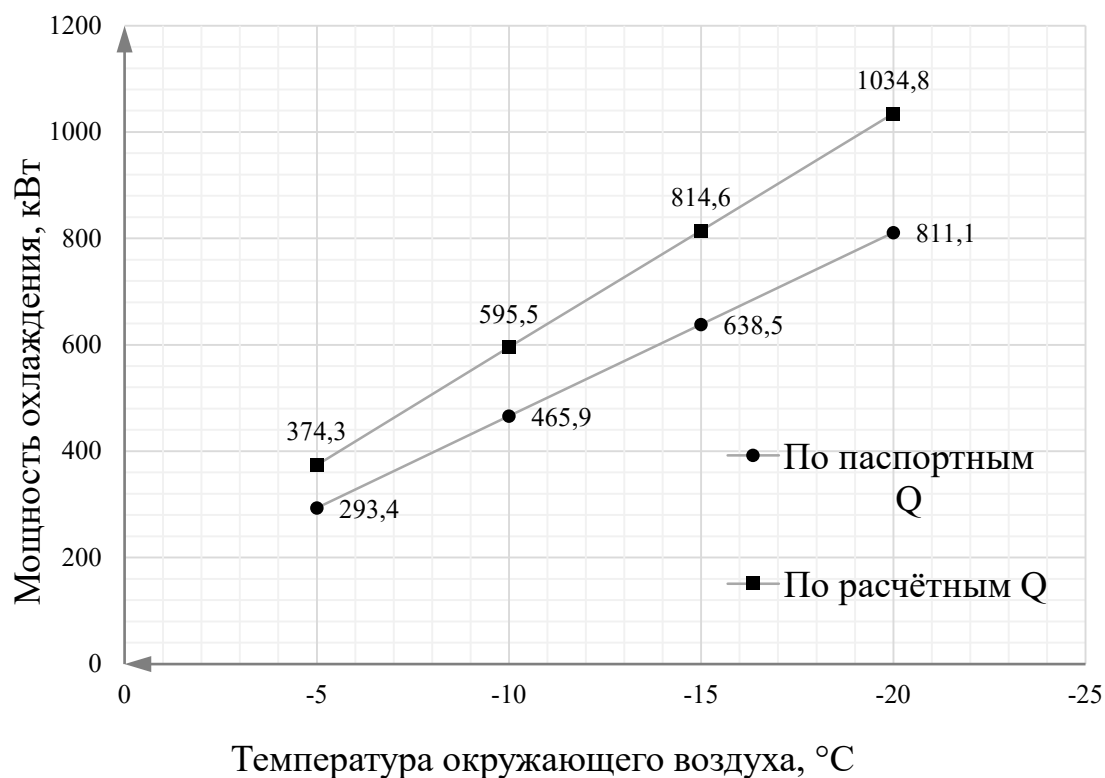


Рисунок. Суммарная мощность охлаждения воды

Таким образом, использование атмосферного воздуха в холодное время года действительно является доступным способом охлаждения, позволяющим «разгрузить» охлаждающие системы и сделать процесс более экологичным.

Список литературы:

1. Cat® 3516 Industrial Diesel Engine Industrial [Electronic resource] / Pon-Cat. – 2024. – URL: <https://www.pon-cat.com/en-no/pon-power/produkter/industrial-engines/industrial-diesel-engines-lesser-regulated-non-regulated/cat-3516> (accessed 08.11.2024).
2. Михеев, М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М.: Энергия, 1973. – 318 с.
3. Болгарский, А. В. Термодинамика и теплопередача: учебник для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М: Высш. школа, 1975. – 495 с.
4. Теплотехника [Текст]: учеб. для студ. техн. спец. вузов / под ред. В. Н. Луканина. – 5-е изд., стер. – М: Высш. шк., 2006. – 671 с.
5. Ляшков, В. И. Теоретические основы теплотехники [Электронный ресурс]: учебное пособие / В. И. Ляшков; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва: Абрис, 2012. – 318 с. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/117652/>.

© Хажакян В. О., Михонов В. В., Бабин С. В., 2024

МЕТОДЫ УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

студент **Беклемешева Анастасия Сергеевна**,
магистрант **Антуфьев Андрей Сергеевич**,
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент
Хлыновский Алексей Михайлович,
Санкт-Петербургский государственный
университет промышленных технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассматриваются методы утилизации твердых коммунальных отходов. На основе анализа выделяется самый перспективный способ переработки.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, экологический ущерб, переработка отходов, эффективность систем обращения с отходами, сжигание отходов.

METHODS OF DISPOSAL OF MUNICIPAL SOLID WASTE: STATUS AND PROSPECTS

Student **Beklemesheva Anastasia Sergeevna**,
Master Student **Antufyev Andrey Sergeevich**,
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor
Khlynovsky Alexey Mikhailovich,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. The paper considers methods of solid municipal waste disposal. Based on the analysis, the most promising processing method is highlighted.

Keywords: solid municipal waste, environmental damage, waste recycling, efficiency of waste management systems, waste incineration.

Ежегодное накопление коммунальных отходов в крупных городских агломерациях по всему миру постоянно растет. В частности, в Санкт-Петербурге ежегодный прирост составляет порядка 1,7–1,8 миллиона тонн. И этот показатель постоянно увеличивается из-за роста численности населения и увеличения потребления пищевой и промышленной продукции на душу населения.

Управление твердыми коммунальными отходами (ТКО) представляет собой сложную и многоаспектную проблему, требующую комплексного подхода и применения разнообразных методов обращения.

Существует несколько методов обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО). Ниже перечислены некоторые из основных методов:

Свалки: Свалка – это один из наиболее распространенных и традиционных методов обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО). Он представляет собой место, где отходы размещаются и накапливаются на открытой территории. В отличие от более современных методов обработки отходов, таких как переработка или термическая обработка, свалка обычно не включает в себя активные процессы обработки или утилизации отходов. Хотя свалки являются широко используемым методом обращения с отходами, они имеют некоторые недостатки, включая возможное загрязнение окружающей среды, неприятные запахи, риск для здоровья человека и животных, а также ограниченность ресурсного потенциала. В связи с этим современные подходы к управлению отходами все больше ориентируются на развитие альтернативных методов обработки и утилизации отходов, направленных на сокращение использования свалок и улучшение устойчивости обращения с отходами.

Компостирование: Компостирование является процессом разложения органических отходов под воздействием микроорганизмов в воздушной среде. В виду разных сроков разложение ТКО, данный способ чаще всего применяют для утилизации органических отходов, так как для некоторых фракций требуется слишком много времени, что делает данный способ неэффективным. На рис. 1 представлен график разложения различных материалов в годах.

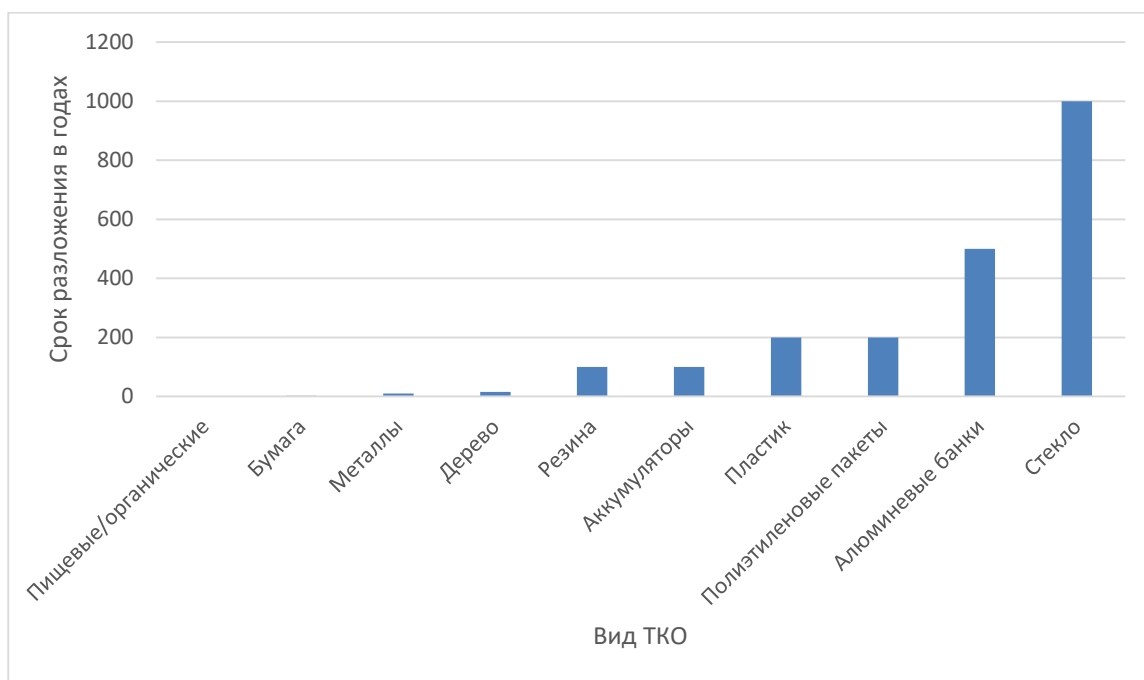


Рисунок 1. Сроки естественного разложения некоторых фракций ТБО

Результатом компостирования является компост, который может быть использован как удобрение для сельского хозяйства и садоводства. Этот метод позволяет сократить объем отходов и улучшить качество почвы.

Переработка в биогаз: Этот метод включает в себя переработку органических отходов в биогаз, который может быть использован для производства электроэнергии или тепла. Биогаз обычно производится путем ферментации органических отходов в анаэробных условиях

Термическая переработка: В соответствии с ФЗ–450 от 27.12.2019, а также ряда директив ЕС в области охраны окружающей среды, использование ТКО в качестве возобновляемого источника энергии считается энергетической утилизацией. Усредненный морфологический состав ТКО для г. Санкт-Петербурга приведен в табл. 1. [2]

Таблица 1. Морфологический состав ТКО

№	Компонент	Состав, % по массе
1	Макулатура	25,6
2	Стекло	7,9
3	Полимеры	19,6
4	Текстиль	3,0
5	Металлы	3,7
6	Пищевые отходы	1,4
7	Прочее	7,4
8	Отсев	31,6
Итого	100,0	100,0

В составе твердых коммунальных отходов (ТКО), в отличие от традиционных видов топлива, содержится значительная доля негорючих (балластных) компонентов, а также большое количество влаги, что ухудшает их теплотворные свойства. Удаление неорганических составляющих на этапе сортировки уменьшают зольность, но одновременно приводит к повышению влажности ТКО. Исследования показывают, что отходы с зольностью выше 60 %, влажностью более 50 % и содержанием органических веществ менее 30 % не способны поддерживать самостоятельное горение. Диаграмма Таннера, представленная на рисунке 2 [1], позволяет определить соотношение ключевых параметров органических отходов, при котором горение возможно без применения дополнительного топлива.

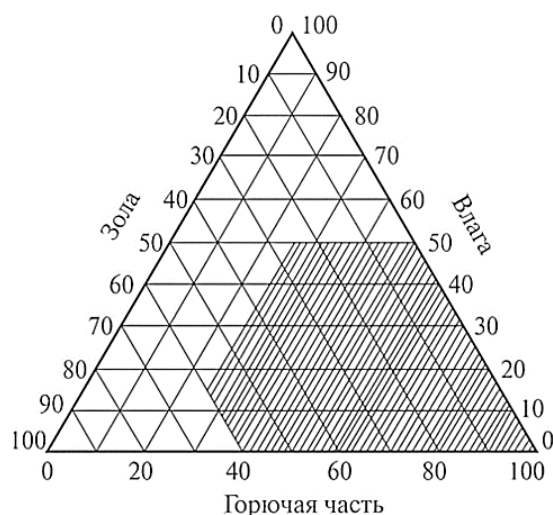


Рисунок 2. Треугольник Таннера

Известно, что теплота сгорания несортированного ТКО варьируется в значениях 4,5-16 МДж/кг. Перспективным направлением для повышения этого значения является производство «RDF-топлива» (Refuse-Derived Fuel) в переводе с английского – топливо, полученное из отходов. Согласно данным исследований, энергетический выход при сжигании RDF составляет примерно 16-20 МДж/кг. Морфологический состав регламентируется ГОСТ Р 55128-2012, максимальный, минимальный и выбранный состав рабочей массы приведены в таблице 2.

Таблица 2. Состав рабочей массы RDF-топлива

Элементарный состав	Минимальные значения	Максимальные значения	Выбранный состав
W _r , %	8,54	25,5	10,8
A _r , %	2,94	17,3	8,7
Sr o+p, %	0,16	0,313	0,2
Cr, %	33,875	49,98	41,83
H _r , %	4,47	7,53	5,7
N _r , %	0,58	0,789	0,654
O _r , %	26,258	38,8	20,3

Определим низшую теплоту сгорания для выбранного состава по формуле Менделеева, исходя из средних значений:

$$Q_i^T = 339C^r + 1030H^r - 109(O^r - S^r) - 25W^r = 339 \cdot 41,83 + 1030 \cdot 5,7 - 109(32,116 - 0,2) - 25 \cdot 10,8 = 16302,5 \text{ кДж/кг} = 16,3 \text{ МДж/кг}$$

Согласно данным исследований рынка RDF-топлива в РФ, значения низшей теплоты сгорания составляют от 10 до 20 МДж/кг.

Также перспективным направлением термической переработки является газификация отходов – это процесс термохимического превращения твердых или жидких органических материалов в синтез-газ (или синт-газ), который состоит

преимущественно из метана (CH_4) и углекислого газа (CO_2), а также других газов, таких как водяной пар (H_2O), углеводороды и оксиды азота и серы. Процесс газификации осуществляется в присутствии ограниченного количества кислорода (или пара) при высоких температурах, обычно в диапазоне от 700°C до 1500°C .

Основные этапы процесса газификации включают подготовку отходов (дробление и сушку), подачу отходов в реактор (газогенератор или газификатор), где происходит химическое разложение органических компонентов под воздействием высоких температур, и сбор синтез-газа для последующего использования.

В ряде европейских стран, таких как Германия, Швеция, Нидерланды и Финляндия, газификация отходов используется для производства энергии и тепла. Например, в Швеции работает несколько крупных газификационных заводов, которые обрабатывают муниципальные отходы и биомассу для производства тепла и электроэнергии.

В Японии газификация отходов широко применяется для обработки различных типов отходов, включая муниципальные и промышленные отходы, а также биомассу. Например, в Токио действует несколько газификационных установок, которые обрабатывают муниципальные отходы для производства энергии и тепла.

В Москве действует несколько проектов по газификации муниципальных отходов. Например, Московский экологический центр «Тритей» реализует проект по строительству завода по газификации твердых коммунальных отходов в Зеленограде. Планируется, что завод будет обрабатывать до 700 тонн отходов в сутки и производить электроэнергию.

В Санкт-Петербурге также ведутся работы по реализации проектов по газификации отходов. Например, в 2020 году в рамках программы «Зеленая столица» был запущен пилотный проект по строительству газификационной установки на одном из полигонов города.

Преимущества газификации отходов включают возможность использования различных типов отходов, включая биомассу, твердые коммунальные отходы, пищевые отходы и др., а также высокую эффективность преобразования отходов в энергию или химические продукты. Кроме того, процесс газификации может способствовать снижению выбросов парниковых газов по сравнению с традиционными методами утилизации отходов, такими как сжигание.

Таким образом, в настоящее время в Российской Федерации применяются следующие способы обращения с ТКО: свалки, переработка компостированием, переработка в биогаз, термическая переработка.

Наиболее перспективной на данный момент является термическая утилизация, она позволяет перерабатывать до 90 % отходов и получать из них как тепловую, так и электрическую энергию.

Список литературы:

1. Венцюлис, Л. С. Анализ состояния системы обращения с твердыми коммунальными отходами в Санкт-Петербурге за последние 25 лет /Л. С. Венцюлис, А. Н. Пименов, А. Н. Чусов, С. В. Селиванова, В. В. Терлеев // Вестник евразийской науки. – 2022. – Т. 14, № 6. – URL: <https://esj.today/PDF/38NZVN622.pdf> DOI: 10.15862/38NZVN622.
2. Васильева, Е. А. Технология обращения с твердыми коммунальными отходами. Ч. 2: учебное пособие / Е. А. Васильева. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2021. – 80 с.
3. Шавва, А. А. Морфологический состав отходов в городе Санкт-Петербурге / А. А. Шавва // Инновации и инвестиции, 2018. – С. 217.
4. Сравнительный анализ технологий переработки твердых коммунальных отходов и механизмов обеспечения окупаемости проектов по строительству объектов по переработке твердых коммунальных отходов с минимизацией перекрестного субсидирования для участников оптового рынка электроэнергии и мощности [Текст]. – Москва: Ассоциация НП Совет Рынка, 2019. – 366 с.
5. Тугов, А. Н. Энергетическая утилизация ТКО: мировой и отечественный опыт (обзор) / А. Н. Тугов // Теплоэнергетика и теплотехника. – 2022. – № 12. – С. 5-22.

© Беклемешева А. С., Антуфьев А. С., 2024

РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОГО МОДУЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ТБО С ПРОИЗВОДСТВОМ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА – ПЕНОСТЕКЛО

студент **Беклемешева Анастасия Сергеевна**,
магистрант **Антуфьев Андрей Сергеевич**,
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент
Хлыновский Алексей Михайлович,
Санкт-Петербургский государственный
университет промышленных технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассматриваются методы повышения эффективности переработки твердых коммунальных отходов при термической переработке. На основе анализа разработана схема установки, которая позволяет получить теплоизоляционный материал – пеностекло при переработке твердых коммунальных отходов.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, экологический ущерб, переработка отходов, эффективность систем обращения с отходами, пеностекло.

DEVELOPMENT OF AN AUTONOMOUS MODULE FOR THE RECLAMATION OF SOLID WASTE WITH THE PRODUCTION OF THERMAL INSULATION MATERIAL – FOAM GLASS

Student **Beklemesheva Anastasia Sergeevna**,
Master Student **Antufyev Andrey Sergeevich**,
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor
Khlynovsky Alexey Mikhailovich,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. The paper discusses methods for improving the efficiency of solid municipal waste processing during thermal processing. Based on the analysis, an installation scheme has been developed that allows to obtain a thermal insulation material-foam glass during the processing of solid municipal waste.

Keywords: solid municipal waste, environmental damage, waste recycling, efficiency of waste management systems, foam glass.

В настоящее время все больше внимания уделяется комплексному использованию различных ресурсов, в частности, вторичной переработке твердых бытовых отходов. К таким перспективным инвестиционным проектам

относится создание производства теплоизоляционного материала – пеностекла на базе стеклобоя, отсортированного на мусороперерабатывающих заводах. Решение данной задачи позволит решить несколько актуальных экологических проблем, характерных для Санкт-Петербурга и Ленинградской области: сокращение площади полигонов бытовых отходов за счет переработки стеклобоя и производство теплоизоляционного материала «пеностекло». Данный материал обладает рядом преимуществ, которые определяют его востребованность на рынке теплоизоляционных материалов: негорючесть, долговечность, низкая теплопроводность, хорошая звукоизоляция, экологичность, простота монтажа. При этом монтаж может быть осуществлен как при частном домостроении, в жилых многоквартирных домах, так и в производственных зданиях. Так, в 2021 году сотрудниками ВШТЭ и Технопарка «Нарвский», совместно с фирмой ООО «Теплосистемы» в 2021 г были проведены эксперименты по исследованию эксплуатационных свойств теплоизоляционных конструкций из пеностекла и минеральной ваты. Эксперименты проводились на трубопроводе питательной воды в котельной. В ходе эксперимента на двух трубопроводах с питательной водой нанесли теплоизоляцию из двух материалов: минеральная вата и пеностекло (рис. 1).



Рисунок 1. Теплоизоляция на трубопроводах

Измерения (рис. 2), проведенные сразу после монтажа теплоизоляции, показали, что различий в распределении температуры на поверхности конструкций из пеностекла и минеральной ваты не наблюдается.

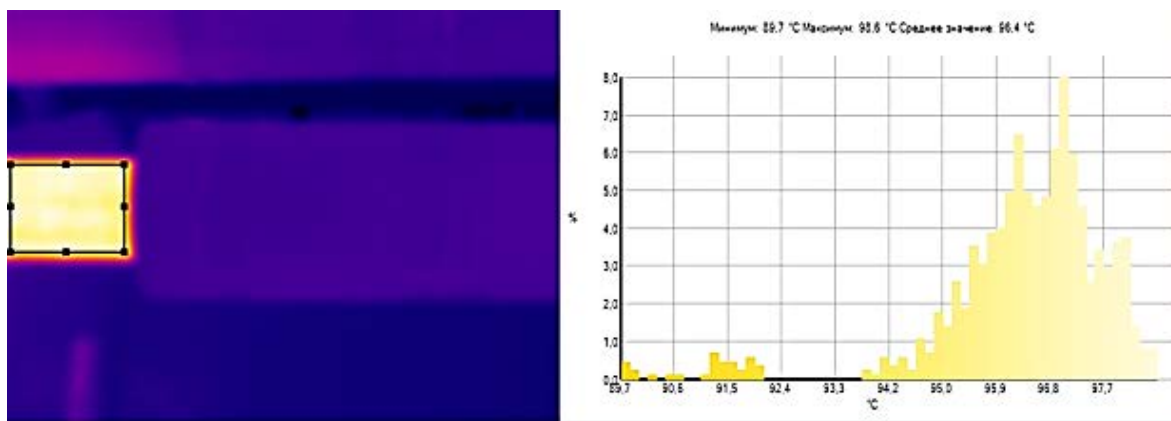


Рисунок 2. Гистограмма распределения температуры в области трубы с пеностеклом

Промышленная реализация способа получения блочного пеностекла может быть осуществлена при использовании двух автономных блоков:

А – блок получения электрической энергии при сжигании ТКО в котлоагрегате;

Б – блок получения пеностекла, где основное сырье – стеклобой, отсортированный при переработке ТКО на мусороперерабатывающих заводах [1, 2].

Схема реализации способа производства теплоизоляционного материала при термической утилизации ТКО приведена на рис. 3.

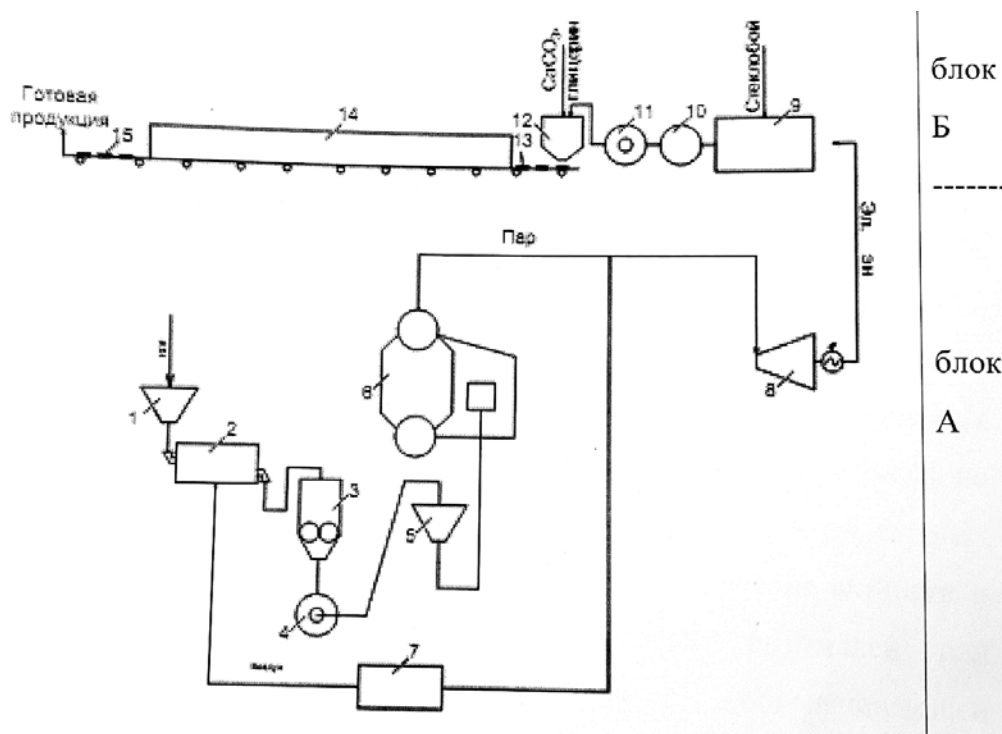


Рисунок 3. Схема модульной автономной установки

В приемный бункер (1) подают ТКО, содержащие органические компоненты, затем направляют в сушильный аппарат (2), где за счет подвода горячего воздуха ТКО подсушивают. Далее ТКО направляется в дробилку (3),

где измельчается до размеров 30 – 40 мм. В мельнице (4) ТКО размалывают до размеров 40 – 70 мкм и подают в бункер-накопитель сухого топлива (5). Сухое топливо подают в котлоагрегат (6), где его сжигают и получают перегретый пар. Часть перегретого пара направляется в рекуператор (7), где подогревают воздух, который подает сушильный аппарат (2). Основную массу перегретого пара направляют в турбину (8), соединенную с электрогенератором, где вырабатывают электрический ток.

Электрический ток подают на блок Б для получения пеностекла.

Отсортированный стеклобой моют (9), сушат (10), дробят (11), смешивают с пенообразователем и совместно измельчают (12) до удельной поверхности 12000 – 20000 см²/г, дозируют в формы (13), в количестве 30-40 % от объема формы. Формы со смесью подают в электрическую печь (14), нагревают до 800-900 °С, со скоростью не менее 10 °С/мин, выдерживают в течение 8-12 минут.

При таком температурном режиме, специально подобранных вариантах химического состава пенообразователя, равномерно распределенного по объему смеси, и взаимодействии между компонентами смеси происходит управляемое вспенивание стекла, именно в таком диапазоне вязкости и поверхностного натяжения стекломассы, который оптимален для получения качественной ячеистой текстуры, обеспечивающей возможность формирования блоков.

Затем проводят закалку, снижают температуру до 400 °С со скоростью 2,5 – 5 °С/мин, затем проводят отжиг. Снижают температуру от 400°С до 30°С со скоростью 8 – 12 °С/мин.

Готовые блоки пеностекла (15) вынимают из формы, проводят проверку ОТК и отгружают заказчику.

Температурный график режима получения блоков приведен на рис. 4.

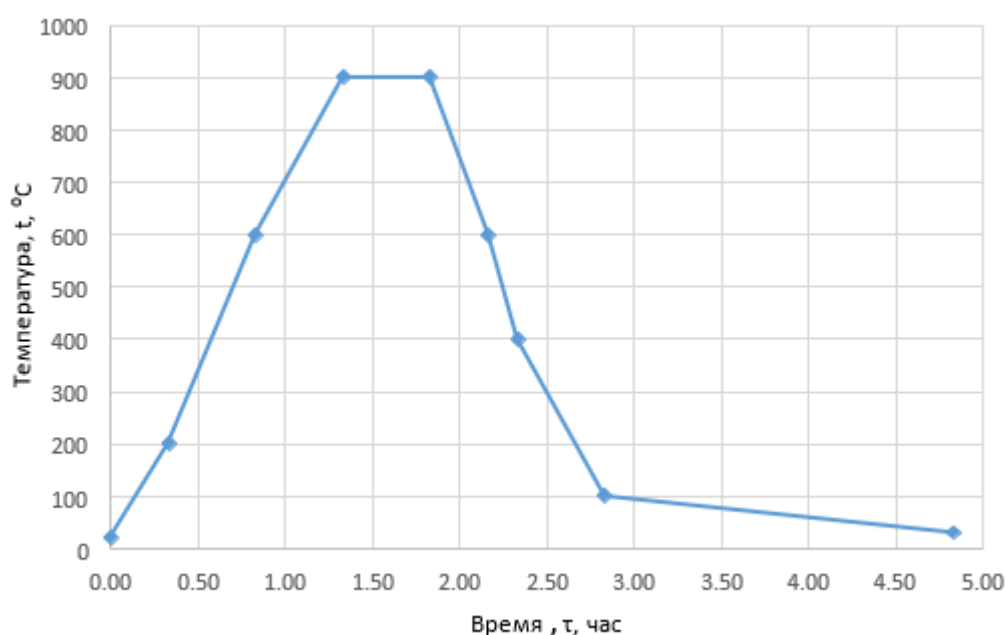


Рисунок 4. Температурный график процесса вспенивания шихты

Технические характеристики комплекса термической утилизации ТКО производством блочного пеностекла:

- объем производства пеностекла 100000 м³ в год;
- размеры блока пеностекла: 600х400х120 мм;
- материал формы – чугун;
- толщина стенок формы: $\delta = 6$ мм;
- максимальная температура в конвейерной печи: $t = 900$ °с.

Перечень энергопотребляющего оборудования, необходимого для блока производства пеностекла: моечная машина, дробилка, шаровая мельница, смеситель с дозатором, конвейерная печь, упаковочная машина.

Список оборудования отечественного производства приведен в табл. 1.

Таблица 1 – Энергопотребляющее оборудование

Оборудование	Марка	Характеристики			
		производительность, кг/ч	потребление, кВт		количество
Моечная машина	AM600 T	000	N _м	42	1
Дробилка	МПС-150	1000	N _д	2,2	2
Шаровая мельница	Ф900×1800	650-2000	N _{шм}	18,5	1
Смеситель с дозатором	МУ-1500	1,6	N _с	11,5	3
Упаковочная машина	OMS AVR900	до 100 паллет/ч – при 1 м рулоне пленки, до 140 паллет/ч – при 2-х рулонах пленки	N _{ум}	7	3
Конвейер	ТЛС-300	3	N _к	0,37	5

Тепломеханическое оборудование для мини-ТЭЦ приведено в табл. 2.

Таблица 2 – Основное оборудование мини-ТЭЦ

Оборудование		Характеристики				
Турбина	К-6-3,43	характеристики	скорость вращения, об/мин	давление свежего пара, Мпа	температура свежего пара, °С	расход, т/ч
		N _{пт}	n	P ₀	t ₀	D
		6000	3000	3,43	435	28,5
Котел	Е-25/3,9-440	Производительность, т/ч	Давление пара, Мпа	Температура пара, °С	Температура питательной воды, °С	КПД, %
		D	P _{пе}	t _{пе}	t _{пв}	η
		50-65	3,9	440	105	93,9-87

По результатам теплотехнического расчета КПД Нетто и Бруто составили: $\eta_{\text{брутто}}^{\text{ПТУ}} = 30 \%$, $\eta_{\text{нетто}}^{\text{ПТУ}} = 28,2 \%$.

Таким образом, совокупность предлагаемых решений позволит повысить эффективность рециклинга отходов при термической переработке за счет комплексного использования энергетических ресурсов; наладить производство теплоизоляционного материала – пеностекло, имеющего постоянно растущий спрос на строительном рынке, и при этом получить эффективное решение экологических проблем, имеющих место вокруг каждого крупного городского поселения, а именно: сокращение площадей, занятых полигонами отходов.

Реализация предполагаемого способа позволяет:

- решить экологические проблемы уменьшением количества отходов на полигонах;
- сократить расходы электрической и тепловой энергии при производстве конструкционно-теплоизоляционного материала за счет использования собственной энергии при производстве пеностекла;
- получить востребованный теплоизоляционный материал с высоким коэффициентом теплопередачи;
- переработать стеклобой, тем самым реализовать вторичную переработку отходов.

Список литературы:

1. ГОСТ 33949-2016 Изделия из пеностекла теплоизоляционные для зданий и сооружений. Технические условия. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 16 с.
2. Отчет по НИОКР «Разработка автономного модульного комплекса производства теплоизоляционного материала «пеностекло РС-23» при переработке твердых коммунальных отходов на полигонах в Ленинградской области». – СПбГУПТД ВШТЭ. – Санкт-Петербург, 2023. – 60 с.
3. Шавва, А. А. Морфологический состав отходов в городе Санкт-Петербурге / А.С. Шавва // Инновации и инвестиции. – 2018. – С. 217.
4. Сравнительный анализ технологий переработки твердых коммунальных отходов и механизмов обеспечения окупаемости проектов по строительству объектов по переработке твердых коммунальных отходов с минимизацией перекрестного субсидирования для участников оптового рынка электроэнергии и мощности [Текст]. – Москва: Ассоциация НП Совет Рынка, 2019. – 366 с.
5. Тугов, А. Н. Энергетическая утилизация ТКО: мировой и отечественный опыт (обзор) / А. Н. Тугов // Теплоэнергетика и теплотехника. – 2022 – №12. – С. 5-22.

© Беклемешева А. С., Антуфьев А. С., 2024

ВЛИЯНИЕ ОБЩЕСТВА НА РАЗВИТИЕ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

студент **Дубина Дарья Николаевна**,
науч. руководитель: преподаватель, магистр **Дробот Екатерина Сергеевна**,
Брестский государственный университет им. А. С. Пушкина,
г. Брест, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается влияние социума на развитие и преобразование альтернативной энергетики в современном экологическом обществе, а также влияние граждан, стремящихся к устойчивому будущему, которые могут инициировать законодательные инициативы, такие как субсидирование солнечных панелей и развитие инфраструктуры для электромобилей и иных электропроизводств.

Ключевые слова: энергетика, развитие, общество, экология, влияние.

SOCIETY'S INFLUENCE ON THE DEVELOPMENT OF ALTERNATIVE ENERGY

Student **Dubina Darya Nikolaevna**,
Academic Advisor: Teacher, Master's degree **Drobot Ekaterina Sergeevna**,
Brest State University named after Pushkin,
Brest, Republic of Belarus

Abstract. This paper discusses examines the influence of society on the development and transformation of alternative energy in a modern ecological society, and the influence of citizens committed to a sustainable future, who can initiate legislative initiatives such as subsidies for solar panels and the development of infrastructure for electric vehicles and other electrical industries.

Keywords: energy, development, society, ecology, influence.

Альтернативная энергетика становится все более актуальной в современном мире, и ее развитие во многом зависит от общественного мнения, активизации гражданских инициатив и политической поддержки. В этой статье мы рассмотрим, как общество влияет на переход к устойчивым источникам энергии.

Изначально альтернативная энергетика начала развиваться как ответ на растущие экологические проблемы и истощение ископаемых ресурсов. Использование солнечной энергии, ветра и воды для выполнения различных

задач имеет долгую историю. Древние цивилизации использовали солнечные печи для нагрева пищи и ветряные мельницы для помола зерна. В конце XIX века началась активная разработка электричества. Появление первых гидроэлектростанций, таких как станция на Ниагарском водопаде, положило начало использованию воды как источника энергии. В XX веке, с началом промышленной революции и увеличением использования ископаемых видов топлива (угля, нефти и газа) начались первые серьезные исследования альтернативных источников энергии. В 1954 году была создана первая солнечная батарея на основе кремния, что стало важным шагом в развитии солнечной энергетики [3, с. 288]. В 1970-е годы энергетический кризис, вызванный нефтяным эмбарго и резким ростом цен на нефть, привел к возрождению интереса к альтернативной энергетике. Многие страны начали инвестировать в разработки ветряной и солнечной энергетики.

Особенным этапом преобразования альтернативной энергетики можно считать 1980-е и 1990-е годы: в это время началась коммерциализация технологий возобновляемых источников энергии. Появились первые крупные ветряные фермы и солнечные электростанции. Также начались исследования по биомассе и геотермальной энергии. В XXI веке, с ростом осведомленности о климатических изменениях и необходимости перехода к устойчивому развитию, альтернативная энергетика приобрела еще большую популярность. Развитие технологий, таких как солнечные панели и ветряные турбины, сделало их более доступными и эффективными. В последние годы наблюдается рост интереса к интеграции альтернативных источников энергии в энергосистемы, а также к разработке технологий хранения энергии, таких как аккумуляторы. Многие страны устанавливают амбициозные цели по снижению выбросов углерода и увеличению доли возобновляемых источников в энергетическом балансе.

Общественное сознание и экологические проблемы. С каждым годом растет осведомленность людей о последствиях изменения климата, загрязнения окружающей среды и истощения природных ресурсов. Это ведет к увеличению интереса к экологически чистым технологиям и альтернативным источникам энергии. Общественные движения и активисты играют важную роль в формировании экологического сознания, что, в свою очередь, способствует поддержке проектов в области возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [1, с. 193].

Принятие и поддержка политики. Политические решения и законы, касающиеся альтернативной энергетики, во многом зависят от требований населения. Если значительная часть общества выступает за переход к чистым источникам энергии, это может привести к принятию соответствующих законодательных инициатив. Например, вопросы субсидирования солнечных панелей, развитие инфраструктуры для электромобилей и инвестиции в исследования ВИЭ часто иницируются по запросу граждан, стремящихся к более устойчивому будущему.

Инвестиции и потребительский выбор. Общество не только влияет на политику, но и играет ключевую роль в экономике альтернативной энергетики, так его инвестиционный вклад может отразиться на энергетическом развитии будущего.

Существует множество успешных примеров общественных инициатив, способствующих внедрению альтернативной энергетики в разных странах. Вот несколько из них:

1. Дания. Датская модель «гражданских» ветровых парков позволяет местным жителям участвовать в финансировании и владении ветровыми электроустановками. Эта инициатива повысила уровень поддержки возобновляемых источников энергии и привела к значительному увеличению доли ветровой энергии в стране.

2. Финляндия. В Финляндии активные группы граждан организовали кампании по созданию местных сообществ солнечной энергии, где жители объединяются для установки солнечных панелей. Эти проекты не только снижают затраты на электроэнергию, но и укрепляют социальное единство.

3. Германия. Программа «Энергетический переход» (Energiewende) была движима общественными инициативами и гражданскими кооперативами. Число домашних систем солнечных панелей возросло благодаря государственной поддержке и осведомленности граждан о важности перехода на чистые источники энергии.

4. Канада. В некоторых канадских провинциях были созданы «соседские группы» для реализации проектов по солнечной и ветровой энергии. Эти инициативы направлены на поддержку локального производства энергии, что позволяет сократить выбросы углекислого газа и сократить зависимости от ископаемых отходов.

В разных странах принимаются различные меры для информирования местных жителей о преимуществах и возможностях инвестирования в альтернативную энергетику. Вот некоторые из них:

1. Образовательные программы. Местные правительства могут организовывать семинары и тренинги, где обучают основам альтернативной энергетики, ее преимуществам и возможностям использования.

2. Информационные кампании. Распространение информационных материалов, листовок, видеороликов о том, как перейти на альтернативные источники энергии, какие экономические выгоды это может принести.

3. Партнерства с университетами. Сотрудничество с высшими учебными заведениями для разработки курсов, посвященных устойчивому развитию и альтернативным источникам энергии.

4. Финансовые стимулы. Предоставление субсидий или налоговых льгот для тех, кто инвестирует в альтернативные источники энергии, что способствует привлечению большего числа людей к этим инициативам.

5. Создание местных ассоциаций. Формирование групп по интересам, которые могут обмениваться опытом, ресурсами и знаниями в области альтернативной энергетики.

6. Программы стажировок и волонтерства. Отличная возможность для жителей участвовать в реальных проектах, что позволяет не только получить знания, но и понять практическое применение полученной информации. Эти меры помогают создать осведомленность о важности альтернативной энергетики и стимулируют инвестиции в экологически чистые решения [3, с. 172].

Все вышеперечисленное сформировало альтернативную энергетику, но так как данный факт мы рассматриваем в контексте влияния общества, то рассмотрим это более детально. Основным фактором стало изменение потребительских привычек, которое оказало значительное влияние на развитие альтернативной энергетики. Этот процесс можно проанализировать через несколько ключевых аспектов:

1. Рост осведомленности о климатических изменениях.

С увеличением осведомленности о проблемах изменения климата и экологических катастроф потребители стали более внимательно относиться к своему выбору энергии. Люди начали осознавать, что традиционные источники энергии, такие как уголь и нефть, наносят вред окружающей среде. Это привело к повышению интереса к альтернативным источникам, таким как солнечная и ветровая энергия.

2. Спрос на экологически чистые технологии.

С изменением потребительских привычек наблюдается рост спроса на экологически чистые технологии. Например, покупка электромобилей, солнечных панелей и энергоэффективных бытовых приборов стала более популярной. Производители, в свою очередь, начали инвестировать в разработку и производство устойчивых технологий, чтобы удовлетворить этот растущий спрос.

3. Инвестиции и финансирование.

Изменение потребительских предпочтений также повлияло на инвестиции в альтернативную энергетику. С увеличением числа потребителей, выбирающих «зеленую» энергию, инвесторы стали более заинтересованы в поддержке стартапов и компаний, работающих в этой области. Это привело к росту капитала для исследований и разработок в сфере возобновляемых источников энергии.

4. Политические и экономические инициативы.

Потребительские привычки влияют на политику и экономику. Повышенный интерес к альтернативной энергетике стал основой для разработки новых законов и инициатив, направленных на поддержку «зеленой» энергетики. Например, многие страны начали вводить субсидии для пользователей солнечных панелей или электромобилей, что дополнительно стимулирует спрос.

5. Социальные движения и активизм.

Изменение потребительских привычек также связано с активизацией социальных движений, которые выступают за устойчивое развитие и защиту окружающей среды. Эти движения подчеркивают важность перехода на альтернативные источники энергии и создают давление на компании и правительства для внедрения более устойчивых практик.

6. Культура устойчивого потребления.

Сейчас наблюдается тенденция к формированию культуры устойчивого потребления, где люди стремятся минимизировать свой углеродный след. Это включает в себя не только выбор альтернативных источников энергии, но и более осознанное потребление ресурсов в целом. Это можно заметить, так как многие потребители начинают обращать внимание на то, как производится энергия, которую они используют. Все это ведет к тому, что прогнозы развития альтернативной энергетики и ее отраслей будут только расти вверх. Ожидается, что доля возобновляемых источников энергии (солнечная, ветровая, гидроэнергия и биомасса) в мировом энергетическом балансе будет продолжать расти. По прогнозам Международного энергетического агентства (IEA), к 2030 году возобновляемые источники могут составить до 50 % глобального производства электроэнергии [2, с. 366].

С каждым годом стоимость технологий для производства энергии из возобновляемых источников продолжает снижаться. Это касается солнечных панелей, ветряных турбин и систем хранения энергии (например, батарей). Ожидается, что это сделает альтернативную энергетику более доступной для потребителей и бизнеса. С увеличением доли переменных источников энергии, таких как солнечная и ветровая, технологии хранения энергии станут критически важными. Прогнозируется рост инвестиций в разработки новых решений для хранения энергии, включая литий-ионные батареи и альтернативные технологии (например, водородные топливные элементы).

Также многие страны принимают обязательства по снижению выбросов углерода, что приведет к увеличению спроса на чистую энергию. Ожидается развитие углеродных рынков и систем торговли выбросами, что может сделать использование ископаемого топлива менее выгодным по сравнению с альтернативной энергетикой. Немаловажным является то, что с переходом на электромобили и другие формы электрического транспорта ожидается значительный рост спроса на электроэнергию из возобновляемых источников. Это также создаст новые возможности для интеграции зарядных станций и систем управления энергией.

Большое влияние оказали и развивающиеся умные технологии. Развитие умных электрических сетей (smart grids) позволит более эффективно управлять распределением энергии из различных источников. Это обеспечит надежность энергоснабжения и оптимизацию использования ресурсов.

С учетом глобальных проблем изменения климата возможно усиление международного сотрудничества в области альтернативной энергетики [5, с. 158]. Страны будут иметь возможность обмениваться технологиями, опытом и инвестициями для достижения общих целей по устойчивому развитию.

Экология все больше и больше внедряется в сознание социальных групп, поэтому вполне возможно, что альтернативная энергетика займет главенствующее место в жизни масс, а общество станет экологичнее. В целом, будущее альтернативной энергетики выглядит многообещающе, с прогнозами значительного роста и инноваций в этой области. Но для достижения этих целей необходимо преодолеть ряд вызовов, включая финансирование, инфраструктуру и политическую поддержку.

Список литературы:

1. Алхасов, А. Б. Возобновляемые источники энергии: учебное пособие / А. Б. Алхасов. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2011. – 270 с.
2. Быстрицкий, Г. Ф. Общая энергетика (производство тепловой и электрической энергии): учебник / Г. Ф. Быстрицкий, Г. Г. Гасангаджиев, В. С. Кожиченков. – 2-е изд., стереотип. — Москва : КНОРУС, 2016. – 408 с.
3. Быстрицкий, Г. Ф. Основы энергетики: учебник / Г. Ф. Быстрицкий. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : КНОРУС, 2011. – 350 с.
4. Вавилов, А. В. Эволюция развития технических средств для топливообеспечения энергоустановок на биомассе / А. В. Вавилов // Энергоэффективность. – 2018. – № 4. – С. 22-23.
5. Германович, В. Альтернативные источники энергии и энергосбережение. Практические конструкции по использованию энергии ветра, солнца, воды, земли, биомассы / В. Германович, А. Турилин. – Санкт-Петербург: Наука и техника, 2014. – 319 с.

© Дубина Д. Н., 2024

ВЛИЯНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА ЭКОЛОГИЮ

студент **Адкина Анна Сергеевна**,
науч. руководитель: преподаватель, магистр **Дробот Екатерина Сергеевна**,
Брестский государственный университет им. А. С. Пушкина,
г. Брест, Республика Беларусь

Аннотация. Данная работа посвящена анализу влияния альтернативных источников энергии, таких как солнечная, ветровая, гидро- и биомасса, на экологическую ситуацию. Рассмотрены положительные аспекты, включая снижение выбросов парниковых газов, уменьшение загрязнения воздуха и воды, а также возможные последствия для биоразнообразия и экосистем. Также уделяется внимание недостаткам и вызовам, с которыми сталкивается переход на альтернативную энергетику, включая вопросы хранения энергии, влияния на ландшафт и использование природных ресурсов.

Ключевые слова: альтернативная энергетика, экология, климат, общество, влияние.

IMPACT OF ALTERNATIVE ENERGY ON ECOLOGY

Student **Adkina Anna Sergeevna**,
Academic Advisor: Teacher, Master's degree **Drobot Ekaterina Sergeevna**,
Brest State University named after Pushkin,
Brest, Republic of Belarus

Abstract. This paper analyses the impact of alternative energy sources such as solar, wind, hydro and biomass on the environmental situation. Positive aspects are considered, including reduction of greenhouse gas emissions, reduction of air and water pollution, as well as possible consequences for biodiversity and ecosystems. Attention is also paid to the disadvantages and challenges faced by the transition to alternative energy, including issues of energy storage, impact on the landscape and use of natural resources.

Keywords: alternative energy, ecology, climate, society, influence.

В последние десятилетия все более и более ясно встает вопрос о переходе на устойчивые источники энергии, что обусловлено необходимостью борьбы с изменением климата и его последствиями для окружающей среды.

Специфика энергетики влияет на атмосферу, гидросферу и литосферу, приобретая глобальный характер и затрагивая все компоненты планеты.

Чтобы минимизировать негативное воздействие, необходимо внедрять новые технологии по очистке и рециркуляции выбросов, переработке и хранению радиоактивных отходов. Так и начала развиваться альтернативная

энергетика, базирующееся на использовании возобновляемых источников энергии [1].

Энергетика – область хозяйственно-экономической деятельности человека, совокупность больших естественных и искусственных подсистем, служащих для преобразования, распределения и использования энергетических ресурсов всех видов [3].

Альтернативная энергетика – сектор энергетики, который для получения энергии включает в себя разработку и использование перспективных установок, технологий и топлив, которые по экономическим и техническим причинам менее распространены, чем традиционные [3].

Необходимость развития альтернативной энергетики обусловлена несколькими ключевыми факторами:

1. Изменение климата. Использование ископаемых видов топлива (уголь, нефть, газ) приводит к выбросам парниковых газов, что способствует глобальному потеплению и изменению климата. Альтернативные источники энергии, такие как солнечная, ветровая и гидроэнергия, значительно снижают эти выбросы.

2. Истощение ресурсов. Ископаемые виды топлива являются ограниченными ресурсами. С увеличением потребления энергии запасы угля, нефти и газа истощаются, что делает их добычу все более сложной и дорогой.

3. Энергетическая безопасность. Зависимость от импорта ископаемых топлив может ставить страны в уязвимое положение. Развитие альтернативной энергетики позволяет странам снизить зависимость от внешних поставок и повысить свою энергетическую независимость.

4. Экономические выгоды. Инвестиции в альтернативные источники энергии могут создать новые рабочие места и стимулировать экономический рост. Производство и установка солнечных панелей, ветряков и других технологий требует значительного числа узких специалистов [4].

5. Технологический прогресс. С развитием технологий стоимость производства альтернативной энергии снижается, что делает ее более доступной и конкурентоспособной по сравнению с традиционными источниками.

6. Сохранение экосистем. Использование альтернативной энергетики помогает снизить загрязнение воздуха и воды, что положительно сказывается на здоровье людей и состоянии экосистем [4].

7. Социальные и политические факторы. Общественное мнение все больше поддерживает переход на чистые источники энергии, а правительства многих стран принимают законы и инициативы для стимулирования использования возобновляемых источников.

8. Доступ к электрификации. Развитие возобновляемых источников энергии может помочь обеспечить доступ к электричеству в отдаленных и недоступных регионах, где традиционные источники энергии нецелесообразны или недоступны.

9. Создание рабочих мест. Развитие сектора альтернативной энергетики создает новые рабочие места в области проектирования, производства, установки и обслуживания оборудования. Это может способствовать

экономическому росту и улучшению качества жизни в регионах, где эти проекты реализуются.

10. Энергетическая эффективность. Многие альтернативные источники энергии позволяют значительно повысить общую энергетическую эффективность, что важно для снижения потребления энергии в целом. Инновационные технологии, такие как умные сети и системы хранения энергии, играют ключевую роль в оптимизации потребления энергии [2].

11. Стимуляция инноваций. Инвестиции в альтернативные источники энергии способствуют развитию новых технологий и инноваций, что может привести к созданию новых рынков и возможностей для предпринимательства. Исследования и разработки в области возобновляемой энергетики могут привести к новым открытиям и усовершенствованиям, которые впоследствии можно применять в других отраслях.

12. Устойчивое развитие. Альтернативные источники энергии поддерживают концепцию устойчивого развития, обеспечивая баланс между экономическим ростом, социальным прогрессом и сохранением окружающей среды для будущих поколений. Использование чистых и возобновляемых источников энергии позволяет создать более устойчивую и справедливую глобальную экономику.

Виды альтернативных источников энергии не стоят на месте и активно развиваются, поэтому мы можем выделить следующие виды:

1. Солнечная энергия.

Солнце является основным источником энергии на Земле, поскольку ежегодно на нашу планету поступает около 173 ПВт (или 173 млн ГВт) солнечной энергии, что более чем в 10 тысяч раз превышает глобальные потребности в энергии. Фотоэлектрические модули, размещенные на крышах или открытых пространствах, преобразуют солнечный свет в электрическую энергию с использованием полупроводников, преимущественно кремния. Солнечные коллекторы производят тепло для отопления, получения горячей воды и кондиционирования воздуха. Солнечные панели могут генерировать энергию даже в облачную погоду и во время снегопадов. Для достижения максимальной эффективности их рекомендуется устанавливать под определенным углом: чем дальше от экватора, тем больше угол наклона панелей [5].

2. Ветровая энергия.

Использование ветра как источника энергии имеет долгую историю. Ветряные мельницы применялись для размола зерна, лесопиления и в качестве насосов для подъема воды. Современные ветряные генераторы производят электричество, преобразуя энергию ветра. Сначала они конвертируют кинетическую энергию ветра в механическую энергию ротора, а затем в электрическую.

Ветроэнергетика является одной из наиболее интенсивно развивающихся технологий в области возобновляемой энергетики. Согласно последним данным IRENA, за последние двадцать лет совокупные мощности по производству ветровой энергии на суше и в море увеличились почти в 75 раз — с 7,5 ГВт в 1997 году до примерно 564 ГВт в 2018 году [2].

3. Водная энергия.

С древних времен, начиная с Древнего Египта и Римской империи, вода использовалась для привода в действие различных машин, включая мельницы. В средние века в Европе водяные мельницы нашли применение на лесопильнях и целлюлозно-бумажных фабриках. Начиная с конца XIX века, водную энергию начали активно использовать для генерации электроэнергии [3].

4. Геотермальная энергия.

Геотермальная энергия представляет собой использование тепла из недр Земли для генерации электричества. Температура внутренних слоев земли позволяет нагревать верхние горизонты и подземные водоемы. Геотермальная энергия извлекается из грунта через небольшие скважины, что не требует значительных финансовых вложений. Этот метод особенно эффективен в регионах, где горячие источники находятся близко к земной поверхности.

5. Биоэнергетика.

Биоэнергетика обладает универсальными возможностями. Энергия в виде тепла, электричества и топлива может быть получена из твердой, жидкой и газообразной биомассы. В этом процессе используются отходы как растительного, так и животного происхождения в качестве возобновляемого сырья [5].

Полагаясь на виды альтернативной энергии и многолетнюю эксплуатацию этой отрасли, мы можем выделить положительное и негативное влияние на природу, а также жизнь человека.

Позитивные стороны:

1. Снижение выбросов парниковых газов.

Переход на альтернативные источники энергии снижает выбросы углекислого газа и других парниковых газов. Это помогает замедлить глобальное потепление и уменьшить негативное воздействие изменения климата.

2. Улучшение качества воздуха.

Солнечные и ветровые электростанции не производят загрязняющих веществ, что приводит к улучшению качества воздуха. Это снижает риски возникновения заболеваний дыхательной системы у населения и общую заболеваемость [2].

3. Сохранение природных ресурсов.

Возобновляемые источники энергии, такие как солнце и ветер, не истощаются, в отличие от ископаемых источников. Это позволяет сохранить ресурсы для будущих поколений и снизить давление на экосистемы.

4. Диверсификация энергетической системы.

Использование различных источников энергии увеличивает надежность и устойчивость энергетической инфраструктуры. Это помогает минимизировать риски, связанные с колебаниями цен на нефть и газ [1].

5. Стимулирование экономического роста.

Развитие сектора альтернативной энергетики создает новые рабочие места, как в сфере производства, так и в сфере обслуживания и установления оборудования. Это может привести к экономическому росту в регионах с высоким уровнем безработицы.

6. Снижение цен на энергию.

С увеличением доли альтернативной энергетики на рынке конкуренция между поставщиками энергии может привести к снижению цен на электроэнергию. Это в свою очередь увеличивает доступность энергии для потребителей и может способствовать экономическому росту [4].

7. Гибкость и адаптация.

Альтернативные источники энергии, такие как солнечные панели и ветряные турбины, могут быть установлены в различных условиях и адаптированы к местным нуждам. Это позволяет различным регионам использовать собственные ресурсы для генерации энергии, что особенно важно для удаленных и сельских территорий.

8. Популяризация устойчивого образа жизни.

Растущее внимание к альтернативной энергетике вдохновляет людей на изменение своего образа жизни и переосмысление потребительских привычек. Это способствует формированию более осознанного отношения к использованию ресурсов и стремлению к устойчивому развитию [3].

9. Глобальное сотрудничество.

Переход на альтернативную энергетику открывает новые пути для международного сотрудничества и партнерства. Страны могут обмениваться технологиями, опытом и ресурсами, что способствует глобальному пониманию важности устойчивого развития и защиты окружающей среды для будущих поколений.

10. Поддержка местного самоуправления и сообществ.

Альтернативные источники энергии часто могут быть развернуты на локальном уровне, что позволяет местным сообществам получить доступ к собственным ресурсам. Это создает возможности для развития местной экономики, поддерживает инициативы по устойчивому развитию и усиливает связь между жителями.

Негативные стороны:

1. Воздействие на местные экосистемы.

Строительство солнечных ферм и ветряных парков может привести к изменению природных ландшафтов и утрате местообитаний для флоры и фауны. Например, установка ветряков может угрожать популяциям птиц и летучих мышей.

2. Проблемы с утилизацией.

Некоторые компоненты, используемые в солнечных панелях (например, кадмий и свинец), могут быть опасными для окружающей среды. Сложности с утилизацией таких материалов могут привести к экологическим проблемам.

3. Загрязнение воды.

Некоторые технологии, например, гидроэлектростанции, могут негативно повлиять на качество воды и экосистемы рек, изменяя естественные потоки воды и оказывая влияние на водные организмы.

4. Социальные конфликты.

Проекты альтернативной энергетики могут стать источником конфликта с местными сообществами, если не будет учтено их мнение или интересы. Это

может произойти, если земельные участки, используемые для проектов, принадлежат местным жителям или если возобновляемые источники энергии негативно влияют на местную культуру или традиции.

5. Перегрузка существующей инфраструктуры.

Переход на альтернативные источники может потребовать модернизации существующих энергетических сетей. Многие из них были спроектированы для работы с традиционными источниками энергии. Это может привести к необходимости значительных затрат на обновление инфраструктуры, чтобы интегрировать новые технологии и обеспечить надежные поставки энергии.

6. Вложение капитала и экономические риски.

Альтернативная энергетика требует значительных первоначальных инвестиций в инфраструктуру. Строительство ветровых и солнечных электростанций, а также разработка технологий хранения энергии могут потребовать больших капитальных затрат. В условиях нестабильной экономики такие инвестиции могут быть рискованными. Кроме того, возвращение инвестиций может занять много лет, что снижает интерес со стороны частных инвесторов.

7. Технические и инфраструктурные ограничения.

Переход на альтернативные источники энергии требует значительных преобразований существующей энергетической инфраструктуры. Это включает в себя обновление старых электросетей, которые могут не справляться с новыми источниками генерации энергии (например, распределенная сеть, требующая новых подходов к распределению и учету потребления энергии). Страны, которые не обладают достаточными финансовыми или технологическими ресурсами, могут столкнуться с трудностями в осуществлении полной модернизации своей инфраструктуры.

8. Неопределенность и нестабильность цен.

Хотя в долгосрочной перспективе цены на альтернативную энергию, как правило, снижаются, волатильность на международных рынках и зависимость от редкоземельных металлов для производства технологий могут привести к резким колебаниям цен. Это может негативно сказаться на экономике стран, которые резко переходят на альтернативные источники энергии без надлежащего планирования.

9. Проблемы устойчивости и стабильности энергосистем.

Одним из ключевых вызовов для альтернативной энергетики является ее непостоянство. Например, солнечные панели производят энергию только в дневное время и зависят от погодных условий, а ветряные турбины зависят от скорости ветра. Это создает сложности для управления энергосистемами, особенно в регионах, где альтернативная энергия является доминирующим источником. Необходимость в развитии систем хранения энергии, таких как аккумуляторы, становится актуальной, но текущие технологии могут оказаться дорогостоящими и не всегда эффективными.

Таким образом, альтернативная энергетика представляет собой важный шаг к устойчивому развитию и минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Однако, как и любой другой тип энергетики, она имеет свои

положительные и отрицательные стороны. Для достижения максимальной экологической выгоды необходимо тщательно учитывать и управлять всеми аспектами, связанными с реализацией проектов альтернативной энергетики. Это требует комплексного подхода, включая научные исследования, общественные обсуждения и политику, которая учитывает интересы различных групп населения и охрану окружающей среды.

Список литературы:

1. Быстрицкий, Г. Ф. Общая энергетика (производство тепловой и электрической энергии): учебник / Г. Ф. Быстрицкий, Г. Г. Гасангаджиев, В. С. Кожиченков. – 2-е изд., стереотип. – Москва: КНОРУС, 2016. – 408 с.
2. Вавилов, А. В. Эволюция развития технических средств для топливообеспечения энергоустановок на биомассе / А. В. Вавилов // Энергоэффективность. – 2018. – № 4. – С. 22-23.
3. Быстрицкий, Г. Ф. Основы энергетики: учебник / Г. Ф. Быстрицкий. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: КНОРУС, 2011. – 350 с.
4. Гафуров, А. М. Использование сбросной низкопотенциальной теплоты для повышения экономической эффективности ТЭС в зимний период времени / А. М. Гафуров. // Энергетики Татарстана. – 2014. – № 2 (35–36). – С. 69 – 76.
5. Гафуров, А. М. Утилизация сбросной низкопотенциальной теплоты ТЭС в зимний период времени для дополнительной выработки электроэнергии / А. М. Гафуров. // Энергетики Татарстана. – 2014. – № 3-4 (34). – С. 34 – 35
6. Германович, В. Альтернативные источники энергии и энергосбережение. Практические конструкции по использованию энергии ветра, солнца, воды, земли, биомассы / В. Германович, А. Турилин. – Санкт-Петербург: Наука и техника, 2014. – 319 с.

© Адкина А. С., 2024

АНАЛИЗ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ БЕНТОНитОВОЙ МАТРИЦЫ

студент **Пыльцова Дарья Олеговна**,
студент **Кувшинова Елена Васильевна**,
науч. руководитель: доктор техн. наук, профессор
Ташлыков Олег Леонидович,
Уральский Федеральный университет
им. первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Российская Федерация

Аннотация. В работе проведен анализ радиационно-защитных свойств материалов на основе матрицы из бентонита. В результате анализа делается вывод о возможности использования материалов для строительства АЭС.

Ключевые слова: радиационно-защитные материалы, АЭС, атомная энергетика, бентонит

ANALYSIS OF RADIATION-PROTECTIVE PROPERTIES OF MATERIALS BASED ON BENTONITE MATRIX

Student **Pyltsova Darya Olegovna**,
Student **Kuvshinova Elena Vasilyevna**,
Academic Advisor: Doctor of Technical Sciences, Professor
Tashlykov Oleg Leonidovich,
Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,
Ekaterinburg, Russian Federation

Abstract. The work analyzes the radiation protection properties of materials based on a bentonite matrix. As a result of the analysis, a conclusion is made about the possibility of using materials for the construction of nuclear power plants.

Keywords: radiation protection materials, nuclear power plants, nuclear power engineering, bentonite.

Экранирование играет ключевую роль в обеспечении безопасности на атомных электростанциях [1]. Оно помогает защитить персонал и окружающую среду от вредного воздействия радиации, а также предотвращает возможные аварии. Разработка новых материалов и технологий позволяет постоянно улучшать эффективность экранирующих систем, делая работу на АЭС еще безопаснее [2, 3].

Использование местных природных материалов при экранировании на атомных электростанциях является важным шагом в направлении повышения экономической эффективности, экологической устойчивости и социальной ответственности проектов. Этот подход позволяет снизить затраты, уменьшить

воздействие на окружающую среду и обеспечить высокую степень безопасности эксплуатации АЭС.

На многих современных АЭС уже применяются местные природные материалы для экранирования. Например, на некоторых станциях используются гранитные блоки, добытые в ближайших карьерах, для строительства биологической защиты. Также широко применяется местный песок и гравий для производства бетона, который затем используется для создания защитных стен и перекрытий.

Бентонит – это природный глинистый минерал, обладающий уникальными свойствами, которые делают его незаменимым материалом в различных отраслях промышленности, включая строительство атомных электростанций (АЭС). Особенно ценится способность бентонита к набуханию и образованию водонепроницаемых барьеров, что делает его идеальным материалом для создания экранов и защитных слоев на АЭС [4, 5].

В настоящей работе исследованы радиационно-защитные свойства композита на основе из бентонита, легированного Bi_2O_3 и PbO .

Исследуемые образцы были изготовлены из порошка бентонитовой глины с различным по массовому проценту добавлением оксидами висмута и свинца (рис. 1). Связующим элементом для получения композита стала эпоксидная смола в 10 масс%.



Рисунок 1. Изготовленные образцы

Для определения плотности образцов измеряли геометрические параметры каждого изготовленного композита с помощью штангенциркуля, затем на весах определяли массу. Самым легким оказался композит E10B90, а наибольшую массу имеет E10B70p40.

Далее на основе химического состава был исследован массовый коэффициент ослабления образцов при помощи базы данных XCOM. Помимо этого, так же был сделан MCNP анализ образцов, полученные результаты для сравнения представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнения полученных массовых коэффициентов ослабления

Энергии, МэВ	E10B90		E10B50Bi20		E10B50Bi40		E10B50Pb20		E10B50Pb40	
	MCNP	XCOM	MCNP	XCOM	MCNP	XCOM	MCNP	XCOM	MCNP	XCOM
0,662	0,07654	0,07663	0,08451	0,08477	0,09173	0,09214	0,08423	0,08448	0,09121	0,0916
1,173	0,05806	0,05827	0,05857	0,05926	0,059394	0,06015	0,05839	0,05909	0,05906	0,05983
1,332	0,05444	0,05462	0,054587	0,05514	0,054718	0,05561	0,05443	0,05498	0,05441	0,05531

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

Измерения проводились с помощью гамма-радиометра РКГ-АТ1320 С.

Определение линейного коэффициента ослабления происходило в результате измерения интенсивности счета импульсов по следующей формуле:

$$\ln \frac{I_0}{I_l} = \mu \cdot l,$$

где I_0 – интенсивность счета импульсов без поглотителя;

I_l – интенсивность счета импульсов с поглотителем толщиной l ;

μ – линейный коэффициент ослабления.

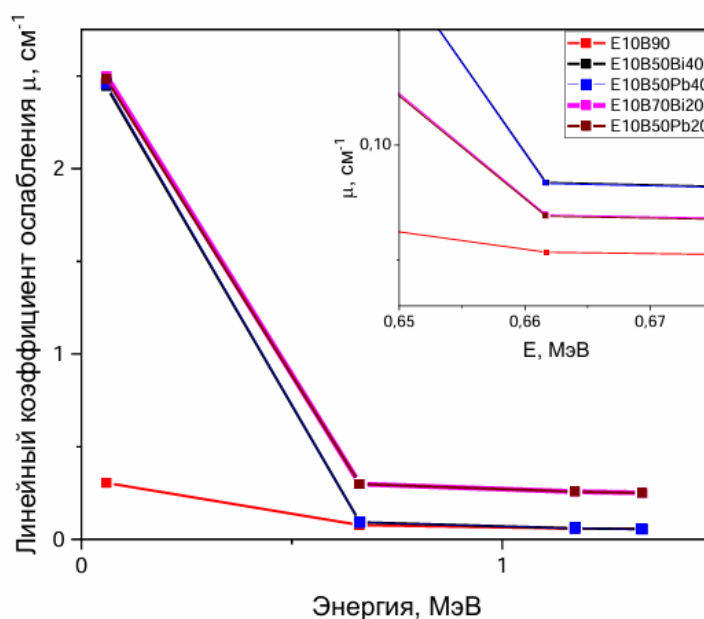


Рисунок 2. Линейный коэффициент ослабления образцов в зависимости от энергии

В результате проведенных исследований были выявлены лучшие образцы по радиационно-защитным свойствам – E10B50Pb40 и E10B50Bi40. Они обладают наибольшей экранирующей способностью среди изученных образцов и могут использоваться в составе строительных материалов для биологической защиты при сооружении объектов использования атомной энергии.

Данный материал может быть использован в различных формах:

1. Укладка в виде гранул. Гранулированный бентонит засыпается в пространство между стенами хранилища и окружающим грунтом. При контакте с водой гранулы разбухают, заполняя все пустоты и создавая герметичный барьер.

2. Смесь с цементом. Бентонит смешивается с цементным раствором, образуя композитный материал, который заливается в опалубку. Такой метод позволяет создать монолитный защитный слой.

3. Материальные маты. Специальные маты, содержащие бентонит, укладываются на поверхность хранилища или вокруг него. Маты обеспечивают равномерное распределение материала и упрощают процесс монтажа.

Список литературы

1. Егоров, Ю. А. Основы радиационной безопасности атомных электростанций: учебное пособие для вузов / Ю. А. Егоров; под общ. ред. Н.А. Доллежала. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 272 с.
2. Машкович, В. П., Защита от ионизирующих излучений: справочник / В. П. Машкович, А. В. Кудрявцева. – 4-е изд, перераб, и доп. – Москва: Энергоатомиздат, 1995. – 496 с.
3. Пыльцова, Д. О. Исследование природных минералов Вьетнама для оценки потенциала их применения в качестве защиты от ионизирующего излучения / Д. О. Пыльцова, О. Л. Ташлыков, Та Ван Тхыонг, Е. В. Кувшинова, А. М. Широнова, И. П. Воронин, К. А. Махмуд, С. Е. Щеклеин // Альтернативная энергетика и экология. – № 1(418). – 2024. – С. 75-86.
4. Нуртазина, Н. Д. Композиционные материалы на основе бентонитовой глины / Н. Д. Нуртазина, А. Б. Рахым, А. Н. Имангалиева, Г. А. Сейлханова // Проблемы теоретической и экспериментальной химии: тезисы докладов XXVIII Российской молодежной научной конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения профессора В. А. Кузнецова (Екатеринбург, 25-27 апреля 2018 г.). – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2018. – С. 131.
5. Мерабишвили, М. С. Природные особенности, физико-химические свойства, области применения, основные месторождения СССР / М. С. Мерабишвили. Кавказский науч.-исслед. ин-т минер. сырья «КИМС» М-ва геологии и охраны недр СССР. – Москва: Госгеолтехиздат, 1962. – 128 с.

© Пыльцова Д. О., Кувшинова Е. В., 2024

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ

аспирант **Кравчук Артем Алексеевич**,
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент **Доманов Виктор Иванович**,
Ульяновский государственный технический университет,
г. Ульяновск, Российская Федерация

Аннотация. В работе акцентируется внимание на надежности электроприводов как ключевом технико-экономическом показателе их работы. Рекомендуется проводить мониторинг и анализ работы этих систем для повышения их надежности и продолжительности безотказной работы. Описывается надежность электроприводов в зависимости от режимов их работы, условий эксплуатации и конструктивных особенностей.

Ключевые слова: электропривод, надежность, экстремальные условия, аварийные режимы, асинхронный электропривод.

INVESTIGATION OF THE RELIABILITY OF ELECTRIC MOTORS USED IN MODERN ELECTRIC DRIVERS

Graduate Student **Kravchuk Artem Alekseevich**,
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor
Domanov Victor Ivanovich,
Ulyanovsk State Technical University,
Ulyanovsk, Russian Federation

Abstract. The paper focuses on the reliability of electric drives as a key technical and economic indicator of their operation. It is recommended to monitor and analyze the operation of these systems to increase their reliability and uptime. The reliability of electric drives is described depending on their operating modes, operating conditions and design features.

Keywords: electric drive, reliability, extreme conditions, emergency modes, asynchronous electric drive.

Среди всех технико-экономических показателей качества работы электропривода наиболее важной является надежность. При прочих равных условиях она определяется режимами работы электропривода, условиями их эксплуатации и особенностями конструкции. Во время жизненного цикла электроприводов как технических объектов, являющихся электромеханическими системами, актуально проводить мониторинг и анализ работы и условий эксплуатации с целью повышения их надежности и продолжительности безотказной работы [1].

Качество продукции, производимой промышленными предприятиями, рациональное использование энергетических ресурсов и безаварийная работа электрооборудования тесно взаимосвязаны между собой. Достижение высокого уровня этих показателей можно обеспечить совершенствованием технологии эксплуатации технических средств и внедрением более современных технологий. На многих промышленных предприятиях электроприводы используются повсеместно, и для их работы характерна бесперебойность. В таких условиях надежность отдельных компонентов электропривода напрямую влияет на общую эффективность их работы.

Асинхронные электроприводы получили наибольшее распространение в промышленном секторе. Их доля составляет около 90 % от общего числа электроприводов, а по мощности и объему потребляемой электроэнергии – 60 % и более. Эти машины еще долго будут трансформировать электрическую энергию в механическую, благодаря простоте конструкции, высокой надежности и эффективности, а также адекватным эксплуатационным характеристикам. Однако в реальных условиях эксплуатации фактические показатели асинхронных электродвигателей могут не соответствовать заявленным. Это связано с особыми условиями, в которых эксплуатируется электропривод, такими как резкие изменения нагрузки, неблагоприятные климатические условия, низкое качество питающего напряжения, а также неэффективность систем защиты и управления.

Надежность устройств управления, основанных на полупроводниках, немного выше, и их срок службы колеблется в пределах 5-6 лет. Основными факторами, способствующими их выходу из строя, являются аварийные режимы, несоответствие условиям эксплуатации и неожиданное разрушение отдельных компонентов. В последнее время как у нас, так и за границей активно применяются электронные средства защиты, которые, как считается, обладают повышенными надежностью и функциональными защитными характеристиками по сравнению с механическими [2]. Тем не менее, оценка надежности таких устройств осуществляется на этапе проектирования, основываясь на принципиальных электрических схемах.

Работа электропривода в аварийных режимах может привести к перегреву обмотки статора и, как следствие, выводу электропривода из строя. Для предотвращения такого развития событий существуют системы защиты, осуществляющие мониторинг температуры электродвигателя в реальном времени.

Несмотря на широкое распространение асинхронных двигателей, электроприводы постоянного тока обнаруживают свое применение в сферах, где необходимы плавные регулировки скорости, а также высокие значения пусковых, тормозных и перегрузочных моментов. Основной причиной выхода из строя двигателей постоянного тока чаще всего оказывается неисправность коллекторно-щеточного узла. Износ коллектора имеет многогранный характер и обусловлен воздействием различных эксплуатационных факторов. Важную роль в надежности коллекторно-щеточного узла играет износ щеток. Их срок службы

определяется рядом факторов, таких как физико-химические свойства материалов, плотность тока под щетками и особенности процесса коммутации.

Помимо износа щеток, на долговечность коллекторно-щеточного узла влияют условия эксплуатации двигателя. Например, повышенная влажность, пыль и загрязнения могут ускорить износ щеток и коллектора. Также важно учитывать правильность монтажа и регулировки двигателя, так как неправильная установка может привести к неравномерному износу щеток и коллектора.

Для предотвращения преждевременного выхода из строя двигателей постоянного тока необходимо проводить регулярное техническое обслуживание, включающее очистку коллектора и щеток, проверку плотности прилегания щеток к коллектору и замену изношенных деталей. Также важно использовать качественные материалы для изготовления щеток и обеспечивать оптимальные условия эксплуатации двигателя.

Надежность электрических машин в значительной степени зависит от точности геометрической формы коллектора. Под воздействием технологических и эксплуатационных факторов коллектор может деформироваться. В процессе его обработки могут возникать отклонения, приводящие к эксцентricности, овальности или появлению дефектов на поверхности, которые усугубляются динамическими и электромагнитными силами во время работы, а также из-за расслабления затяжки шпилек и усадки изоляции. Исправить такие неисправности можно путем шлифовки и полировки коллектора до необходимых параметров.

На износ коллекторов влияют несколько факторов, включая давление щеток на коллектор, используемые материалы, вибрацию и биение коллектора, а также повышенные скорости вращения. Высокие температуры на контактных поверхностях, вместе с нарушением стабильности контактов между коллекторами и щетками, могут привести к дополнительному искрению и обгоранию щеток, вызывая преждевременный выход из строя коллекторных пластин. Химические факторы, такие как образование контактной пленки, состав и влажность воздуха, а также наличие активных газов, также влияют на степень износа коллектора. Присутствие пленки на поверхности коллектора может замедлить его износ и улучшить распределение тока под щетками.

Изменения площадей контакта в процессе вращения коллектора приводят к колебаниям местных плотностей тока и высоким температурами, в то время как размыкание и замыкание контактных точек может вызвать образование малых электрических дуг, что также способствует разрушению поверхности коллектора и увеличению переходного сопротивления. Влажность воздуха, состояние контактной пленки и скорость вращения коллектора существенно воздействуют на это сопротивление.

Статистика показывает, что при адекватных условиях эксплуатации износ коллекторов для электродвигателей непрерывного действия составляет около 0,1–2,0 мм в год. Старение и разрушение изоляционных материалов в электромеханических системах происходит под воздействием тепловых и механических факторов, что может вызвать повреждение обмоток якоря,

включая пробой изоляции и межвитковые замыкания. Также наблюдаются проблемы с соединительными элементами и проволочными бандажами. Щеточная траверса, являющаяся критически важной частью машин постоянного тока, подвержена поломкам, нарушению регулировки и другим повреждениям.

Для повышения надежности машин постоянного тока важно модернизировать конструкцию и улучшать условия работы коллекторов и щеточных узлов. Ключевым фактором в повышении надежности коллектора является продуманная технология его производства. В целях увеличения надежности скользящих контактов за счет снижения износа щеток на коллекторе, в углеродистые материалы вводится небольшое количество фторопласта, а также используются щетки с пропитывающими веществами.

Бесконтактные двигатели постоянного тока (БДПТ) лишены многих перечисленных недостатков. Они отличаются от традиционных коллекторных двигателей наличием полупроводникового коммутатора (инвертора), который управляется сигналами от бесконтактного датчика положения ротора. Рабочая обмотка находится на статоре, а постоянный магнит располагается на роторе.

Трехфазные асинхронные двигатели занимают ведущее место в применении их в электроприводах, однако их надежность остается недостаточной. Основной вид отказов – это повреждение обмотки, что для двигателей с всыпной обмоткой в большинстве случаев требует капитального ремонта. Около 20 % асинхронных двигателей подвергаются такому ремонту ежегодно, при этом более 85 % отказов обусловлены повреждением обмотки, а 2-5 % – из-за проблем с подшипниками. Около 35 % отказов возникают из-за неудовлетворительного качества изготовления двигателей, что часто вызвано низким качеством материалов, включая электроизоляционные и обмоточные провода [5].

Недостатки в эксплуатации, главным образом недостаточная защита при соблюдении нормальных условий работы, приводят к половине всех отказов. Подход к надежности обмоток асинхронных двигателей можно рассматривать как систему, состоящую из последовательно соединенных элементов. Поэтому обмотка должна обладать высокой надежностью изоляции между секциями, что критически важно для предотвращения отказов во всей системе.

$$p_{ог}\{t\} = \prod_{i=1}^n p_{bi}\{t\} \prod_{\Pi=1}^z p_{\Pi}\{t\} \prod_{M=1}^m p_M\{t\} \prod_{c=1}^z p_c\{t\},$$

где $p_{bi}\{t\}$ – надежность межвитковой изоляции пары проводников; $p_{\Pi}\{t\}$ – надежность композиции пазовой изоляции в одном пазу; $p_M\{t\}$ – надежность композиции межфазной изоляции в лобовой части обмотки (одной межфазной прокладки); $p_c\{t\}$ – надежность композиции межсекционной изоляции в пазу (при двухслойной обмотке). В формуле (1) не все множители равноценны. Наименьшее значение имеет первый множитель $\prod_{i=1}^n p_{bi}\{t\}$, который, в основном, и определяет надежность обмотки. Недостаточная надежность асинхронных двигателей обуславливается двумя основными факторами: низкой надежностью межвитковой изоляции и огромным количеством пар проводников, достигающим $10^2 - 10^3$. В то же время надежность композиции межфазной и межсекционной изоляций достаточно

высокая. Однако иногда отказы происходят из-за соприкосновения ротора со статором, что бывает следствием значительной неравномерности воздушного зазора и приводит к недопустимым перегревам обмоток и витковым замыканиям. К характерным повреждениям обмотки ротора асинхронных короткозамкнутых двигателей относятся трещины и обрывы стержней обмотки в местах их подключения к короткозамыкающим кольцам. Эти обрывы указывают на значительные динамические силы, воздействующие на ротор в процессе запуска и переключения частоты вращения [3].

В условиях современного рынка предприятия стремятся повысить эксплуатационную эффективность своих систем. В этом контексте наиболее важными являются задачи, направленные на улучшение экономических показателей. Эффективность функционирования машин тесно связана с надежностью технологических систем. Несмотря на высокий уровень автоматизации в промышленности, надежность электроприводов рабочих машин остается на низком уровне. В большинстве случаев такие электроприводы являются асинхронными нерегулируемыми.

Переключаемые реактивные двигатели (ПРД), известные в зарубежной литературе как Switched Reluctance Machines, обладают большей надежностью. В отечественной практике их чаще называют вентильно-индукторными. Эти двигатели питаются от источников постоянного тока и оснащены коммутатором для переключения обмоток статора. Статор и ротор изготавливаются из магнитомягкой стали, при этом ротор не имеет ни обмоток, ни постоянных магнитов. Каждая фаза статора состоит из двух последовательно соединенных катушек, размещенных на противоположных полюсах. Эта конструктивная особенность позволяет избежать необходимости полной перемотки двигателя в случае выхода одной из катушек из строя [4, 5].

Анализ основных неисправностей различных типов двигателей приводит к выводу, что наибольшую надежность демонстрируют БДПТ и ПРД. Однако наибольший потенциал развития имеет ПРД, так как отсутствие постоянного магнита на роторе значительно снижает его стоимость. Дополнительно стоит учитывать, что в схемах электропривода с БДПТ обязательно требуется датчик положения ротора, надежность которого может быть недостаточно высокой. В то же время существуют векторные системы управления для ПРД, которые функционируют без использования датчиков положения ротора.

Список литературы:

1. Бурков, А. Ф. Надежность судовых электроприводов: монография [Электронный ресурс] / А. Ф. Бурков // Инженерная школа ДВФУ. Сер. «Электроэнергетика и электротехника». – Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2014. – 203 с.
2. Афанасьев, Н. А. Система технического обслуживания и ремонта оборудования энергохозяйств промышленных предприятий (система ТОР ЭО) / Н. А. Афанасьев, М. А. Юсипов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.

3. Гольдберг, О. Д. Надежность электрических машин: учебник для студ. высш. учеб. заведений / О. Д. Гольдберг, С. П. Хелемская; под ред. О. Д. Гольдберга. – М.: Академия, 2010. – 288 с.
4. Катаев, Е. В. Совершенствование электроприводов путем применения в них переключаемых реактивных двигателей взамен асинхронных короткозамкнутых / Е. В. Катаев, В. А Козлов, Г. Е. Кувшинов, Д. В. Чебышев // Проблемы транспорта Дальнего Востока: материалы одиннадцатой международной научно-практической конференции. 2–4 октября 2015 г. – Владивосток: ДВО Российской Академии транспорта, 2015. – С. 172–173.
5. R. Krishnan. Switched Reluctance Motor Drives / Modeling, Simulation, Analysis, Design and Applications. — London, New York/ Washington: CRC Press, Boca Raton. 2001. — 216 pp.

© Кравчук А. А., 2024

ВАЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗАЦИИ СБОРА И АНАЛИЗА ДАННЫХ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

аспирант **Рубцов Кирилл Дмитриевич**,
науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент **Жуйко Леонид Иванович**,
ФИЦ КНЦ СО РАН,
Красноярский институт железнодорожного транспорта,
г. Красноярск, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматривается важность применения технологий автоматизации сбора и анализа данных для прогнозирования состояния оборудования в электроэнергетических системах. Авторами статьи описаны современные методы и подходы к сбору информации о состоянии оборудования, включая использование датчиков, систем мониторинга и аналитических платформ. Особое внимание уделено преимуществам внедрения автоматизированных систем для предотвращения аварийных ситуаций, повышения надежности работы энергетических систем и оптимизации их эксплуатации. Также приведены примеры успешного использования таких технологий в Российской Федерации и международных проектах.

Ключевые слова: автоматизация, сбор данных, анализ данных, электроэнергетические системы, прогнозирование, оборудование.

THE IMPORTANCE OF USING AUTOMATION TECHNOLOGY FOR DATA COLLECTION AND ANALYSIS TO PREDICT THE CONDITION OF EQUIPMENT IN ELECTRIC POWER SYSTEMS

Graduate student **Rubtsov Kirill Dmitrievich**,
Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor
Zhuiko Leonid Ivanovich,
FITC KNC SB RAS,
Krasnoyarsk Institute of Railway Transport,
Krasnoyarsk, Russian Federation

Abstract. The article discusses the importance of using automation technologies for data collection and analysis to predict the condition of equipment in electric power systems. The authors of the article describe modern methods and approaches to collecting information about the condition of equipment, including the use of sensors, monitoring systems and analytical platforms. Special attention is paid to the advantages of implementing automated systems to prevent emergencies, improve the reliability of energy systems and optimize their operation. Examples of successful use of such technologies in the Russian Federation and international projects are also given.

Keywords: automation, data collection, data analysis, electric power systems, forecasting, equipment.

Современные энергетические системы сталкиваются с рядом вызовов, связанных с увеличением нагрузки на оборудование, ростом сложности систем управления и необходимостью обеспечения высокой степени надежности поставок электроэнергии. Одним из ключевых факторов успеха в решении этих задач является внедрение современных технологий автоматизации сбора и анализа данных. Данные технологии позволяют значительно повысить эффективность эксплуатации оборудования в энергетических системах, улучшить качество обслуживания и минимизировать риски возникновения аварийных ситуаций [1].

Для эффективного функционирования конкретной электроэнергетической системы необходимо постоянно контролировать состояния находящегося в ней оборудования. Традиционными методами контроля являются:

1. Визуальный осмотр: во время осмотра проверяется внешний вид оборудования, наличие механических повреждений, следов коррозии, масляных пятен, утечек жидкости или газа, а также любые другие признаки, указывающие на возможные проблемы с оборудованием. Также визуальный осмотр предполагает проверку состояния кабелей, соединений и других компонентов системы [5].

2. Проведение периодических испытаний: тестирование оборудования на соответствие установленным техническим требованиям и стандартам (например, ПТЭ, ПУЭ, ПТЭЭП). Испытания проводятся в соответствии с графиком и могут включать измерение электроэнергетических характеристик (например, напряжение, ток, сопротивление изоляции, емкость, индуктивность, механические тесты – проверка прочности материалов и конструкций) [6].

3. Анализ эксплуатационных параметров: данный метод подразумевает постоянное отслеживание рабочих показателей оборудования (например, температура, давление, скорость вращения, уровень вибрации). При этом метод позволяет выявить изменения в работе оборудования, которые могут указывать на возникновении неисправности или приближение к состоянию отказа [7].

Однако такие методы требуют значительных временных и трудовых затрат, а также могут приводить к пропуску критически важных изменений в работе оборудования.

Современные технологии автоматизации сбора и анализа данных предлагают различные решения данной проблемы за счет использования и внедрения датчиков и систем мониторинга. Датчики устанавливаются непосредственно на оборудование, передают данные о состоянии конкретного оборудования в режиме реального времени. Полученные данные позволяют оперативно выявлять отклонения от нормы и принимать меры до того, как они приведут к серьезным последствиям.

Одним из наиболее перспективных направлений развития являются:

1. Интеллектуальные датчики: оснащены встроенными микропроцессорами и алгоритмами машинного обучения, позволяющие

собирать данные и проводить первичный анализ на месте установки датчика на оборудовании. Датчики могут самостоятельно определять аномалии в работе оборудования, сравнивать текущие показатели с эталонными значениями и отправлять предупреждения при обнаружении отклонений.

2. Программное обеспечение (ПО): позволяет агрегировать большие объемы информации, поступающие от датчиков и систем мониторинга. При этом при написании ПО можно фильтровать информацию, устранять шумы и аномалии, а в конечном итоге представлять результаты в удобном для восприятия виде – через графики, диаграммы и отчеты.

На рисунке 1 представлен один из вариантов программного обеспечения (ПО), применяемых в компании ОАО «РЖД».

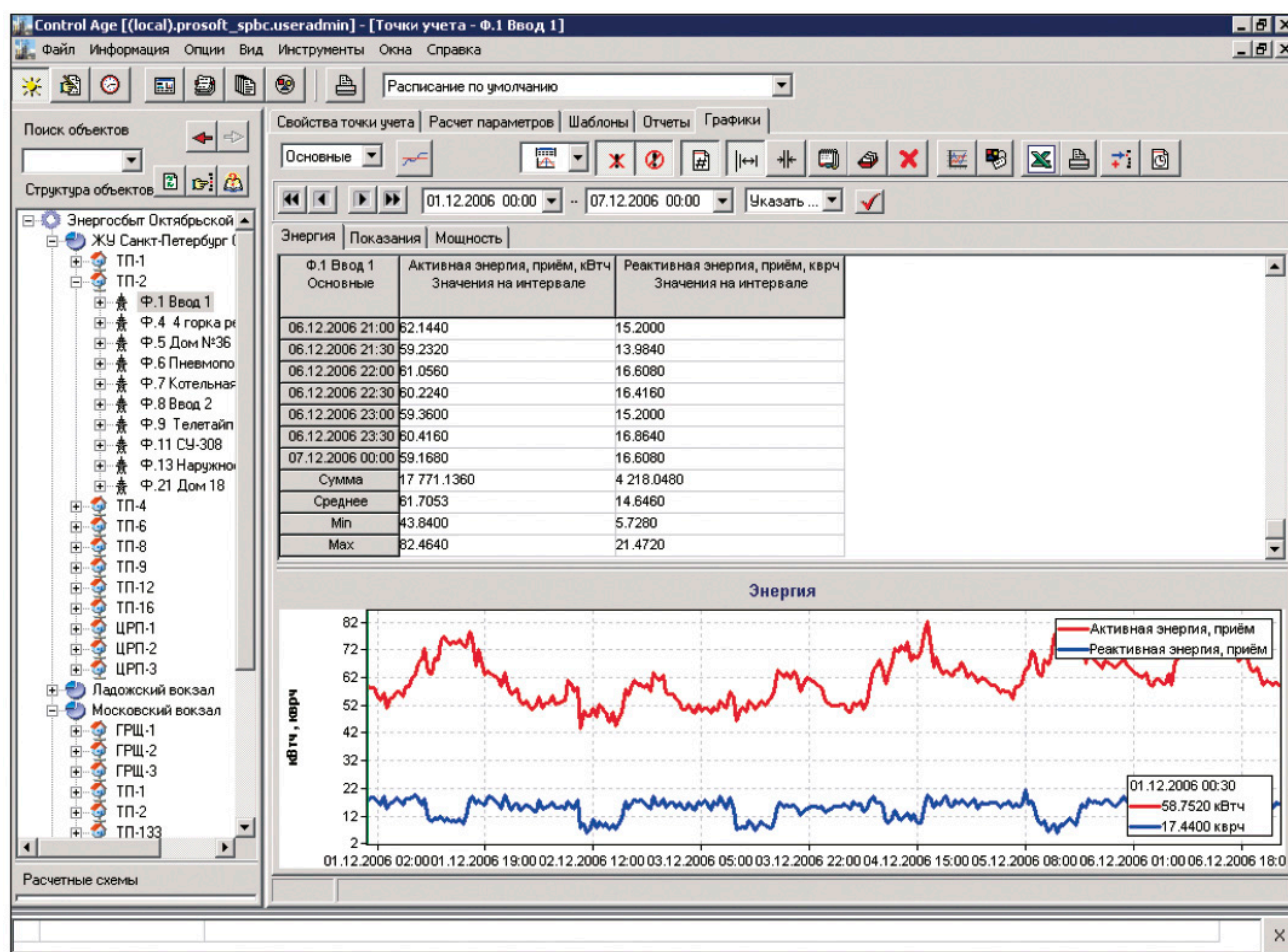


Рисунок 1. Программное обеспечение ОАО «РЖД» «Энергосфера»

3. Единая система мониторинга: представляет собой централизованную платформу, объединяющую данные от всех установленных датчиков и систем автоматизации в рамках одной электроэнергетической системы. При этом система позволяет производить мониторинг в режиме реального времени, управлять ресурсами, производить прогноз и планирование.

4. Интернет вещей (Internet of Things, IOT): концепция сети передачи данных между физическими объектами («вещами»), оснащенными встроенными средствами и технологиями для взаимодействия друг с другом или внешней

средой [3]. В электроэнергетике интернет вещей позволяет связывать между собой множество датчиков, контроллеров и исполнительных механизмов, создавая умную сеть, способную автоматически регулировать свою работу в зависимости от внешних условий и внутренних состояний.

5. Большие данные (Big Data): массивы информации, слишком крупные и сложные для обработки традиционными средствами. В рамках электроэнергетики большие данные используются для анализа огромных объемов данных, собираемых датчиками и системами мониторинга, с целью выявления скрытых закономерностей и оптимизации работы системы [4].

6. Облачные технологии: предоставляют возможность хранить и обрабатывать данные на удаленных серверах, что освобождает множество компаний от необходимости поддерживать собственные мощные вычислительные центры. При этом могут использоваться для хранения и анализа данных, поступающих от датчиков и систем мониторинга.

Автоматизированные системы сбора и анализа данных обладают множеством преимуществ перед традиционными методами контроля:

1. Повышение надежности работы энергосистемы: постоянный мониторинг состояния оборудования позволяет своевременно обнаружить возможные неисправности и предотвратить аварии. Данное преимущество особенно важно в условиях повышенной нагрузки на сети, когда даже незначительные сбои могут привести к масштабным последствиям.

2. Оптимизация эксплуатации оборудования: автоматический сбор и анализа данных помогает оптимизировать режимы работы оборудования, что определенно способствует снижению износа и увеличению срока службы оборудования. Также система может предложить оптимальные параметры настройки, исходя из текущих условий эксплуатации.

3. Уменьшение затрат на обслуживание: благодаря своевременному выявлению проблем снижается необходимость проведения дорогостоящих ремонтных работ. При этом автоматизация процессов сбора и анализа данных позволяет сократить количество персонала, занятого в обслуживании оборудования.

4. Обеспечение безопасности труда: использование автоматизированных систем снижает риск воздействия опасных факторов на персонал, так как многие действия могут выполняться дистанционно без необходимости непосредственного контакта с оборудованием.

Примером успешного внедрения технологий автоматизации в электроэнергетических системах является проект Российской компании «РусГидро», направленный на создание системы предиктивного технического обслуживания гидроэлектростанций (ГЭС). Система основана на использовании большого количества датчиков, установленных на различных элементах оборудования, а также специализированного программного обеспечения (ПО) для обработки полученных данных. Такое внедрение позволило определенно снизить вероятность отказов оборудования и увеличить срок его службы [2].

На международном уровне одним из примеров служит опыт компании Siemens, которая разработала комплексную платформу для управления

энергетическими системами (которые называются MindSphere). Данная платформа объединяет данные от множества источников, включая датчики, системы SCADA и ERP-системы, а также предоставляет операторам возможность в режиме реального времени отслеживать состояние оборудования, принимать решения на основе анализа больших объемов данных (Big Data).

На рисунке 2 представлена стойка с оборудованием центра сбора и обработки данных.



Рисунок 2. Стойка с оборудованием центра сбора и обработки данных.

Следовательно, применение технологий автоматизации сбора и анализа данных становится все более важным фактором в обеспечении надежной и эффективной работы электроэнергетических систем. Данные технологии позволяют значительно повысить уровень безопасности, уменьшить затраты на эксплуатацию и обслуживание применяемого оборудования, а также обеспечить устойчивое развитие энергетических систем в условиях растущих требований к качеству и доступности энергоснабжения.

Дальнейшее развитие и интеграция автоматизированных систем в электроэнергетические системы откроют новые возможности для улучшения качества предоставляемых услуг и повышения конкурентоспособности компаний, работающих непосредственно в данном секторе.

Список литературы:

1. Рубцов, К. Д. Исследование проблем в области электроснабжения железнодорожного транспорта Красноярской железной дороги / К. Д. Рубцов, В. В. Лосев // Наука, технологии, общество: Экологический инжиниринг в интересах устойчивого развития территорий (НТО-V-2024): Материалы V

Всероссийской (национальной) научной конференции, Красноярск, 07–08 ноября 2024 года. – Красноярск: Общественное учреждение «Красноярский краевой Дом науки и техники Российского союза научных и инженерных общественных объединений», 2024. – С. 34-42.

2. Программа инновационного развития // РусГидро URL: https://rushydro.ru/activity/program_innovation/about/?utm_source=yandex.ru&utm_medium=organic&utm_campaign=yandex.ru&utm_referrer=yandex.ru (дата обращения: (29.11.2024)).

3. Интернет вещей // Википедия URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B5%D1%82_%D0%B2%D0%B5%D1%89%D0%B5%D0%B9 (дата обращения: (29.11.2024)).

4. Большие данные // Википедия URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%88%D0%B8%D0%B5_%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5 (дата обращения: (29.11.2024)).

5. Ящура, А. И. Система технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования: справочник / А. И. Ящура. – М.: ЭНАС, 2013. – 504 с.

6. Куликова, Е. А. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: учебник и практикум для вузов / Е. А. Куликова, А. Б. Чуваков, А. Н. Петровский. – Москва: Юрайт, 2024. – 252 с. – ISBN 978-5-534-15213-5. – URL: <https://urait.ru/bcode/544138> (дата обращения: 29.11.2024). – Текст: электронный.

7. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: учебник / В. А. Скрыбин, А. Г. Схиртладзе, А. Е. Зверовщиков, А. Н. Машков. – Москва: КУРС: ИНФРА-М, 2023. – 320 с. – ISBN 978-5-906818-60-7. – URL: <https://znanium.ru/catalog/product/1903733> (дата обращения: 01.12.2024). – Текст: электронный.

© Рубцов К. Д., 2024

ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ РЕШЕНИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС: КАДРОВЫЙ БАРЬЕР

аспирант **Лукманов Айнур Айратович**,
Национальный научно-исследовательский институт
общественного здоровья имени Н. А. Семашко,
Москва, Российская Федерация

Аннотация. Статья посвящена анализу внедрения автоматизированных решений в производственные процессы с акцентом на кадровый барьер как основное препятствие. Рассмотрены ключевые проблемы, такие как нехватка квалифицированных специалистов, сопротивление персонала изменениям и недостаточная образовательная подготовка сотрудников. Приведены успешные примеры адаптации автоматизации на заводах компаний Toyota и Siemens, иллюстрирующие эффективные стратегии преодоления кадровых вызовов. Предложены подходы, включающие инвестиции в обучение, формирование инновационной культуры и вовлечение сотрудников в процесс изменений. Комплексный подход к решению кадрового барьера способствует повышению эффективности автоматизации и укреплению конкурентоспособности предприятий.

Ключевые слова: автоматизация, кадровый барьер, цифровизация, производственные процессы, Toyota, Siemens, обучение персонала, инновации.

THE PROBLEMS OF IMPLEMENTING AUTOMATED SOLUTIONS IN THE PRODUCTION PROCESS: THE PERSONNEL BARRIER

Graduate Student **Lukmanov Ainur Ayratovich**,
N.A.Semashko National Research Institute of Public Health,
Moscow, Russian Federation

Abstract. The article is devoted to the analysis of the implementation of automated solutions in production processes with an emphasis on the personnel barrier as the main obstacle. The key problems such as the lack of qualified specialists, staff resistance to change and insufficient educational training of employees are considered. Successful examples of automation adaptation at Toyota and Siemens plants are presented, illustrating effective strategies for overcoming personnel challenges. Approaches are proposed that include investments in training, the formation of an innovative culture and the involvement of employees in the process of change. An integrated approach to solving the personnel barrier helps to increase the efficiency of automation and strengthen the competitiveness of enterprises.

Keywords: automation, personnel barrier, digitalization, production processes, Toyota, Siemens, personnel training, innovation.

Внедрение автоматизированных решений в производственные процессы становится неотъемлемой частью цифровой трансформации современного бизнеса. Автоматизация позволяет повысить производительность труда, снизить издержки и улучшить качество продукции. Однако успешное внедрение технологий зависит не только от технических аспектов, но и от кадровой составляющей, которая часто становится серьезным препятствием. Кадровый барьер включает в себя широкий спектр проблем, начиная от нехватки квалифицированных специалистов и заканчивая сопротивлением сотрудников изменениям.

Целью данной статьи является анализ основных аспектов кадрового барьера при внедрении автоматизированных решений в производственные процессы. Особое внимание уделяется причинам сопротивления персонала, недостаточной подготовке кадров и возможным стратегиям их преодоления. Для достижения поставленной цели рассматриваются результаты современных исследований, практические примеры из различных отраслей и возможные пути решения данной проблемы.

Автоматизация производственных процессов предполагает использование роботизированных систем, программного обеспечения и других технологий, которые выполняют задачи, ранее возлагавшиеся на человека. Основными преимуществами автоматизации являются повышение производительности, снижение количества ошибок и обеспечение более высокого уровня безопасности на производстве. «Автоматизация рутинных операций и процессов предоставляет компаниям возможность значительно снизить временные и трудозатраты, позволяя сотрудникам сосредоточиться на задачах с высокой добавленной стоимостью. Применение программных роботов (RPA) и автоматизированных систем в бухгалтерии, управлении поставками и логистике, позволяет полностью исключить участие человека из задач, связанных с обработкой данных и передачей информации, и ускорить операции до уровня, невозможного при ручном выполнении. В производственных секторах автоматизация с использованием роботов и автоматизированных линий снижает время выполнения операций и позволяет обеспечить высокую точность, что важно для процессов, где малейшая ошибка может привести к браку продукции. Автоматизация также влияет на оптимизацию работы через улучшенное планирование и контроль производственных процессов, что позволяет предотвратить остановки и повысить общую производительность труда на предприятиях» [2].

Однако, как показывают исследования, успешное внедрение автоматизации требует не только финансовых вложений, но и адаптации персонала к новым условиям работы. По данным Всемирного экономического форума, около 54 % сотрудников во всем мире нуждаются в значительном повышении квалификации в связи с развитием автоматизации и искусственного интеллекта [3].

Основные вызовы, с которыми сталкиваются предприятия при автоматизации, включают:

- недостаток компетенций у персонала для работы с новыми технологиями;

- сопротивление изменениям со стороны сотрудников;
- высокий уровень текучести кадров;
- сложность адаптации организационной культуры к инновациям.

Современные автоматизированные системы требуют специалистов с углубленными знаниями в области программирования, анализа данных, технического обслуживания сложных механизмов и управления системами искусственного интеллекта. Однако многие предприятия сталкиваются с нехваткой таких кадров.

Согласно исследованию McKinsey & Company, 87 % руководителей производственных предприятий считают, что их компании испытывают дефицит сотрудников, обладающих навыками работы с автоматизированными системами [1].

Сопротивление персонала внедрению новых технологий обусловлено рядом факторов: страх потерять рабочее место из-за автоматизации; недостаточное понимание выгод автоматизации для организации и сотрудников; привычка к традиционным методам работы. Как отмечает Р. Тапскотт, «успешное внедрение инноваций требует не только технологической модернизации, но и преодоления психологических барьеров сотрудников, связанных с их восприятием изменений» [6, с. 112].

В условиях стремительного развития технологий предприятия не всегда успевают адаптировать образовательные программы для подготовки сотрудников к новым требованиям. Многие компании не вкладывают достаточно средств в обучение персонала, что приводит к низкой эффективности внедрения автоматизированных решений.

Кадровый барьер имеет негативные последствия для автоматизации, поскольку может значительно замедлить внедрение автоматизированных технологий и негативно сказаться на производственных процессах. Основные последствия включают:

- снижение эффективности автоматизации: недостаточная подготовка сотрудников приводит к низкой производительности оборудования и увеличению числа ошибок;
- рост издержек: задержки во внедрении автоматизированных решений и дополнительные расходы на поиск квалифицированного персонала увеличивают общие затраты предприятия;
- снижение уровня мотивации персонала: сопротивление изменениям и неуверенность в будущем могут снизить вовлеченность сотрудников и ухудшить атмосферу в коллективе;
- потеря конкурентоспособности: компании, не справляющиеся с кадровыми вызовами, рискуют отстать от конкурентов, которые успешно внедряют инновации.

Для преодоления кадрового барьера и успешного внедрения автоматизации необходимо учитывать следующие стратегии:

1. Инвестиции в обучение и переподготовку персонала. Компании должны вкладывать средства в образовательные программы, которые позволят сотрудникам освоить навыки работы с новыми технологиями. Эффективными

подходами являются организация корпоративных тренингов, сотрудничество с образовательными учреждениями и создание внутренних учебных центров.

2. Участие сотрудников в процессе внедрения автоматизации. Чтобы снизить сопротивление изменениям, важно вовлекать персонал в процесс автоматизации, объяснять цели и преимущества нововведений, а также демонстрировать, как технологии могут улучшить условия их работы.

3. Создание корпоративной культуры инноваций. Формирование инновационной корпоративной культуры способствует повышению готовности сотрудников к изменениям. Важно внедрять практики, которые стимулируют креативность, открытость к новым идеям и командную работу.

4. Привлечение внешних экспертов. При нехватке внутренних ресурсов предприятия могут использовать аутсорсинг для привлечения специалистов, обладающих необходимыми знаниями и опытом. Это позволяет компенсировать кадровый дефицит на этапе внедрения автоматизированных систем.

Практический опыт компаний, внедряющих автоматизацию, показывает, что преодоление кадрового барьера возможно при условии комплексного подхода. Например, на автомобильном заводе Toyota была разработана программа переподготовки сотрудников, включающая практическое обучение работе с роботизированными системами. Это позволило не только повысить производительность труда, но и сформировать у сотрудников позитивное отношение к инновациям.

Внедрение автоматизации на заводах Toyota характеризуется уникальным подходом, основанным на принципах «Производственной системы Toyota» (Toyota Production System, TPS). Этот подход сочетает в себе эффективное использование технологий и глубокое уважение к человеческому фактору, что позволяет достигать высокой производительности и качества продукции.

Основные принципы «Производственной системы Toyota (TPS)»:

Дзидока (Jidoka): этот принцип, известный как «автоматизация с участием человека», предусматривает автоматическое обнаружение отклонений или дефектов в процессе производства. При выявлении проблемы машина останавливается, что позволяет операторам немедленно устранить причину дефекта, предотвращая выпуск некачественной продукции. Таким образом, обеспечивается контроль качества на каждом этапе производства.

«Точно в срок» (Just-in-Time): этот принцип направлен на производство только необходимого количества продукции в нужное время, что минимизирует запасы и снижает потери. Система «точно в срок» обеспечивает гибкость производства и быструю адаптацию к изменениям спроса.

Toyota придерживается философии, согласно которой автоматизация должна дополнять человеческий труд, а не заменять его. Прежде чем автоматизировать процесс, компания стремится максимально упростить его, чтобы даже сотрудники старшего возраста могли легко выполнять задачи. Только после этого рассматривается возможность автоматизации, что позволяет извлечь максимальную выгоду из внедрения технологий.

Внедрение запатентованных технологий позволяет Toyota быстро перенастраивать производственные линии. Например, замена узлов на

сборочной линии может занимать всего 20 минут, что повышает гибкость планирования и эффективность производства. А культура постоянного совершенствования процессов (Кайдзен) является ключевой для Toyota [4]. Сотрудники на всех уровнях поощряются к предложению идей по улучшению процессов, включая автоматизацию. Такой подход способствует развитию инноваций и повышению общей эффективности производства.

На заводах Toyota, таких как завод в Тахаре, особое внимание уделяется качеству на каждом этапе производства. Сотрудники проходят через воздушные душевые для удаления пыли перед выходом на производственную линию, а также выполняют упражнения для поддержания моторики, что способствует производству безупречных автомобилей.

Таким образом, особенности внедрения автоматизации на заводах Toyota заключаются в гармоничном сочетании передовых технологий и человеческого участия, что обеспечивает высокое качество продукции и эффективность производственных процессов.

Другое успешное решение предложила компания Siemens, которая организовала программы обучения для молодых специалистов, сочетая их работу на производстве с теоретическими занятиями. Такой подход способствовал развитию внутренних кадров и снижению зависимости от внешнего рынка труда.

Компания Siemens является ведущим поставщиком решений в области промышленной автоматизации, предлагая широкий спектр продуктов и систем, направленных на повышение эффективности и гибкости производственных процессов. Ключевым элементом стратегии автоматизации Siemens является концепция полностью интегрированной автоматизации (TIA), обеспечивающая бесшовную интеграцию всех компонентов автоматизации и способствующая цифровой трансформации предприятий.

Системы автоматизации Siemens включают программируемые логические контроллеры (ПЛК) серии SIMATIC, такие как S7-1200, S7-1500, S7-300 и S7-400 [5]. Эти контроллеры отличаются модульной конструкцией, высокой производительностью и возможностью масштабирования, что позволяет адаптировать их к различным производственным задачам. Кроме того, Siemens предлагает системы управления движением SIMOTION и числового программного управления (ЧПУ) SINUMERIK, обеспечивающие точное и надежное управление сложными производственными процессами.

Особое внимание Siemens уделяет цифровизации производства, предлагая решения для управления жизненным циклом изделия (PLM) и цифровые двойники, которые позволяют моделировать и оптимизировать производственные процессы до их реального внедрения. Это способствует снижению затрат, повышению качества продукции и ускорению вывода новых продуктов на рынок.

Внедрение автоматизации на заводах Siemens характеризуется комплексным подходом, включающим интеграцию аппаратных и программных решений, использование передовых технологий, таких как искусственный интеллект и анализ больших данных, а также постоянное совершенствование

производственных процессов в соответствии с принципами Индустрии 4.0. Такой подход позволяет Siemens поддерживать высокий уровень конкурентоспособности и предлагать своим клиентам инновационные решения для эффективного управления производством.

Внедрение автоматизированных решений в производственные процессы связано с необходимостью преодоления кадрового барьера, который остается одной из наиболее сложных задач цифровой трансформации. Недостаток квалифицированных специалистов, сопротивление изменениям и нехватка образовательных программ – все это ограничивает эффективность автоматизации.

Для преодоления этих препятствий необходимо инвестировать в обучение персонала, формировать инновационную корпоративную культуру и активно вовлекать сотрудников в процесс внедрения изменений. Только комплексный подход, включающий как технологическую, так и кадровую модернизацию, позволит предприятиям эффективно адаптироваться к условиям новой цифровой эпохи и сохранить свою конкурентоспособность.

Список литературы:

1. Будущее работы после COVID-19. McKinsey & Company. – 2021. – URL:<https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/the-future-of-work-after-covid-19> (дата обращения: 29.11.2024 г). – Текст: электронный.
2. Магомадов, Ш. А. Влияние цифровизации на производительность труда в развитых и развивающихся экономиках / Ш. А. Магомадов, В. Ю. Гусарова, А. М. Синицин // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2024. – Т. 9. – № 11 (152). – С. 4-10. – Текст: непосредственный.
3. Отчет о будущем рабочих мест за 2020 год. World Economic Forum. – 2020. – URL:<https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2020/> (дата обращения: 29.11.2024 г). – Текст: электронный.
4. Производственная система Тойота. – 2018. – URL:https://toyota-bt.com/materials/toyota-production-system?utm_source=chatgpt.com (дата обращения: 29.11.2024 г). – Текст: электронный.
5. Системы автоматизации для любых требований. – 2022. – URL:<https://siemensb2b.ru/products/automation/systems-automation/> (дата обращения: 29.11.2024 г). – Текст: электронный.
6. Тапскотт, Р. Цифровая экономика: обещания и реальность. – Москва: Альпина Паблишер, 2020. – 189 с. – Текст: непосредственный.

© Лукманов А. А., 2024

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ РЕАКТОРА ОКИСЛЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА В СРЕДЕ CLIPS

канд. техн. наук, доцент **Ремизова Ирина Викторовна**,
ассистент **Новикова Мария Андреевна**,
Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматривается возможность создания экспертной системы управления, контроля и диагностики реактора окисления в процессе получения пероксида водорода в среде CLIPS. Представлено формирование базы знаний и базы данных для данного технологического процесса. Приведены примеры формирования программного кода для поставленной задачи.

Ключевые слова: экспертная система, производство пероксида водорода, факты и правила CLIPS, база знаний.

DEVELOPMENT OF AN EXPERT CONTROL SYSTEM, MONITORING AND DIAGNOSTICS OF AN OXIDATION REACTOR IN THE PROCESS OF PRODUCING HYDROGEN PEROXIDE IN THE CLIPS ENVIRONMENT

PhD in Technology, Associate Professor **Remizova Irina Viktorovna**,
Assistant **Novikova Maria Andreevna**,
St. Petersburg State University of Industrial Technology and Design,
Higher School of Technology and Energy,
St. Petersburg Russian Federation

Abstract. The article discusses the possibility of creating an expert control system, monitoring and diagnostics of an oxidation reactor in the process of producing hydrogen peroxide in the CLIPS environment. The formation of a knowledge base and a database for this technological process is presented. Examples of the formation of the program code for the task are given.

Keywords: expert system, hydrogen peroxide production, CLIPS facts and rules, knowledge base.

В последнее десятилетие актуальным и востребованным становится использование интеллектуальных технологий в различных сферах. Одним из векторов их развития являются экспертные системы. Экспертная система – это компьютерная программа, предназначенная для формализации и имитации суждений и поведения человека / системы, обладающих знаниями и опытом эксперта в некоторой предметной области. Экспертная система реагирует на

предъявляемые ей задания, ситуации и вопросы выдачей советов, прогнозов или прямыми действиями [1]. Экспертная система предназначена в помощь эксперту-человеку и не предусматривает его замену [2].

С развитием информационных технологий экспертная система позволяет решать сложные задачи принятия решений, повышая свою эффективность по мере накопления знаний и опыта.

Основными компонентами экспертной системы являются:

- База знаний: содержит необходимую информацию и правила, используемые для решения задач в данной области. Человек-эксперт собирает информацию из внешних источников по рассматриваемой экспертной области. Полученные данные систематизируются и структурируются в базе знаний.

- Интерпретатор: отвечает за осуществление рассуждений и принятие решений. Данный компонент системы использует правила и процедуры, сопоставляя информацию, заданную в базе знаний и представленные для обработки входные данные для получения решений и выводов по рассматриваемой ситуации.

В дополнение к основным компонентам системы может быть добавлен пользовательский интерфейс, взаимодействующий с пользователем.

Одной из популярных сред разработки экспертных систем является программная среда открытого доступа CLIPS (C Language Integrated Production System). Первая версия CLIPS разработана в 1985 году в NASA's Johnson Space Centre. На данный момент времени среда CLIPS является востребованным инструментом экспертных систем, поддерживается и обновляется своим автором [3].

Пероксид водорода нашел широкое применение в различных областях промышленности как окисляющий, гидроксилирующий и эпоксирующий агент. Для его получения часто используется изопропиловый метод, основанный на использовании реакции окисления изопропилового спирта (ИПС) кислородом из воздушно-кислородной смеси (ВКС). Данный процесс осуществляется в реакторе окисления [4].

Рассматриваемый метод обладает следующими особенностями: подверженность значительным неконтролируемым возмущениям, потенциальная опасность, плохая наблюдаемость, сложность и многоальтернативность физико-химических превращений на основной стадии окисления ИПС. Анализ работы систем регулирования и аварийной защиты показал их малую эффективность при ведении процесса вблизи предаварийной зоны, а просмотр работ, литературы и обработка результатов бесед с операторами, проектировщиками позволили выявить наличие достаточного количества эвристик для управления процессом в этом режиме. На основании чего было принято решение о создании экспертной системы управления, контроля и диагностики реактора окисления в процессе получения пероксида водорода. Для этих целей предлагается использовать программную среду CLIPS.

Разработка экспертной системы основывается на результатах экспертного опроса. Для реактора окисления в процессе получения пероксида водорода были выявлены следующие зависимости.

Возникновение перегрева низа колонны, характеризующееся превышением температуры низа колонны верхнего значения регламентного диапазона, может быть спровоцировано кислородным «голоданием» колонны или начавшейся реакцией разложения пероксида водорода.

Для устранения этих причин рекомендуется впрыснуть дистиллированную воду в нижнюю секцию колонны. Несмотря на то, что действие в данном случае одинаково для обеих причин, конкретизация знаний для оценки состояния процесса является требуемым условием. Чтобы распознать причину, необходимо проверить дополнительные параметры, а именно при разложении наблюдается рост массовой доли уксусной кислоты в колонне, а при голодании – снижение расхода ВКС на входе в окислитель.

Кроме роста температуры низа колонны на разложение пероксида водорода указывает рост объемной доли кислорода в отходящем газе (переизбыток). Переизбыток кислорода в отходящем газе может быть также связан с избытком последнего вследствие нарушения параметров потока подачи ВКС. Таким образом, при возникновении переизбытка кислорода необходимо выполнить дополнительную проверку следующих параметров: сопровождение данного нарушения ростом расхода ВКС свидетельствует в пользу избытка кислорода, а сопровождение нарушения ростом массовой доли уксусной кислоты – разложения пероксида водорода. Причем при разложении рекомендации принимаются как для случая перегрева низа колонны, а при избытке кислорода требуется привести в соответствие расход ВКС или его концентрацию, а также подать азот в отходящую паровую смесь для предотвращения взрывоопасных концентраций.

Нарушения в потоке флегмы приводят к росту температуры верха колонны. Снижение расхода флегмы одновременно с перегревом верха колонны и температуры флегмы говорят о перегреве флегмы. Рекомендации для такого нарушения хода процесса сводятся в первом случае к необходимости привести в соответствие параметры потоков изопропилового спирта и флегмы, что выполняется оператором, а во втором – к осуществлению подачи в верхнюю секцию конденсата по автономной линии.

Следующим шагом разработки экспертной системы является формализация экспертной информации, другими словами, разработка базы знаний и базы данных. Структурированная база знаний для технологического процесса, протекающего в реакторе окисления в процессе получения пероксида водорода, представлена в виде таблицы 1.

На основании указанных в базе знаний параметров составляется база данных, в которую входят аварийные пределы и эксплуатационные значения (таблица 2). Требуемые данные берутся из технического регламента.

Структура предметной области, соответствующая базе знаний и значения параметров базы данных, используется для ввода данных в среду разработки CLIPS.

Первоначально заносятся основные сведения о параметрах технологического процесса, а именно: название параметра, нижний и верхний аварийные пределы. Для этих целей с помощью конструкции `deftemplate` создается шаблон для ввода данных. Шаблон для всех параметров реактора описан ниже.

```
(deftemplate reactor_parametrs
  (slot parametrv)
  (slot low)
  (slot heigh))
```

Таблица 1. База знаний

Основные параметры	Нарушение	Дополнительные параметры	Причины	Рекомендации
Температура низа колонны	Перегрев низа колонны	Высокий расход ВКС	Недостаток кислорода	Впрыснуть дистиллированную воду в нижнюю секцию колонны
		Высокая доля уксусной кислоты	Начало реакции разложения пероксида водорода	
Объемная доля кислорода в отходящем газе	Переизбыток кислорода на выходе	Высокая доля уксусной кислоты	Разложение пероксида водорода	Снизить расход ВКС или его концентрацию. Подать азот в отходящую паровую смесь
		Высокий расход ВКС	Избыток кислорода	
Температура верха колонны	Перегрев верха реактора	Низкий расход флегмы	Недостаток флегмы	Привести в порядок параметры потоков ИПС и флегмы. Подать конденсат в верхнюю секцию
		Высокая температура флегмы	Перегрев флегмы	

В данном случае конструкция `deftemplate` используется для формирования структуры вносимых фактов соответствующего типа. Факты являются одной из основных форм представления информации в системе CLIPS и представляют собой статические сведения о предметной области [5]. При использовании шаблона информация является валидной и для создания факта нет необходимости располагать информацией в строгом порядке, что может быть полезно, если была пропущена какая-то информация.

Следующим этапом в систему вносятся сами факты посредством конструкции deffacts. Для ввода параметров реактора используется следующий шаблон.

(deffacts parameters

(reactor_parameters (parameter Tn) (low 130) (high 140))

(reactor_parameters (parameter Coxygen) (low 2) (high 10))

(reactor_parameters (parameter Tv) (low 140) (high 150))

(reactor_parameters (parameter Caceticacid) (low 0,05) (high 0,3))

(reactor_parameters (parameter Faom) (low 2500) (high 3900))

(reactor_parameters (parameter Fphlegm) (low 2,5) (high 6,5))

(reactor_parameters (parameter Tphlegm) (low 60) (high 80))

Таблица 2. База данных

Название	Обозначение	Ед. изм.	Нижний аварийный предел	Регламентный диапазон	Верхний аварийный предел
Температура низа колонны	T _n	°C	130	134 – 136	140
Объемная доля кислорода в отходящем газе	C _{oxygen}	%	2	5 – 7	10
Температура верха колонны	T _v	°C	140	144 – 146	150
Массовая доля уксусной кислоты	C _{aceticacid}	%	0,05	0,1 – 0,22	0,3
Расход ВКС на входе в окислитель	F _{aom}	м³/ч	2500	3000 – 3300	3900
Расход флегмы	F _{phlegm}	м³/ч	2,5	4 – 5,25	6,5
Температура флегмы	T _{phlegm}	°C	60	65 – 70	80

Подобным образом «шаблон – факты» создаются факты, отражающие текущие значения технологического процесса. Шаблон и ввод параметров текущих значений осуществляется подобным описанному выше образом.

Знания предметной области представляются в CLIPS в виде правил. Правила определяют набор действий, которые необходимо выполнить в данной ситуации. Они состоят из предпосылок и действия. Предпосылки представляют собой набор условий, которые должны удовлетвориться, чтобы правило выполнилось.

С помощью правил, оформленных в формате ЕСЛИ – ТО и реализуемых командой `defrule`, формируются алгоритмы записи новых фактов об авариях и алгоритмы выдачи рекомендаций. Далее приведен пример правила для случая, когда температура низа колонны превысила верхний предел.

Правило ЕСЛИ температура низа выше верхнего предела, ТО факт перегрев низа И вывести текст «перегрев низа»

```
(defrule overheating_of_the_bottom
  (reactor_parametr (parametr Tn) (heigh ?heigh))
  (curret_values (parametr Tn) (value ?value))
  (test (> ?value ?heigh))

=>

  (assert (alarm overheating_of_the_bottom))
  (printout t " overheating _of_the_bottom " crlf)
```

Опираясь на базу знаний, представленную в таблице 1, подобным образом формируются все представленные правила.

Проверка работоспособности прописанных конструкций кода осуществляется с использованием команд `reset` (очистка памяти от информации о фактах и перезапуск процесса) и `run` (запуск выполнение кода). Для описанного выше примера получен результат, представленный на рисунке.

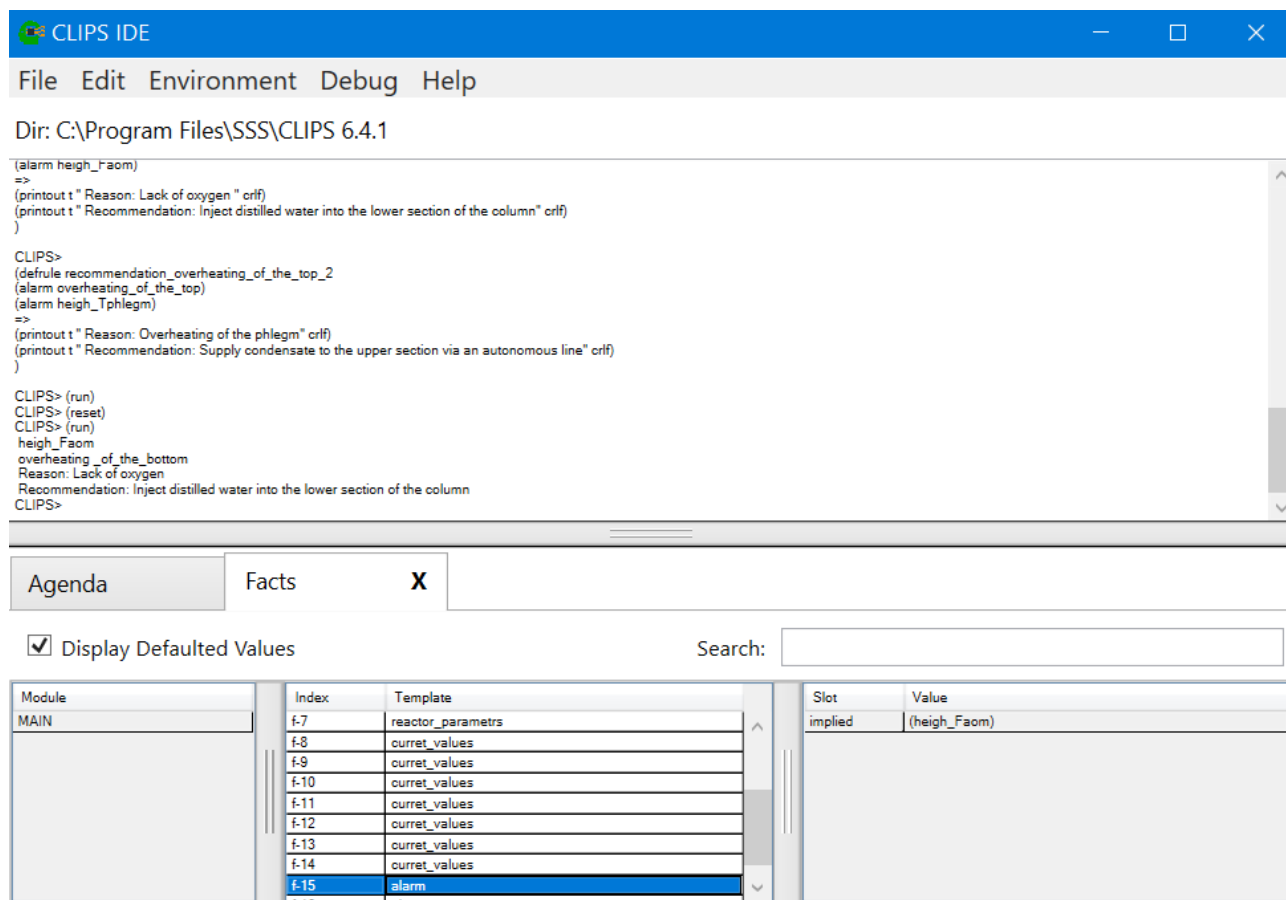


Рисунок. Результат проверки работы экспертной системы

На экранной форме в верхней части расположен листинг экспертной системы и результат ее работы (выданы: авария перегрева низа, причина – недостаток кислорода и рекомендация впрыснуть дистиллированную воду в нижнюю секцию колонны). В нижней части рисунка представлены записанные и созданные факты.

Таким образом, разработана экспертная система, выполняющая функции управления, контроля и диагностики реактора окисления в процессе получения пероксида водорода. База знаний системы создана и проверена на основе опыта профильных экспертов в области производства перекиси водорода.

Система может быть усовершенствована объединением правил посредством логической операции OR и вводом текущих значений в режиме диалога.

В качестве рекомендаций для будущих исследований целесообразно дополнить систему аварийными ситуациями по незадействованным для выдачи рекомендаций параметрам, расширить компьютерный код и включить в него новые возможности, а также отредактировать и адаптировать факторы для применения в подобных технологических процессах.

Список литературы:

1. Рудакова, И. В. Изучение структуры и методов синтеза экспертной системы в экспертной оболочке КАРРА v. 2.4: метод. указания / И. В. Рудакова, О. А. Ремизова, Л. А. Русинов. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2006. – 17 с.
2. Луткевич, Бен. Экспертная система: [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/expert-system>.
3. Станкевич, Л. А. Интеллектуальные системы и технологии: учебник и практикум для вузов / Л. А. Станкевич. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Юрайт, 2024. – 478 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-20363-9.
4. Производство пероксида водорода. «Производство прочих основных неорганических химических веществ» (утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 23 декабря 2020 г. № 2187). Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 34-2020. [Электронный ресурс]. – URL: <https://base.garant.ru/400150556/5633a92d35b966c2ba2f1e859e7bdd69>.
5. Короткин, А. А. Экспертные системы в среде CLIPS: учебно-методическое пособие / А. А. Короткин; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова. — Ярославль: ЯрГУ, 2020. – 52 с.

© Ремизова И. В., Новикова М. А., 2024

ОБНАРУЖЕНИЕ И ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭНТРОПИИ ВИНЕРА

магистрант **Анцупов Никита Алексеевич**,
Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. Согласно последним исследованиям, показатели энтропии, а точнее, спектральная энтропия, становятся эффективным методом оценки повреждений как механических систем, так и гражданских сооружений. В частности, возникновение изменений в конструкционной системе может быть обнаружено как локализованное изменение энтропии сигнала. В данной работе энтропия представлена как эффективный инструмент для оценки единичных и множественных дефектов, включая обнаружение, локализацию и оценку серьезности повреждений.

Ключевые слова: энтропия, трубопровод, мониторинг, повреждения, вибрация, дефект, сигнал.

DETECTION AND LOCALIZATION OF DAMAGE USING WIENER ENTROPY

Master Student **Antsupov Nikita Alexeyevich**,
Kazan State Energy University,
Kazan, Russian Federation

Abstract. According to recent studies, entropy indicators, or rather spectral entropy, are becoming an effective method for assessing damage to both mechanical systems and civil structures. In particular, the occurrence of changes in the structural system can be detected as a localized change in the entropy of the signal. In this paper, entropy is presented as an effective tool for evaluating single and multiple defects, including detection, localization and assessment of the severity of damage.

Keywords: entropy, pipeline, monitoring, damage, vibration, defect, signal.

Энтропия представляет собой меру неопределенности исследуемой системы. Обычно она используется для определения внутренней сложности, то есть неоднородности. Ее применение в целях мониторинга состояния конструкций основано на предположении о возможном наличии повреждений в системе. Другими словами, концепция заключается в том, что повреждения можно обнаружить и оценить с помощью статистики и обработки сигналов как изменения структурной сложности системы во времени и пространстве.

Было доказано, что энтропия Шеннона эквивалентна истинному индексу разнообразия с числом Хилла порядка единицы. Поэтому имеет смысл

использовать измерения энтропии в качестве эффективных функций, чувствительных к повреждениям.

Некоторые подходы, основанные на энтропии, о которых сообщалось в научной литературе в последние годы, включают использование спектральной энтропии мощности. Ученые предложили интересную интерпретацию возникновения и развития усталостных, коррозионных и ползучих повреждений как необратимых термодинамических явлений с энтропийной точки зрения [1, с. 012055].

Очень жесткие граничные условия характерны для многих геотехнических применений, таких как глубокозалегающие сваи, которые очень сложно исследовать на предмет целостности конструкции. В основном это связано с очень малой амплитудой выходных перемещений, которые естественным образом вызываются внешними колебаниями и регистрируются с помощью сетки датчиков. На самом деле очень сложно получить достоверные данные о эффективных функциях, чувствительных к повреждениям из записей только выходных слабовозбуждаемых сигналов конструкций. Показатели энтропии особенно хорошо подходят для работы со случайными сигналами низкой амплитуды [2, с. 01080].

Из нескольких определений энтропии, энтропия Винера, также известная как спектральная равномерность, в предыдущих исследованиях была признана наиболее подходящей для металлических конструкций. Основная причина заключается в ее большей чувствительности к небольшим изменениям по сравнению с более распространенной спектральной энтропией Шеннона. Это относительно неудобно для каменных или бетонных конструкций, где неоднородность и изменчивость материала могут вызывать колебания, не связанные с повреждениями. В свою очередь, это повышает риск ложноположительных результатов, которые являются распространенной угрозой для мониторинга состояния конструкций на основе вибрации. С другой стороны, для более однородных строительных материалов эту повышенную точность можно использовать для обнаружения небольших трещин на ранних стадиях их развития [3, с. 658].

Удобство измерения энтропии по сравнению с другими, более классическими подходами, напрямую связано с особыми условиями мониторинга подземных трубопроводов.

Первый аспект касается амплитуды входного и выходного сигналов системы. Как было сказано выше, входной сигнал очень низкий, и, следовательно, система возбуждается слабо. Из-за этого минимального уровня возбуждения и повышенной жесткости грунта ожидаемая амплитуда выходного сигнала еще ниже. Как правило, это не совсем удобно.

Второй аспект касается частотного состава входного сигнала. Для целей идентификации системы предпочтительно иметь контролируемый входной сигнал, чтобы возбуждать только определенные участки глобальной динамики системы. Например, в случае линейно-частотной модуляции или ступенчатых синусоид можно выделить и отслеживать определенную резонансную частоту даже в нелинейных условиях. Однако влияние внешних динамических нагрузок

гарантирует равномерное распределение энергии в частотной области, что идеально подходит для измерения энтропии [4, с.012054].

Таким образом, эти два аспекта – естественная спектральная равномерность входного сигнала и очень низкая амплитуда выходного сигнала – делают использование энтропии Винера особенно подходящим методом для заглубленных металлических конструкций.

Остальная часть этого обсуждения направлена на проверку использования показателей энтропии в качестве индикатора состояния целостности системы для нескольких задач, входящих в комплексную диагностику мониторинга состояния конструкций:

- для определения наличия или отсутствия одного или нескольких повреждений в структуре;
- локализация повреждений путем определения наиболее вероятного места повреждения;
- для оценки серьезности ущерба;
- для определения ожидаемого роста ущерба в будущем.

Значения энтропии Винера можно вычислить в любой точке и сравнить с известным базовым уровнем, рассчитанным для исходной системы. Этот подход соответствует классической статистической концепции мониторинга состояния конструкций на основе распознавания образов [5, с. 28].

Однако отклонение от модели нормальности не обязательно является показателем повреждения как такового. Такие отклонения могут возникать из-за сопутствующих факторов, не связанных с повреждением, которые в совокупности известны как изменения окружающей среды и условий эксплуатации. По этой причине трубопровод исследуется только без внутреннего давления, чтобы избежать изменений в поле напряжений, вызванных изменением условий эксплуатации. Дело в том, что мониторинг редко выполняется онлайн или в режиме реального времени, а скорее периодически, во время бездействия. При неизменных внешних условиях любое статистически значимое изменение можно связать с изменением внутренней структуры целевой системы, то есть с повреждением [6, с. 05029].

Последствия повреждения исчезают при удалении от его местоположения. Это представляет собой ограничение для обнаружения повреждений с одним выходом, поскольку канал сбора данных может находиться слишком далеко от повреждения, чтобы правильно его обнаружить. Однако при правильно размещенном массиве датчиков эта пространственная изменчивость может быть использована для определения местоположения источника несоответствия.

Для физической, количественной оценки степени повреждения потребуются некоторые априорные знания об ожидаемых последствиях повреждения. Здесь это не рассматривалось, поскольку предлагаемая система основана только на данных, полученных в неповрежденном состоянии целевой системы. Тем не менее, можно качественно оценить степень повреждения, сравнив расхождение между значениями энтропии, полученными до и после повреждения.

Трубопроводы характеризуются четырьмя основными факторами: внешней средой, материалом изготовления, диаметром и толщиной [7, с. 43-44].

Что касается внешней среды, то подземные трубопроводы являются предпочтительной альтернативой для транспортировки жидких ресурсов на большие расстояния. С одной стороны, это особенно удобно, чтобы избежать столкновений с другими инфраструктурами, особенно в непосредственной близости от городских районов и потенциальных несчастных случаев. С другой стороны, такой выбор делает визуальный осмотр, который по-прежнему является наиболее распространенной практикой при плановом техническом обслуживании, невозможным. Это еще более очевидно в случае подводных трубопроводов, которые проходят под морским дном в специально вырытых траншеях. В любом случае, даже если это возможно, протяженность и разветвленность трубопроводных сетей делают визуальный осмотр, проводимый человеком, как правило, нерентабельным. Таким образом, предпочтительны автоматизированные методы, основанные на вибрации.

Тем не менее, надежность таких систем мониторинга технического состояния конструкций имеет первостепенное значение из-за пагубных последствий повреждений. Это может привести к утечке легковоспламеняющихся жидкостей под давлением, что может вызвать пожар и взрыв. Из-за человеческих жертв, перебоев в энергоснабжении, загрязнения окружающей среды и других геологических опасностей разработка передовых решений экономически выгодна. Их чувствительность также имеет значение: в трубопроводах с высоким давлением даже небольшие трещины могут быстро разрастаться из-за утечки жидкостей под высоким давлением и приводить к внезапному разрыву [8, с. 11].

К основным типам повреждений, часто встречающихся в подземных трубопроводах, относят трещины различной формы (кольцевые, продольные, спиральные и другие), а также свищи.

Наиболее часто встречающиеся виды повреждений можно дополнительно классифицировать в соответствии с различными механизмами разрушения, из-за которых они возникают. К ним, как правило, относятся точечная коррозия, истончение стенок трубопровода и разрывы труб. Последние возникают из-за внезапных скачков давления транспортируемой жидкости. Истончение стенок трубопровода, как правило, возникает из-за коррозии стали или других явлений, связанных с разрушением материала, которые приводят к потере металла. Все эти процессы зависят от времени и усиливаются под воздействием химически агрессивной среды как снаружи трубопровода, так и в транспортируемой жидкости.

Помимо механической усталости и коррозии, к другим факторам, приводящим к повреждениям, относятся производственные дефекты, которые, как известно, приводят к образованию внутренних полостей, сливающихся в более крупные трещины под воздействием механических нагрузок, а также некачественная сварка. В последнем случае это может привести к локальным повреждениям или более серьезным поломкам. Быстрые или медленные значительные перемещения грунта вблизи и под землей – две другие

распространенные проблемы, а также погодные и природные явления. Из-за своей протяженности трубопроводы также сильно подвержены сейсмическим воздействиям и другим крупным стихийным бедствиям.

Наконец, механические повреждения являются распространенной причиной мгновенного выхода из строя оборудования. Механические повреждения, вызванные сторонними работами по выемке грунта, считаются основной причиной выхода из строя трубопроводов. В менее тяжелых случаях они обычно приводят к появлению вмятин и выбоин. В более редких случаях они могут вызывать скрытые дефекты, которые очень трудно обнаружить из-за их ограниченной площади и незначительной выраженности, пока они не приведут к быстрому разрушению даже спустя годы [9, с. 53].

Обычные вмятины, которые могут возникать из-за небольших подвижек грунта, столкновения с камнями, некачественной установки или ограниченного прогиба, не представляют особого интереса, поскольку обычно они не являются вредными, если только они не слишком большие.

В общих чертах, формирующаяся энтропийная основа для мониторинга состояния конструкции в значительной степени поддерживает основные концепции измерения энтропии как индикатора развития состояния целостности системы.

Таким образом, предложенный подход позволяет обнаруживать и оценивать множественные повреждения разной степени тяжести как в идеальных условиях, так и при наличии исходных дефектов и неоднородностей почвы. Процедура, основанная на энтропии Винера, была применена для контроля целостности трубопроводов и мониторинга состояния подземных стальных труб [10, с. 144]. Также потребуются дальнейшие исследования для лучшего решения конкретных задач, таких как классификация повреждений, которая строго требует методов распознавания образов в режиме контролируемого обучения. Тем не менее, данный метод доказал целесообразность использования энтропии Винера в качестве чувствительного к повреждениям параметра для контроля на основе вибрации, особенно хорошо подходящего для измерений только выходных параметров подземных сооружений.

Список литературы:

1. Information-measuring system for monitoring the location of underground gas pipelines on the basis of improved acoustic resonance method / S. A. Nazarychev, S. O. Gaponenko, A. E. Kondratiev, R. Z. Shakurova // Journal of Physics: Conference Series : Scientific Technical Conference on Low Temperature Plasma During the Deposition of Functional Coatings, Kazan, 05–08 ноября 2018 года. Vol. 1328. – Kazan: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012055. – DOI 10.1088/1742-6596/1328/1/012055. – EDN YKMOMS.
2. Investigation of the relationship between the Lamb waves phase velocity and the technical condition of housing and utilities pipelines / A. A. Ibadov, A. E. Kondrat'ev, D. A. Makueva, D. V. Sergeeva // E3S Web of Conferences, Kazan, 21–26 сентября

- 2020 года. Vol. 216. – Kazan: EDP Sciences, 2020. – P. 01080. – DOI 10.1051/e3sconf/202021601080. – EDN VIIKOT.
3. Zagretdinov, A. R. Reliability Increasing Solutions for Multilayer Composite Structures Shock-Acoustic Control / A. R. Zagretdinov, A. E. Kondratyev, S. O. Gaponenko // International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2017, Saint-Petersburg, 16–19 мая 2017 года. – Saint-Petersburg, 2017. – P. 656-661. – DOI 10.1016/j.proeng.2017.10.533. – EDN XPAGCV.
4. Acoustic-resonance method for control of the location of hidden hollow objects / S. A. Nazarychev, S. O. Gaponenko, A. E. Kondratyev, R. Z. Shakurova // Journal of Physics: Conference Series : Scientific Technical Conference on Low Temperature Plasma During the Deposition of Functional Coatings, Kazan, 05–08 ноября 2018 года. Vol. 1328. – Kazan: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012054. – DOI 10.1088/1742-6596/1328/1/012054. – EDN MWGTLL.
5. Загретдинов, А. Р. Методика расчета информативных гармоник виброакустических сигналов в применении к контролю многослойных композиционных конструкций / А. Р. Загретдинов, А. Е. Кондратьев, С. О. Гапоненко // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 4-1(31). – С. 28. – EDN TPMSPF.
6. Gaponenko, S. O. Improving the efficiency of energy complexes and heat supply systems using mathematical modeling methods at the operational stage / S. O. Gaponenko, A. E. Kondratyev, R. Z. Shakurova // E3S Web of Conferences : 2019 International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems, SES 2019, Kazan, 18–20 сентября 2019 года. Vol. 124. – Kazan: EDP Sciences, 2019. – P. 05029. – DOI 10.1051/e3sconf/201912405029. – EDN WGSUEF.
7. Гапоненко, С. О. Анализ результатов численного моделирования колебательных процессов в бездефектных и дефектных трубопроводах / С. О. Гапоненко, А. Е. Кондратьев, Ш. У. Ульябаева // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14, № 3(55). – С. 38-47. – EDN AXSMRA.
8. Гапоненко, С. О. Построение математической модели распространения волн Лэмба в стальном трубопроводе с защитным наружным покрытием / С. О. Гапоненко, А. Е. Кондратьев, Г. Р. Мустафина // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24, № 4. – С. 3-15. – DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-4-3-15. – EDN FGMCOZ.
9. Логунов, Г. И. Численное исследование возможности применения вейвлет-функций при диагностике линий электропередачи локационными методами / Г. И. Логунов, Л. Н. Федотова, А. Е. Кондратьев // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2010. – № 3. – С. 52-54. – EDN LAEDLF.
10. Применение методов математического моделирования для определения влияния грунта на частоты собственных колебаний трубопроводов / В. Е. Чанчина, С. О. Гапоненко, А. Е. Кондратьев [и др.] // Надежность и безопасность энергетики. – 2021. – Т. 14, № 2. – С. 142-147. – DOI 10.24223/1999-5555-2021-14-2-142-147. – EDN QQARWP.

СОВРЕМЕННЫЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ЭТАПЕ СТРОИТЕЛЬСТВА И ВО ВРЕМЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЯ

студент **Альтерман Яна Александровна**,
науч. руководитель: ст. преподаватель **Чабина Екатерина Анатольевна**,
Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассматриваются энергосберегающие технологии, применяемые в строительстве. В результате сбора и обработки информации выявляются разнообразные технологии, используемые как на этапе строительства, например, особо эффективный утеплитель или использование цифровых инструментов, так и во время эксплуатации здания, например, LED-освещение или система «Умный дом».

Ключевые слова: энергосберегающие технологии, энергоэффективность, инновационные технологии, возобновляемые источники энергии, теплоизоляция, проектирование, строительство.

MODERN ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES AT THE CONSTRUCTION STAGE AND DURING THE OPERATION OF THE BUILDING

Student **Alterman Yana Aleksandrovna**,
Academic Advisor: Lecturer **Chabina Ekaterina Anatolievna**,
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. The paper deals with energy-saving technologies used in construction. As a result of information collection and processing, a variety of technologies used both during the construction phase, such as particularly efficient insulation or the use of digital tools, and during building operation, such as LED-lighting or the “Smart House” system, are identified.

Keywords: energy saving technologies, energy efficiency, innovative technologies, renewable energy sources, thermal insulation, design, construction.

Рост мирового потребления энергии и вызовы, связанные с изменением климата, требуют новых подходов к проектированию и строительству зданий [1]. Ключевым элементом устойчивого будущего становятся энергоэффективные здания. Снижение энергопотребления таких зданий производится путем усовершенствования систем инженерного обеспечения и конструктивных элементов, включая использование природно-климатических факторов для дополнительного энергообеспечения. С каждым годом увеличивается число построек, в том числе количество жилых домов повышенной этажности. Ресурсное обеспечение имеет ограничения, а потребление с каждым годом

возрастает. Поэтому вопрос о повышении класса энергоэффективности таких зданий с целью уменьшения количества потребляемых ресурсов на этапе эксплуатации становится весьма актуальным [2].

По Постановлению Правительства РФ № 235 «О внесении изменений в Положение о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» каждый строительный проект должен содержать раздел «Энергетическая эффективность». «В соответствии с ним вновь строящиеся здания должны отвечать заложенным требованиям, а заказчик и проектировщик несут ответственность за полноту и правильность оформления раздела. В этом разделе должны быть представлены сводные показатели энергоэффективности проектных решений, которые должны быть сопоставимы с нормативными показателями, а в графической части отображены схемы расположения приборов учета энергоресурсов и воды», – пояснил А. М. Мороз (вице-президент Национального объединения строителей, почетный строитель России, к.э.н.) [3].

Также реализация федеральной программы «Энергоэффективность 2030» привела к удвоению доли зданий, построенных с применением стандартов повышенной энергоэффективности. Исследования показывают, что энергоэффективные технологии позволяют снизить затраты на отопление и электроэнергию на 30–40% [2].

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что политика нашей страны направлена на активное развитие области энергоэффективности как для новых проектов, так и для реконструкции и капитального ремонта уже построенных зданий. О методах и способах реализации этих программ будет описано ниже.

К самым эффективным технологиям на этапах строительства зданий в данный момент относят:

- Цифровые инструменты

В настоящее время строительство новых энергоэффективных зданий тесно связано с современным программным обеспечением (ПО). Цифровые модели здания, которые создаются в современном проектом ПО, дают возможность еще до начала строительства увидеть дефекты и неточности, посчитать энергоэффективность и найти лучшие решения для энергосбережения в строительстве. Ярким примером является использование BIM-технологий энергетического моделирования. Этот метод был применен в одном из производственно-логистических комплексов в Московской области. На этапе проектирования объекта удалось определить близкую цифру по расходам реализации, а после цифрового анализа удалось снизить ежегодные расходы практически в два раза. Вычислительное моделирование, оценка и анализ масштабных и локальных проектов позволяют экономить время и затраты, что делает данный метод наиболее эффективным и экономически выгодным с точки зрения прогнозирования.

- Вентилируемые фасады

В результате жизнедеятельности в воздухе помещения всегда присутствует влага, проникающая и в стены здания. С понижением уличных температур жидкость конденсируется, а в стене появляется точка росы. При отрицательных

внешних температурах влага замерзает, при этом теплопроводность стены повышается, а температурное расширение жидкости при смене агрегатного состояния способствует разрушению конструкции [4]. Эту проблему помогает решать система навесного вентилируемого фасада (НВФ). Его основная особенность – наличие между слоем утеплителя и облицовкой здания вентиляционного зазора с пониженным давлением в нем. При установке такой системы точка росы смещается из материала несущей стены в слой утеплителя, из которого, за счет пониженного давления, влага переносится в вентзазор, в котором выводится в атмосферу восходящим потоком воздуха. В итоге конденсат не скапливается ни на поверхности стены, ни внутри нее. Однако в этом методе есть свои недостатки. Например, наличие мостиков холода из-за металлических кронштейнов, которые проходят сквозь теплоизоляционный материал, и из-за разности теплотехнических свойств металла и утеплителя снижается уровень теплозащиты ограждения. К тому же, данные кронштейны еще и подвержены коррозии, что тоже является проблемой. Так или иначе, данные вопросы постепенно решаются. Например, снижением количества кронштейнов на единицу поверхности при применении в наружном слое жестких теплоизоляционных плит большего размера (например, $1,2 \times 1,5$ м) и меньшей толщины (30 мм). В ряде случаев проблему энергоэффективности помогает решить использование двухслойной изоляции: плиты второго (наружного) слоя утеплителя укладываются таким образом, чтобы перекрыть стыки плит первого слоя. В этом случае удастся устранить «мостики холода» и максимально уменьшить потери тепла в здании [4].

– Низкоэмиссионное (энергосберегающее) стекло

Энергосберегающие стекла – это стекла, на которые наносится тонкий слой металлического напыления. Иначе эти стекла называют селективными (отражающими только определенную часть диапазона электромагнитных волн), низкоэмиссионными (имеющими низкую излучательную способность) или теплосберегающими. В холодное время года энергосберегающее стекло в стеклопакете отражает тепловое излучение от нагревательных приборов обратно в помещение (рисунок), что позволяет экономить на отоплении.

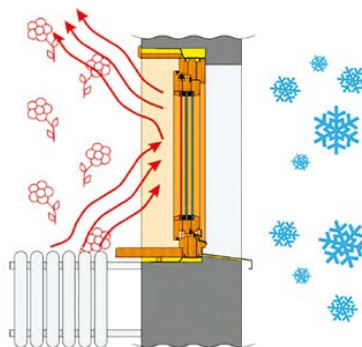


Рисунок. Схема действия энергосберегающего стекла в зимний период

Эффективность энергосберегающего стекла настолько высока, что установка даже однокамерного стеклопакета позволит сохранить в помещении на 25 % больше тепла, чем сохраняет двухкамерное металлопластиковое окно с

обычными стеклами. И это с учетом того, что двухкамерные окна почти в 2 раза тяжелее, чем однокамерные, а это дополнительная нагрузка на стену. Такое улучшенное однокамерное окно пропускает видимый свет почти на 10 % лучше, чем обычное двухкамерное, задерживая при этом вредный ультрафиолет [5].

А для успешной эксплуатации здания используются такие технологии, как:

- Абсорбционный охладитель-нагреватель

Использование абсорбционных чиллеров / нагревателей — оптимальный вариант для обеспечения объекта строительства горячим и холодным водоснабжением [6]. Такая система функционирует на газе. Окупается достаточно быстро.

Система состоит из генератора, насоса, абсорбера, рекуперативного теплообменника. Все блоки размещают в самом здании, чаще на верхнем этаже, в итоге можно избежать потерь, связанных с транспортировкой энергии.

- LED-освещение и автоматизация

В строительной отрасли наблюдается массовый переход на LED-освещение. Комплексное снабжение светодиодными устройствами дает экономию 50 % [6]. Чаще всего такое энергосберегающее освещение используют с датчиками движения.

Получили распространение интеллектуальные осветительные системы и комплексы автоматизации осветительных устройств. Это пульта и панели, также есть возможность управлять светильниками разных типов через приложения на смартфонах и других устройствах.

«Умный дом»

Строительная индустрия постоянно адаптируется к инновациям для создания усовершенствованных условий для жизни [7], и здесь мы рассмотрим технологические тенденции в области энергоэффективности при эксплуатации здания в системе «Умный дом».

Алгоритмы большой системы следят за потреблением в режиме реального времени. Они регулируют использование светильников, вентиляции, отопления и охлаждения для оптимизации энергоэффективности [7]. Датчики не просто анализируют данные и вносят соответствующие коррективы, они реализуют подробные отчеты, определяя методы, как можно сэкономить энергию.

Это хорошая система для отслеживания и уменьшения затрат на энергию. С ростом спроса на энергоэффективность, мониторинг энергопотребления станет обязательным компонентом в смарт-домах.

Заключение

Инновации в области строительства и эксплуатации зданий способствуют созданию энергоэффективных и экологически чистых объектов. Современные технологии позволяют существенно снизить энергозатраты, повысить комфорт и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду [8]. Внедрение этих технологий является важным шагом на пути к устойчивому и экологически безопасному развитию индустрии энергоэффективного строительства.

Список литературы:

1. Энергоэффективное проектирование зданий: инженерные решения для устойчивого будущего / Джумаханов А., Агабаев Н., Акмухаммедов А. – Текст: электронный // Международный научный журнал «Вестник науки». – 2024. – Том 3. – № 9 (78). – С. 460–463. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/energoeffektivnoe-proektirovanie-zdaniy-inzhenernye-resheniya-dlya-ustoychivogo-buduschego/viewer> (дата обращения: 27.11.2024).
2. Развитие строительной индустрии России в области энергоэффективности зданий / Кузьменок (Альтерман) Я. А. – Текст: электронный // Архитектура и строительство: материалы X Межрегиональной научно-практической конференции, 22 февраля 2024. – Санкт-Петербург. – 128 с. – (Среднее профессиональное образование). – С. 145–148.
3. Энергоэффективность закладывается на стадии проектирования: [сайт]. – 2011. – URL: <https://sroportal.ru/news/regional/energoeffektivnost-zakladyvaetsya-na-stadii-proektirovaniya/> (дата обращения: 28.11.2024). – Текст: электронный.
4. Энергоэффективность навесных вентилируемых фасадов / Ольшевский В. Я., Донцова А. Е., Калинина А. В. – Текст: электронный // Научный журнал «AlfaBuild». – 2019. – Выпуск 3. – Том 10. – С. 48–58. – URL: chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcgclefindmkaj/https://alfabuild.spbstu.ru/userfiles/files/AlfaBuild/AlfaBuild_2019_10/10_5.pdf.
5. Силантьева, М. А. Применение энергосберегающего стекла в сфере жилищно-коммунального хозяйства / Силантьева М. А., Хусаинова Г. М., Суликова В. А. – Текст: электронный // Вестник УГУЭС. Наука. Образование. Экономика. – 2014. – № 1 (7). – С. 174–176. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-energoberegayuschego-stekla-v-sfere-zhilishchno-kommunalnogo-hozyaystva/viewer>.
6. Перспективные энергосберегающие технологии в строительстве: [сайт]. – 2022. – URL: <https://www.planradar.com/ru/perspektivnye-energoberegayushchie-tehnologii-v-stroitelstve/> (дата обращения: 27.11.2024). – Текст: электронный.
7. Улучшения умного дома: технологические тренды в строительстве / Масцевая Т.С. – Текст: электронный // Международный научный журнал «ВЕСТИК НАУКИ». – 2024. – Том 2. – № 1 (70). – С. 683–687. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uluchsheniya-umnogo-doma-tehnologicheskie-trendy-v-stroitelstve/viewer> (дата обращения: 01.12.2024).
8. Сердаров, А. Энергоэффективное проектирование зданий: инновации в технологиях утепления, отопления и охлаждения / Сердаров А., Нурбердиев Р., Агабаев Н. – Текст: электронный // Международный научный журнал «ВЕСТИК НАУКИ». – 2024. – Том 4. – № 11 (80). – С. 1160–1163. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/energoeffektivnoe-proektirovanie-zdaniy-innovatsii-v-tehnologiyah-utepleniya-otopleniya-i-ohlazhdeniya/viewer>.

©Альтерман Я. А., 2024

РАЗРАБОТКА ТРЕХМЕРНОГО ВИРТУАЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРА ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА КВ-ГМ/2-58,2-150

магистрант **Виноградов Матвей Михайлович**,
науч. руководитель: канд. техн. наук, заведующий кафедрой, доцент
Благодарный Николай Семенович,
Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматривается разработка тренажера для обучения и подготовки персонала, обслуживающего котельные установки, на примере водогрейного котла типа «КВ-ГМ/2-58,2-150».

Ключевые слова: обучение, котельные установки, оборудование, эффективность работы.

DEVELOPMENT OF A 3D VIRTUAL SIMULATOR OF THE KV-GM/2-58.2-150 WATER HEATING BOILER

Master Student **Vinogradov Matvey Mikhailovich**,
Academic Advisor: PhD Technology, Head of the Department, Associate
Professor **Blagodarnyi Nikolay Semenovich**,
Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Power Engineering,
Saint-Petersburg, Russian Federation

Abstract. The article discusses the development of a simulator for the education and training of personnel servicing boiler installations, using the example of a hot water boiler of the «KV-GM/2-58,2-150» type.

Keywords: training, boiler plants, equipment, efficiency of operation.

В условиях современного промышленного производства важно обеспечить высокую квалификацию операторов промышленного оборудования, а также повысить безопасность и эффективность их работы. Использование тренажеров является одним из наиболее эффективных способов решения этих задач, так как позволяет имитировать реальные рабочие условия, а также экстренные и аварийные ситуации без риска для оборудования и сотрудников. Виртуальный тренажер позволяет эффективно решать несколько задач:

1. Обучение операторов основам работы установки: тренажер дает возможность познакомиться с принципом работы агрегатов, настройкой и регулировкой параметров, а также операциями по запуску и остановке.

2. Имитация различных рабочих режимов: благодаря тренажеру можно имитировать работу в разных режимах — от номинальных до крайних условий, что позволяет подготовить персонал к нестандартным ситуациям.

3. Подготовка к экстренным и аварийным ситуациям: тренажер позволяет моделировать аварийные ситуации, такие как отказ оборудования, различные виды перегрузок, пожар, сбой в системе автоматизации, что помогает персоналу быстро реагировать на чрезвычайные происшествия без угрозы для здоровья и оборудования.

4. Повышение безопасности работы: регулярное использование тренажера способствует отработке безопасных методов эксплуатации котлов, что снижает риск аварий и инцидентов на реальных установках.

5. Модификации в несуществующие системы: благодаря возможности редактирования моделей, возможно изменять как параметры, так и составляющие установок [1].

Рассмотрим возможность создания тренажера на примере водогрейного котла КВ-ГМ/2-58,2-150. Для реализации проекта решаются следующие задачи:

1. Анализ объекта и требований к тренажеру. На первом этапе проводится анализ технической документации котла, принципов его работы и стандартов эксплуатации. Также определяются ключевые обучающие сценарии: пуск и остановка оборудования, регулирование переменных, диагностика неисправностей.

2. Создание 3D-модели. Разрабатывается детализированная трехмерная модель котла, включающая его основные компоненты: топку, теплообменники, арматуру и контрольно-измерительные приборы.

3. Программирование логики работы модели. На этом этапе внедряется функционал, отражающий физические процессы в котле: теплопередачу, движение пара, изменения давления и температуры. Используются игровые движки (Unity, Unreal Engine) и математические модели.

4. Создание интерфейса пользователя. Создается интерфейс для взаимодействия с тренажером. Он должен быть интуитивно понятным и включать: панель управления, систему подсказок, симуляцию аварийных ситуаций.

5. Тестирование и внедрение. Перед запуском проводится тестирование тренажера с привлечением экспертов и обучающихся. Выявленные ошибки исправляются, а улучшения вносятся [2].

Для исследования и разработки проекта была выбран водогрейный котел типа «КВ-ГМ/2-58,2-150». Причина такого выбора обосновывается проведением СПбГУПТД научно-исследовательской работы по созданию компьютерного тренажера. После изучения полного перечня документации необходимо определить платформу для реализации идеи. Выбор 3D редактора определялся по некоторым параметрам, таким как доступность, функционал, возможность работы со смежными программным обеспечением (ПО) (простота реализации математической модели, оптимизация, возможность интеграции в «игровой» движок). Под описание выше параметры подходили такие ПО как Blender, AutoCAD, SolidWorks [3].

После анализа вышеперечисленных платформ был выбран Blender.

Преимущества Blender:

1. Blender абсолютно бесплатен и распространяется по лицензии GPL. Код программы доступен для модификаций, что позволяет разрабатывать собственные плагины и инструменты.
2. Все-в-одном решение: Blender предоставляет инструменты для моделирования, скульптинга, анимации, риггинга, симуляции, рендеринга, композитинга и видеомонтажа. Подходит для работы с 2D- и 3D-контентом.
3. Большое количество бесплатных и коммерческих дополнений. Возможность автоматизации задач через Python-скрипты.
4. Поддержка промышленных стандартов: Совместимость с популярными форматами файлов (FBX, OBJ, STL, GLTF, Alembic). Интеграция с игровыми движками (Unity, Unreal Engine).
5. Эффективный движок рендеринга. Cycles — мощный фотореалистичный движок рендеринга. Eevee — быстрый рендер в реальном времени, подходящий для интерактивных проектов.
6. Активное сообщество. Постоянные обновления и улучшения от разработчиков и сообщества. Большое количество бесплатных уроков, форумов и гайдов.
7. Кроссплатформенность. Работает на Windows, macOS и Linux.
8. Низкие системные требования. Работает на компьютерах средней мощности, хотя для сложных проектов потребуется более мощное оборудование [4].

Процесс создания 3D-модели начинается с подготовки проекта. В Blender это делается через создание новой сцены. Далее начинается моделирование. В первую очередь, можно добавить один из стандартных примитивов, таких как куб, сфера или цилиндр. Эти базовые элементы перемещаются, масштабируются и вращаются. После базовой настройки объекта переходят в режим редактирования. Здесь с помощью инструментов выделения и таких функций, как Extrude, Bevel, Inset или Loop Cut формируют геометрию объекта. Для более сложных форм можно перейти в рабочее пространство Sculpting и использовать кисти для добавления мелких деталей.

После моделирования следует этап добавления деталей. На этом этапе активно используются модификаторы. Например, Subdivision Surface используется для сглаживания, Mirror — для создания симметричных объектов, а Boolean — для вырезания или объединения сложных форм. Если нужно создать повторяющиеся элементы, используется модификатор Array, а для добавления текстурированной геометрии — Displacement.

Следующий важный этап — УФ-развертка и текстурирование. Развертка создается в режиме UV-редактирования, где используются инструменты автоматической развертки или ручные методы для более сложных объектов. Затем в Свойствах материала создается материал, который может включать цвет, отражение, прозрачность и другие параметры. В рабочей области «Штриховка» материал можно детализировать, подключая текстуры, например, для цвета, шероховатости и нормалей.

Когда базовые этапы завершены, настраивается освещение и сцена. Blender позволяет использовать разные источники света, такие как Point, Sun, Spot и Area. Для реалистичного освещения можно использовать HDRI, загруженное через World Properties. Если требуется создать более сложное окружение, добавляются фоновые элементы или текстурированные поверхности.

Параметры разрешения и качества изображения задаются и позволяют выбрать движок рендеринга: Cycles для фотореалистичного результата или Eevee для быстрого отображения [5].

Далее модель проходит через рендеринг и в результате проделанной работы получается готовый продукт (Рисунки 1-4).

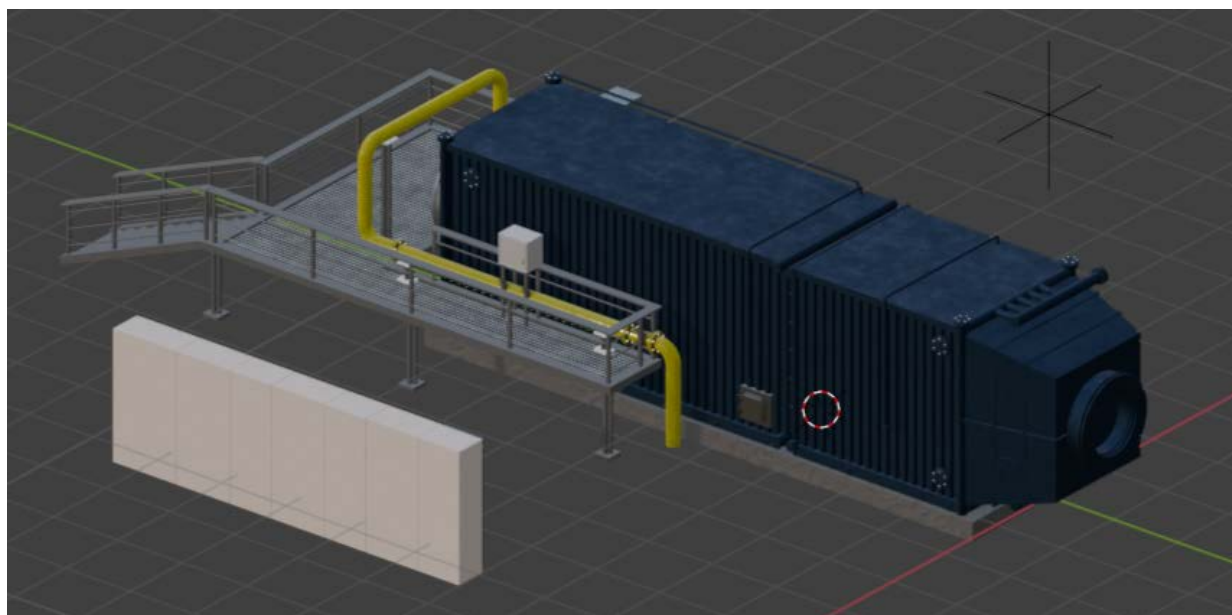


Рисунок 1. 3D-модель котла KB-ГМ/2-58,2-150

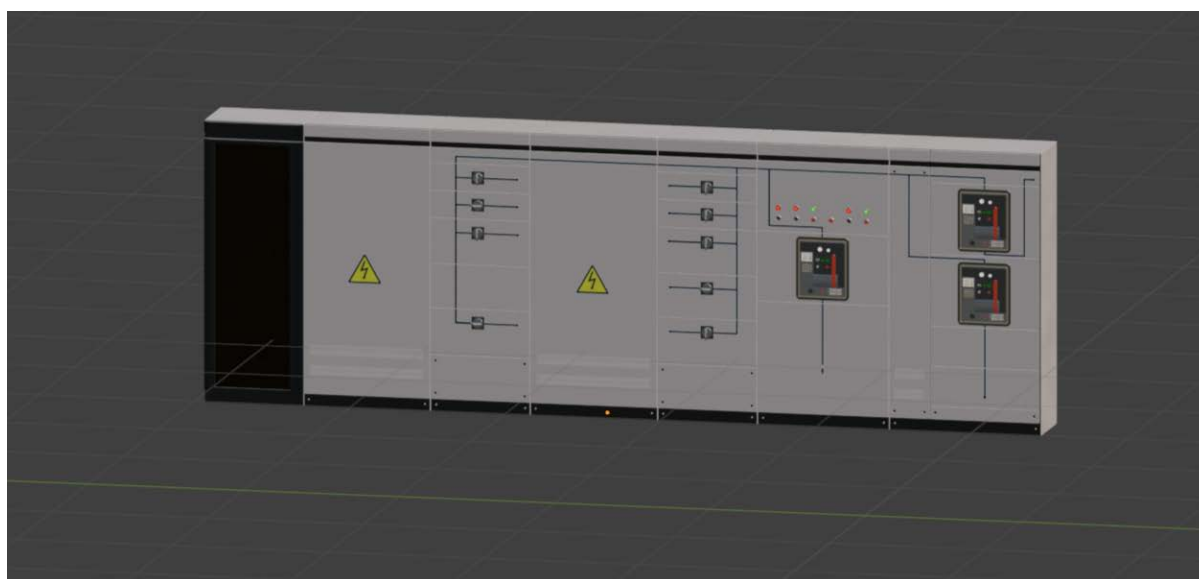


Рисунок 2. 3D-модель ГРЩ

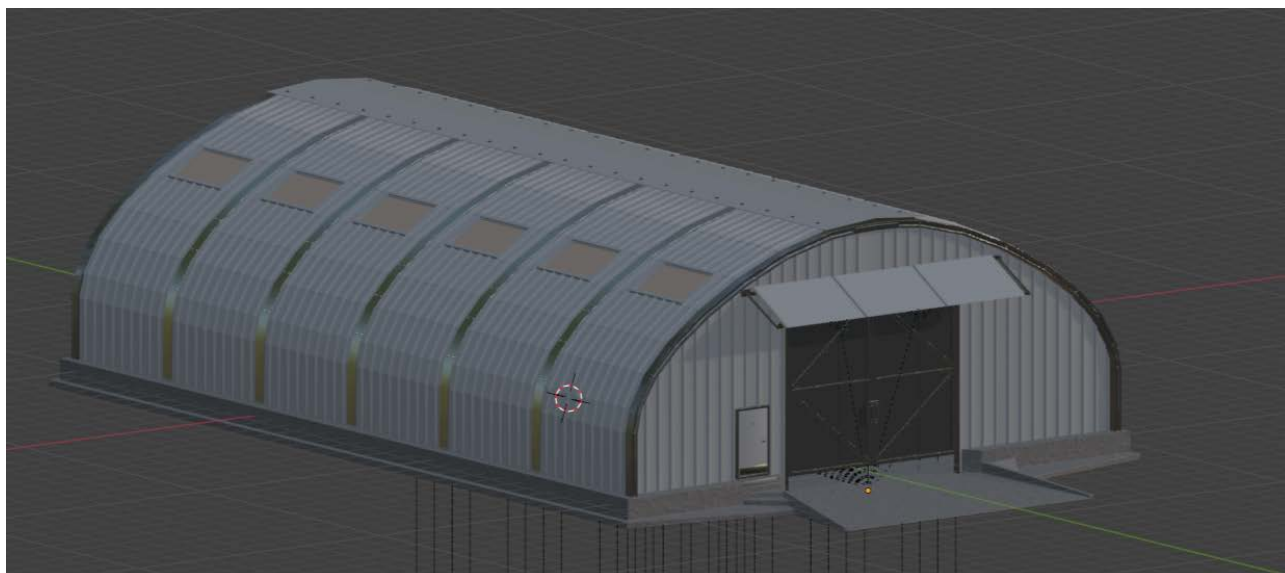


Рисунок 3. 3D-модель здания котельной

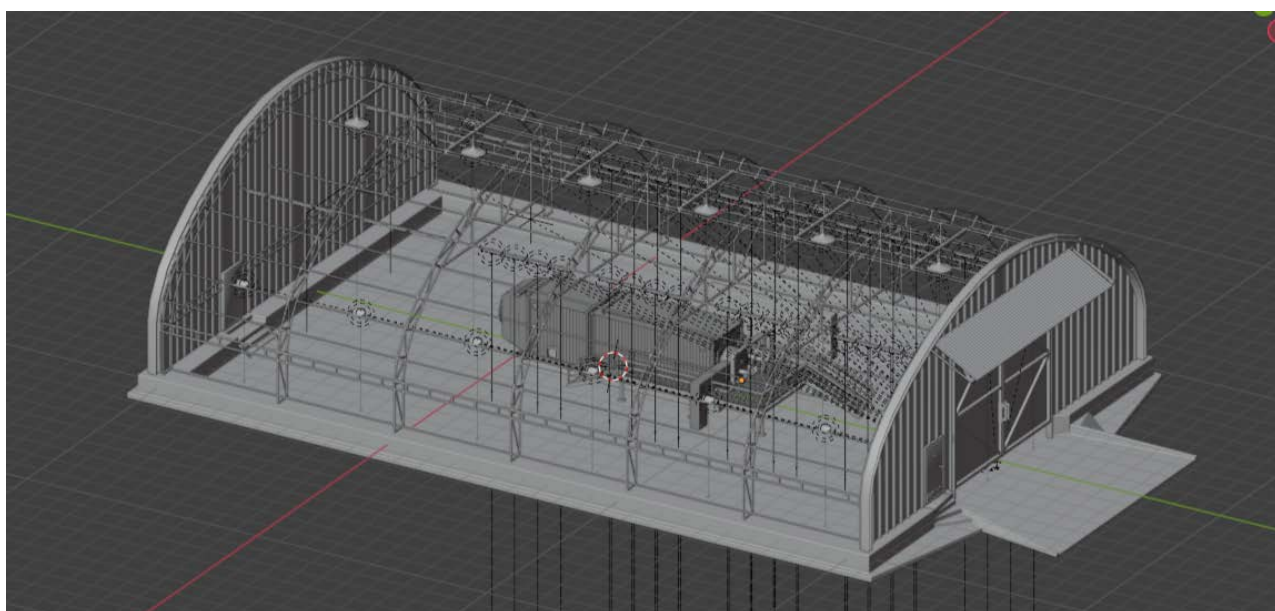


Рисунок 4. 3D-модель котельной в целом

Внешний вид помещения для расположения котла и главного распределительного щита (ГРЩ) произвольный, ввиду того что проект на стадии разработки. В дальнейшем планируется корректировка модели, так как необходимо закончить с подключением систем трубопроводов и механизмов, необходимых для полноценной работы модели.

В дальнейшем планируется завершить 3D-модель в полном объеме с учетом вышеперечисленных нюансов, интегрировать данную модель в графический движок Unity, выбор которого так же обоснован тем, что платформа обладает высокой степенью надежности, является бесплатной, имеет мощный инструмент интеграции программируемой составляющей на языке программирования C#, что позволяет синхронизировать математические модели и 3D-объекты.

На основании вышеперечисленных тезисов можно сделать вывод о том, что в результате выполнения данной работы в полном объеме будут получены полезные знания и опыт работы с моделями, движком и программированием, а также готовый продукт, при использовании которого множество людей смогут получить опыт работы, приближенный к реальному, что позволяет подготавливать более квалифицированных специалистов.

Список литературы:

1. Универсальные VR тренажеры для промышленных и строительных предприятий: [сайт]. – 2024. – URL: https://promvr.net/VR_technologies_in_the_training_of_employees_on_PB/?ysclid=m46sm1uosp243724135 (дата обращения: 20.11.2024) – Текст: электронный.
2. Принципы построения виртуальных тренажеров: [сайт]. – 2024. – URL: <https://sunspire.site/ru/articles/part35/?ysclid=m46sswmz5370279725> (дата обращения: 21.11.2024) – Текст: электронный.
3. Обзор популярных программ для 3D-моделирования: от Blender до AutoCAD : [сайт]. – 2024. – URL: <https://digi-keys.ru/articles/obzor-populyarnykh-programm-dlya-3d-modelirovaniya-ot-blender-do-autocad/?ysclid=m46snlz4wx869402536> (дата обращения: 21.11.2024) – Текст: электронный.
4. Blender 3D: [сайт]. – 2024. – URL: <https://media.contented.ru/glossary/blender-3d> (дата обращения: 22.11.2024) – Текст: электронный.
5. Серова, М. Н. Учебник-самоучитель по графическому редактору Blender 3D. Моделирование и дизайн / М. Н. Серова. – Москва: Издательство СОЛОН-Пресс, 2014. – 272 с. – Текст: непосредственный.

© Виноградов М. М., 2024

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ЗАЩИТЫ
МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ НА БАЗЕ
СОВРЕМЕННОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА
ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕСИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА**

студент **Александров Александр Михайлович**,
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 статье рассматриваются вопросы современных подходов к решению актуальной задачи защиты элементов электрооборудования металлообрабатывающих станков и механизмов на базе автоматизированных электроприводов от негативного влияния высших гармоник тока сетей питания. Проведен анализ наиболее известных способов повышения качества электроэнергии. Обоснована перспективность применения активных фильтров гармоник последовательного и параллельного типа. В статье предложена структурная схема и принцип действия инновационной схемы защиты станка на базе активного фильтра гармоник.

Ключевые слова: электроэнергия, высшие гармоники, защита электросетей, активный фильтр гармоник, пассивный фильтр гармоник.

**PROMISING TECHNICAL SOLUTIONS TO THE PROBLEM
PROTECTION OF METALWORKING MACHINES BASED ON MODERN
AUTOMATED ELECTRIC DRIVE FROM EXPOSURE NON-SINUSOIDAL
CURRENT**

Student **Aleksandrov Aleksandr Mikhailovich**,
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. The article discusses the issues of modern approaches to solving the actual problem of protecting the elements of electrical equipment of metalworking machines and mechanisms based on automated electric drives from the negative

influence of higher harmonics of the current supply networks. The analysis of the most well-known ways to improve the quality of electricity is carried out. The prospects of using active harmonic filters of sequential and parallel types are substantiated. The article proposes a block diagram and the principle of operation of an innovative machine protection scheme based on an active filter.

Keywords: electric power, higher harmonics, protection of power grids, active harmonic filter, passive harmonic filter.

Типичными элементами электрооборудования на промышленных предприятиях, объектах бизнеса, бытовых объектах сегодня являются такие приборы, как энергосберегающие лампы (светодиодные, люминесцентные и т. п.), преобразователи частоты, инверторы напряжения и тока. С точки зрения электротехники они представляют собой нелинейные нагрузки. В трехфазных сетях синусоидального тока наличие нелинейных элементов приводит к несинусоидальности тока, т. е. к возникновению высших гармоник, что может иметь пагубные последствия для работы технических систем: возникновение коротких замыканий, шумов и вибраций, перегрузки электросети, преждевременному износу изоляции, перегрузке нейтрали и т. д. [1, с. 8].

Для технических систем на базе автоматизированного электропривода, примером которых могут служить современные металлообрабатывающие станки и механизмы, проблема качества электроэнергии, т. е. и проблема борьбы с высшими гармониками, остается весьма актуальной. В таких системах сегодня чаще всего применяются трехфазные асинхронные двигатели. В этой связи, исследование эффективных способов повышения качества электроэнергии в механизмах на основе автоматизированного электропривода (АЭП) с асинхронными двигателями является актуальной научно-технической задачей.

Объектом исследования в данной работе являются способы защиты электрооборудования станков и механизмов на основе АЭП от разрушительного влияния электроэнергии низкого качества.

Предметом исследования являются технические способы борьбы с высшими гармониками электрического тока в электрооборудовании станков и механизмов на базе АЭП.

Цель работы – выработка технических решений по повышению качества электроэнергии для электроснабжения металлообрабатывающих станков с частотно-регулируемым асинхронным АЭП.

Для достижения поставленной цели в ходе работы необходимо было решить следующие задачи:

- провести анализ наиболее перспективных современных методов борьбы с высшими гармониками в АЭП станков и механизмов;
- обосновать выбор способов борьбы с высшими гармониками в конкретных электроприводах;

- разработать структуру и принцип действия инновационных способов повышения качества электроэнергии для питания электроприводов с частным регулированием и асинхронными двигателями.

В результате анализа современной научной литературы было установлено, что сегодня существует несколько путей снижения величины тока высших гармоник. Самым простым из них является применение пассивных электрических фильтров, работа которых основана на свойствах индуктивного и емкостного элементов. Чаще всего параллельно нагрузке ставится контур, состоящий из катушки и конденсатора, который настраивается на подавление гармоники определенной частоты. Такой контур ослабляет конкретную гармонику тока за счет настройки его на определенную частоту так, чтобы резонансная частота последовательно подключенных катушки и конденсатора была очень близка к частоте гармоники, которую необходимо устранить [2, с.65].

Существенным недостатком данного способа является то, что при необходимости подавления нескольких гармоник требуется установка целого ряда таких фильтрующих контуров, подключаемых параллельно, каждый из которых должен настраиваться на определенную частоту высшей гармоники. При этом существует риск перегрузки сети из-за увеличения нагрузки с повышенным содержанием гармоник и появления других источников искажений. Известно, что при гашении пятой гармоники происходит усиление седьмой, поэтому на практике приходится устанавливать несколько фильтров подряд. За счет того, что каждая цепочка из катушки и конденсатора шунтирует соответствующую составляющую, фильтр получил название шунтирующего. Таким образом, основными недостатками таких фильтров гармоник являются невозможность погашения всех гармоник, громоздкость фильтра и большие потери энергии.

Другим известным сегодня способом снижения уровня высших гармоник тока является оснащение трехфазных сетей специальными фильтрами нижних частот с различным характером сопротивления для полосы пропускания и полосы заграждения. Чаще всего такой фильтр обладает активным (резистивным) характером сопротивления в полосе пропускания, а в полосе заграждения он характеризуется реактивным сопротивлением [3, с. 9]. Исследования показывают, что для мгновенного и максимального подавления всех гармоник выше частоты среза более предпочтительно использовать фильтры с емкостным характером сопротивления, примером которых служат П-образные фильтры [4, с. 31]. Такие фильтры подключаются ко вторичной обмотке силового трансформатора тяговой подстанции и способны подавлять высшие гармоники тока до 21-го порядка.

Существенным недостатком таких фильтров является выделение ими заметной реактивной мощности, что часто недопустимо для современных технических систем на базе автоматизированного электропривода.

Одним из принципиально новых устройств для снижения гармоник можно назвать активный фильтр гармоник (АФГ). АФГ представляет собой управляемый источник тока, который, в отличие от пассивного фильтра, подавляет все возможные порядки гармоник [5, с. 42]. АФГ вводит в сеть ток такой по частоте и амплитуде, чтобы в результате суммирования тока нагрузки и тока компенсации, выходящего из фильтра, получился ток по частоте и амплитуде совпадающий с током электрической сети. Пример структуры типовой системы с электроприводом и АФГ показан на рис. 1.

Анализируя ток нагрузки и ток сети, АФГ создает ток в противофазе равный току нагрузки, в итоге наложения «противотока» на ток гармоники последний практически полностью исчезает, и чем быстрее фильтр анализирует и отправляет противофазный ток, тем выше становится качество сети. Практически любой активный фильтр гармоник может применяться как для подавления гармоник, так и для компенсации реактивной мощности.

АФГ может быть подключен последовательно или параллельно. Последовательно подключенный фильтр служит управляемым генератором напряжения и является эффективным компенсатором провалов и гармонических составляющих в напряжении сети. Последовательный активный фильтр компенсирует гармонические токи, которые генерируются нагрузкой, а также искажения напряжения, уже присутствующие в системе электросети. Последовательный фильтр по сути является управляемым генератором напряжения и служит эффективным решением для компенсации провалов, фликера несимметрии и гармонических составляющих в напряжении сети.

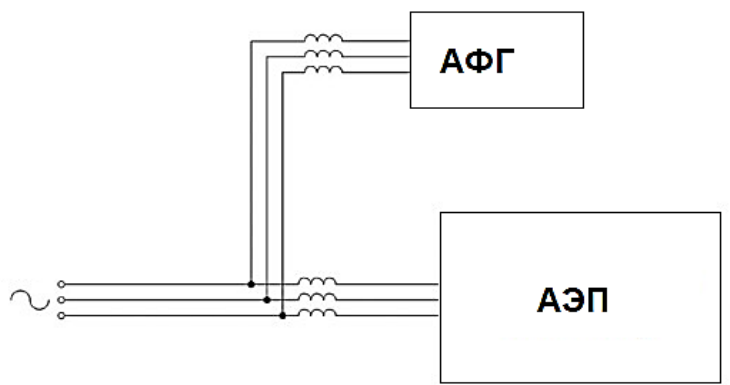


Рисунок 1. Система с АЭП и АФГ

При проектировании и выборе последовательного АФГ необходимо учитывать следующие особенности: рассчитанный на полный ток нагрузки, АФГ должен иметь высокую мощность, что влечет за собой соответственно высокую стоимость; последовательный фильтр не имеет возможности прямо исправлять токи нагрузки, подключенной за ним, влияя на них только посредством изменения напряжения. Существенное преимущество такого АФГ – исправление искаженной формы напряжения независимо от природы возникновения искажения.

Результаты исследований последовательных АФГ показали, что применение последовательных АФГ является эффективным средством уменьшения реактивной мощности и борьбы с влиянием на электрическую сеть высших гармоник в промышленных сетях объектов с автоматизированными электроприводами, например, станками с для изготовления электрических разъемов в авиационной промышленности. Одним из важных направлений дальнейших исследований данных фильтров является поиск способов повышения мощности, что может привести к созданию последовательного фильтра, способного исправлять большие гармонические токи.

В настоящее время не менее перспективным средством повышения качества электросети при работе механизмов и станков с электроприводами является параллельный АФГ, который соединяется параллельно линии переменного тока и имеет более высокую компенсируемую мощность. Такой АФГ постоянно вводит в сеть токи, противофазно равные токам нагрузки, так, чтобы в результате ток, поставляемый источником, оставался синусоидальным. Фильтр автоматически ограничивает ток компенсации по своему максимальному значению, если ток, генерируемый нагрузкой, превышает это значение. Таким образом, фильтр будет продолжать свою работу до своего максимального значения тока, не перегружаясь, а токи, превосходящие это значение, будут возвращаться в систему электропитания.

Параллельный АФГ может обеспечивать значительное улучшения качества электросети за счет снижения реактивной мощности и влияния высших гармоник на электрические сети, питающие типовые промышленные станки.

В развитие рассмотренных ранее способов борьбы с гармониками для систем большой мощности возникает идея совместного применения параллельного АФГ и пассивного фильтра. Принцип действия такой системы заключается в том, что параллельно нагрузке подключается контур, состоящий из последовательного соединенных параллельного АФГ и пассивного фильтра. При этом, пассивный заграждающий фильтр настраивается на самую большую по амплитуде гармонику, а АФГ будет производить фильтрацию всех гармоник других порядков.

Результаты компьютерного моделирования и исследования работы АФГ показали, что параллельный тип фильтра способен улучшать качество электроэнергии в электрических сетях, питающих станки и механизмы, при этом такому типу фильтров не присущи недостатки последовательного фильтра, он прост в защите и подключении, способен напрямую управлять током, то есть лучше подавлять гармоники тока. Таким образом, для улучшения качества электроэнергии в электрических сетях, питающих современные станки и механизмы с автоматизированными электроприводами переменного тока, эффективным может быть внедрение АФГ, что позволит значительно уменьшить риск возникновения коротких замыканий и перегрузки электросети.

Список литературы:

1. Вангенхайм, Ф. Активные фильтры и генераторы / Ф. Вангенхайм. – М: Техносфера, 2010. – 112 с.– Текст: непосредственный.
2. Кумаков, Ю. Н. Инверторы напряжения со ступенчатой модуляцией и активная фильтрация высших гармоник / Ю. Н. Кумаков // Новости электротехники. – 2005. – № 6. – С. 64–67. – Текст: непосредственный.
3. Абрамович, Б. Н. Повышение качества электрической энергии с помощью параллельного активного фильтра в системах электроснабжения промышленных предприятий / Б. Н. Абрамович // Электричество. – 2012. – № 3. – С. 7–11. – Текст: непосредственный.
4. Розанов, Ю. К. Современные методы регулирования качества электроэнергии средствами силовой электроники // Электротехника. – 1999. – № 4. – С. 28–32. – Текст: непосредственный.
5. Изосимов, Д. Б. Алгоритмы и системы цифрового управления электроприводами переменного тока / Д. Б. Изосимов, В. Ф. Козаченко // Электротехника. – 1999. – № 4. – С. 41–51. – Текст: непосредственный.

© Александров А. М., 2024

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОКОНТРОЛЛЕРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТАНКОВ И МЕХАНИЗМОВ С АВТОМАТИЗИРОВАННЫМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

студент **Круглякова Полина Викторовна**,

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 статье рассматриваются вопросы применения нейроконтроллеров для решения актуальной задачи повышения технико-экономических параметров типовых станков и механизмов с автоматизированным электроприводом. Проведен анализ сущности и принципа действия нейроконтроллеров. Рассмотрены конкретные примеры эффективного применения нейроконтроллеров с машинным обучением в системах на основе автоматизированного электропривода со сложным алгоритмом управления. Разработана структурная схема для управления металлообрабатывающим станком с нейроконтроллером. Приведены результаты компьютерного моделирования разработанной схемы при варьировании величины нагрузки на привод.

Ключевые слова: нейроконтроллеры, искусственные нейронные сети, инженерно-технические задачи, автоматизация, производственные процессы, нейроуправление.

ANALYSIS OF THE WAYS OF USING NEUROCONTROLLERS TO IMPROVE THE TECHNICAL AND ECONOMIC PARAMETERS MACHINES AND MECHANISMS WITH AUTOMATED ELECTRIC DRIVES

Student **Krugliakova Polina Viktorovna**,

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. The article discusses the use of neurocontrollers to solve the urgent task of improving the technical and economic parameters of standard machines and mechanisms with an automated electric drive. The analysis of the essence and principle of operation of neurocontrollers is carried out. Specific examples of the effective use of neurocontrollers with machine learning in systems based on an automated electric

drive with a complex control algorithm are considered. A block diagram has been developed for controlling a metalworking machine with a neurocontroller. The results of computer simulation of the developed circuit are presented when varying the magnitude of the load on the drive.

Keywords: neurocontrollers, artificial neural networks, engineering and technical tasks, automation, production processes, neurocontrol.

Повышение технико-экономических параметров современных станков и механизмов на базе автоматизированного электропривода с учетом тенденций к усложнению и нарастанию разнообразия условий их работы требует применения инновационных методов и способов решения. В последние годы одним из наиболее перспективных направлений развития таких систем является применение нейроконтроллеров как устройств искусственного интеллекта, позволяющих осуществить решение многих задач на совершенно ином уровне.

Применение нейроконтроллеров позволяет в значительной степени исключить ошибки, связанные с человеческим фактором, а также обеспечить высокую и недостижимую традиционными методами точность выполнения технологических процессов объектах промышленности и производства [1, с. 159].

Таким образом, исследование вопросов применения нейроконтроллеров в технических системах с использованием автоматизированных электроприводов является актуальной научно-технической задачей.

Объектом исследования в данной работе являются типовые станки и механизмы на основе автоматизированного электропривода (СМАЭП) со сложным алгоритмом управления.

Предметом исследования являются способы повышения технико-экономических параметров СМАЭП на основе внедрения нейроконтроллеров с машинным обучением (НКМО).

Цель исследования – разработка предложений по структуре и принципу действия технических систем на основе СМАЭП и НКМО.

Для достижения поставленной цели в ходе работы необходимо было решить следующие задачи:

- провести анализ сущности, принципа действия, параметров и характеристик НКМО;
- провести анализ технических систем с СМАЭП, в которых целесообразно применять НКМО;
- разработать структуру и принцип работы элементов СМАЭП с НКМО.

Анализ современной научной литературы показал, что НКМО для управления такими объектами, как СМАЭП использует искусственные нейронные сети (НС) [2, с. 81]. НС имеют уникальные свойства, которые можно эффективно использовать в схемах управления СМАЭП, прежде всего это способность к обучению и адаптированию к изменению параметров СМАЭП, а также к условиям функционирования исполнительного органа.

В настоящее время существует несколько направлений применения НКМО в системах управления СМАЭП. Первое важное направление – стабилизация выходного напряжения в схемах питания асинхронных СМАЭП с частотными

преобразователями и автономными инверторами напряжения. НКМО в таких задачах применяются для электропитания групповой нагрузки, оптимизации регулятора, а также для модернизации силовой части схемы. Применение НКМО позволяет обеспечить отклонение напряжения на 5–7 % при десятикратном изменении нагрузки.

Интересным направлением применения НКМО стало совершенствование систем, в которых СМАЭП работает с трехфазным синхронным генератором переменного тока. Применение НКМО позволяет эффективно решить известную задачу «переменная скорость – постоянная частота» на основе регулятора частоты выходного напряжения с использованием нечеткой логики. Авторами данной разработки получен следующий положительный эффект: в статических и динамических режимах при подключении нагрузки уменьшаются провалы частоты в три раза по сравнению с традиционными регуляторами. При этом в типовых переходных электромеханических процессах наблюдаемое быстродействие регулятора с НКМО превышает быстродействие традиционного регулятора более чем на 100 %.

Важным научным направлением является изучение возможности использования НКМО для устранения проблемы фрикционных автоколебаний в СМАЭП на базе электродвигателей постоянного и переменного тока с нагрузкой в виде пары трения. Такие задачи встречаются, например, в автомобильном транспорте:

- подшипник скольжения-шейка коленчатого вала;
- втулка и ось балансира;
- палец-корпус шаровой опоры в ходовой части автомобиля и т. п.

В качестве решения может выступать комбинированный регулятор из НКМО и традиционного регулятора. При таком построении схемы решается задача стабилизации (устранении автоколебаний) в механической части СМАЭП.

Проведенное с использованием компьютерного моделирования исследование электромеханической части СМАЭП с нагрузкой данного типа установило, что замкнутая система с НКМО-регулятором менее чувствительна к изменению момента инерции, чем система с классическим пропорционально-интегральным регулятором (ПИД). Также установлено, что НКМО-регулятор иногда не может полностью решить задачу, а также может приводить ко значительному смещению зоны автоколебаний в другой диапазон скоростей исполнительного органа.

Другим направлением совершенствования параметров и характеристик СМАЭП является повышение качества регулирования и экономии энергии и ресурсов в регуляторах скорости и момента на основе применения НКМО. Для решения этой задачи авторами [3, с. 102] разработана и исследована ИНС, представляющая собой многослойную структуру и выполняющая функции наблюдателя скорости с повышенной точностью и с алгоритмом обратного распространения ошибки. Такая ИНС обладает чувствительностью к вариации взаимной индуктивности на низких частотах.

В рамках данного направления также проведено сравнение скорости асинхронного электродвигателя в системе адаптивного управления с

использованием НКМО в двух режимах: с компенсацией сопротивления статора и без компенсации.

Таким образом, проведенный анализ позволяет сделать вывод, что существует ряд несомненных достоинств применения НКМО в системах управления СМАЭП. НКМО-регуляторы гораздо менее чувствительны к изменению параметров, чем традиционные типы регуляторов и позволяют работать при таких отклонениях, которые в принципе не допустимы для традиционных регуляторов.

Автором был проведен анализ нескольких конкретных типовых технических систем на основе современных СМАЭП и перспектив применения в них НКМО. Одним из наиболее актуальных технических объектов является СМАЭП сложных станков и механизмов. Рассмотрим задачу совершенствования системы управления мощностью и резательным усилием типового металлорежущего станка на основе разработки НКМО-регулятора с самонастройкой. Такие станки представляют собой машины для обработки заготовки путем снятия стружки с целью придания ей заданной геометрической формы, размеров, шероховатости.

Решение данной сложной задачи предлагается осуществить на основе инновационного подхода – применения НКМО с многослойной НС прямого распространения. Как известно, процесс обработки металла часто имеет прерывистый (переменный) характер. Поэтому применение ПИ-регуляторов часто не может обеспечить требуемого качества управления [4, с. 114]. Данная проблема успешно решается путем применения НКМО, осуществляющего автоматическую адаптацию параметров регулятора мощности в процессе функционирования системы стабилизации мощности и прилагаемого для металлообработки усилия. Структурная схема системы представлена на рис. 1.

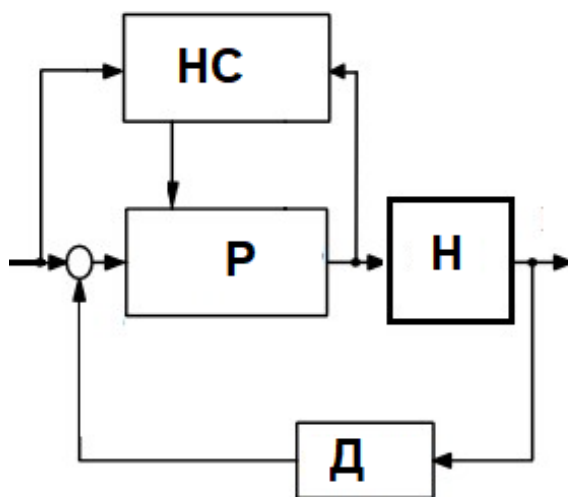


Рисунок 1. Схема системы стабилизации мощности и прилагаемого усилия станка с НКМО

В состав системы входит регулятор Р и датчик Д, включенный в обратную связь.

Работа исполнительного органа (нагрузки Н), управляемого СМАЭП с НКМО происходит в условиях непрерывного и скачкообразного изменения величины момента инерции на валу шпинделя станка из-за [5, с. 20]:

- разброса твердости материалов;
- наличия шероховатости металла;
- изменяющегося режущего свойства инструмента.

Работа элементов данной схемы была исследована в форме компьютерного моделирования в среде *MATLAB SIMULINK*. В результате было установлено, что предлагаемая схема СМАЭП с НКМО позволяет достичь более высоких, в сравнении с традиционными регуляторами качеств переходного процесса. Также обеспечивается гораздо меньшее время переходного процесса и меньшее перерегулирование при различных изменениях нагрузки на валу асинхронного двигателя.

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод, что предлагаемое техническое решение позволяет минимизировать отклонение фактических значений параметров движения исполнительного органа от заданных значений. Таким образом, использование НКМО в схемах СМАЭП позволяет улучшить характеристики системы по сравнению с традиционными подходами.

Список литературы:

1. Макаренков, В. М. Современные нейроконтроллеры: обзор решений и анализ возможностей для применения в интеллектуальных системах / В. М. Макаренков, С. В. Азябин, А. Д. Говердовский // Сборник научных трудов. 14-ая молодежная научно-техническая конференция «Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2012». – М.: изд-во МГТУ им. Н. Э.Баумана, 2012. – С.159-164. – Текст: непосредственный.
2. Чернодуб, А. Обзор методов нейруправления /А. Чернодуб, Д. Дзюба // Проблемы программирования. – 2011. – С. 79–94. – Текст: непосредственный.
3. Гизатуллин, А. А. Экспериментальные исследования интеллектуальных систем регулирования частоты выходного напряжения синхронного генератора в составе электромашиного преобразователя / А. А.Гизатуллин, В. И.Каримов// Современные проблемы науки и образования. М., 2012. – С. 98–103. – Текст: непосредственный.
4. Виноградов, А. Б. Векторное управление электроприводами переменного тока/ А. Б. Виноградов. – ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2008. – 298 с. – Текст: непосредственный.
5. Клепиков, В. Б. Синтез нейросетевой системы управления одномассовой электромеханической системы с отрицательным вязким трением при ограничении координат электропривода / В. Б. Клепиков, К. В. Махотило, И. В. Обруч // Труды конф. «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика», Крым, Алушта, 15 – 20 сент. 1997. – Харьков: Основа, 1997. – с. 19 – 21. – Текст: непосредственный.

**АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СТАНКОВ
И МЕХАНИЗМОВ НА БАЗЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ
СХЕМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЧАСТОТЫ**

студент **Ошлыков Тихон Евгеньевич**,
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 рассматриваются перспективные способы решения актуальной научно-технической задачи улучшения параметров и характеристик типовых современных станков и механизмов на базе частотно-регулируемого асинхронного электропривода путем применения многоуровневых преобразователей частоты. Проведен анализ существующих вариантов схем преобразователей. Обоснован выбор типа импульсного стабилизатора постоянного напряжения для преобразователя частоты асинхронного электропривода. Разработаны схемы и принцип действия инновационных стабилизаторов с импульсными регуляторами постоянного напряжения.

Ключевые слова: автоматизированный электропривод, автономный инвертор, преобразователь частоты, импульсный стабилизатор напряжения.

**ANALYSIS OF WAYS TO IMPROVE MACHINE PERFORMANCE AND
MECHANISMS BASED ON AUTOMATED ELECTRIC DRIVE BASED ON
THE USE OF INNOVATIVE FREQUENCY CONVERSION SCHEMES**

Student **Oshlikov Tikhon Evgenievich**,
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 discusses promising ways to solve the urgent scientific and technical problem of improving the parameters and characteristics of advanced machines and mechanisms based on a frequency-controlled asynchronous electric drive by using multi-level frequency converters. The analysis of the existing variants of the converter schemes is carried out. The choice of a type of pulse constant voltage stabilizer for an asynchronous electric drive frequency converter is justified. The

schemes and the principle of operation of innovative stabilizers with pulsed DC voltage regulators have been developed.

Keywords: automated electric drive, autonomous inverter, frequency converter, pulse voltage stabilizer.

На современных промышленных предприятиях, объектах бизнеса и быта типовым объектом сегодня является автоматизированный электропривод как ключевое звено станков, механизмов, приборов и устройств. Чаще всего современные электроприводы работают на базе однофазных или трехфазных асинхронных двигателей. Для управления и регулирования работы такого электропривода чаще всего используются частотные преобразователи. В последние годы получают все большее распространение схемы вентильных преобразователей частоты на базе автономных инверторов напряжения с многоуровневой (АИНМ) ступенчатой или широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) выходного напряжения. По мере роста числа уровней становится возможным формировать ступенчатое напряжение, которое аппроксимирует синусоидальное переменное напряжение с точностью, определяемой числом уровней. В результате появляется возможность уменьшить потери мощности и снизить частоту ШИМ, а также существенно улучшить гармонический состав выходного напряжения АИНМ [1, с. 106].

Для работы таких схем появляется необходимость одновременного получения нескольких уровней постоянного напряжения питания инвертора. В этой связи, исследование вопросов построения схем частотных преобразователей с АИНМ для эффективного управления автоматизированными асинхронными электроприводами станков и механизмов является актуальной научно-технической задачей.

Объектом исследования в данной работе являются частотные преобразователи для управления и регулирования параметров АИНМ автоматизированных электроприводов типовых станков и механизмов.

Предмет исследования – способы повышения характеристик импульсных регуляторов постоянного напряжения для питания АИНМ в составе преобразователя частоты электропривода.

Цель работы – разработка предложений по схемному решению преобразователя для обеспечения работы АИНМ в частотно-регулируемых электроприводах типовых станков и механизмов.

В ходе решения основных задач исследования получены следующие результаты.

Анализ научно-технической литературы показал, что улучшение параметров и характеристик многоуровневых преобразователей частоты для автоматизированного электропривода с асинхронным двигателем возможно путем разработки АИН с так называемой мультиуровневой модуляцией (АИНММ). В АИНММ требуемое число уровней выходного напряжения достигается за счет специального способа суммирования напряжений. При этом АИНММ требуют наличия нескольких источников питания постоянного тока. В качестве таковых можно использовать управляемые тиристорные выпрямители,

дающие разное выходное напряжение. Серьезным недостатком такого подхода является импульсное потребление тока из входной сети, что часто приводит к снижению качества электроэнергии, то есть к искажению формы кривой напряжения. Это может значительно ухудшить работу всех потребителей электроэнергии, работающих в той же сети [2, с. 36].

Справиться с данной проблемой можно путем замены управляемых выпрямителей на импульсные стабилизаторы постоянного напряжения (СПН), получающих питание от одного или от нескольких неуправляемых выпрямителей с реактивным фильтром низкой частоты. СПН можно назвать регулятором напряжения (РПН). Применение РПН обеспечивает высокое качество формы синусоидального тока, при этом реактивная мощность стремится к нулю. Достоинствами импульсных РПН являются малые потери и высокие массо-габаритные показатели, так как в них отсутствует такой массивный элемент, как трансформатор со стальным магнитопроводом. Однако для обеспечения требуемых параметров в РПН необходимо применять конденсаторы с очень большой величиной емкости. Сегодня известны несколько типов схем импульсных РПН [3, с. 52]: схема понижающего типа, схема повышающего типа, схема с инвертированием выходного напряжения.

В данной работе проведен анализ особенностей использования различных типов РПН для электропитания импульсных нагрузок, примером которых является служит АИНММ. Наиболее интересные варианты схем частотных преобразователей показаны на рис. 1.

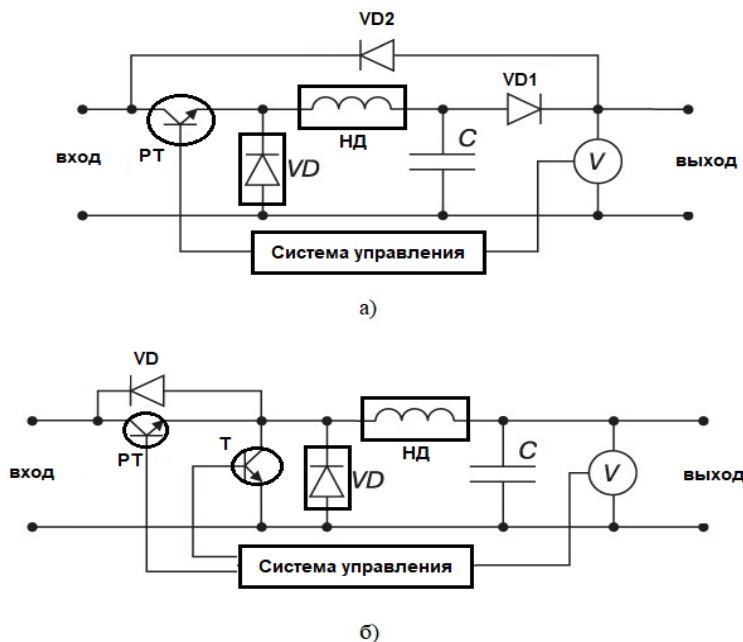


Рисунок 1. Схемы РПН понижающего типа

Общими типовыми элементами в этих схемах являются: индуктивный накопительный дроссель НД; регулирующий транзистор РТ, работающего в ключевом режиме; блокировочный диод VD ; фильтрующий конденсатор C ; система управления СУ для формирования сигналов управления ключом; вспомогательный вольтметр V .

Работа схем РПН разного типа отличается порядком включения в схему перечисленных элементов и алгоритмом управления, заложенном в СУ. Из всех типов импульсных РПН наибольшее распространение получила схема понижающего типа, в которой накопительный дроссель одновременно является элементом фильтра низких частот [4, с. 89]. РПН повышающего и инвертирующего типов проигрывают понижающей схеме, так как в них дроссель не участвует в сглаживании пульсации выходного напряжения, что приводит к снижению массо-габаритных показателей устройства. Для оптимального управления ключом в РПН любого типа необходимо применение ШИМ, что обеспечивает:

- высокий КПД и оптимальную частоту преобразования независимо от напряжения первичной питающей сети $U_{вх}$ и тока нагрузки;
- неизменную частоту пульсации на нагрузке, что имеет очень существенное значение для целого ряда потребителей в схемах с автоматизированными электроприводами;
- одновременную синхронизацию частот преобразования, в общем случае, неограниченного числа РПН, что исключает опасность биений частот.

Таким образом, в РПН с ШИМ возможно осуществить электропитание постоянным током нескольких регуляторов от всего одного неуправляемого выпрямителя.

Типовым способом построения СУ РПН с ШИМ является использование программируемых микроконтроллеров (МК). Такие МК имеют встроенный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и ШИМ-модулятор. Элемент «вольтметр» в схеме РПН с ШИМ будет представлять собой делитель напряжения и внешний АЦП. Обычно один МК может обслуживать работу нескольких РПН, что для схем АИММ является особенно актуальным. Это дополнительно снижает стоимость таких устройств. Кроме того, МК имеет возможность в ходе работы настраивать алгоритм управления различными РПН, например, изменить частоту ШИМ в зависимости от чувствительности нагрузки к пульсациям выходного напряжения АИНММ [5, с.88].

Обычно принято управлять РПН таким образом, чтобы ток, протекающий через дроссель НД, был непрерывным. Это обеспечивает линейность внешних и регулировочных характеристик РПН. Если допустить прерывистый характер кривой тока, то характеристики становятся нелинейными и, к тому же, неоднозначными. При этом, при проектировании РПН расчеты режима прерывистого тока более сложны, чем непрерывного. Выбор режима работы РПН для питания АИНММ осуществляется из условия, что для обеспечения режима непрерывного тока РПН индуктивность дросселя должна быть достаточно велика, причем величина ее возрастает с уменьшением уровня пульсаций входного тока и выходного напряжения.

Спецификой АИНММ является импульсный характер потребления тока со скачкообразным изменением его величины. Это обусловлено вентильным распределением электроэнергии. При этом накопление значительного запаса энергии в индуктивном дросселе часто приводит к скачкам выходного напряжения в моменты отключения вентиля и провалам напряжения в моменты

его включения. Следовательно, для питания АИНММ наиболее оптимальным будет прерывистый ток дросселя, для чего требуется гораздо меньшая индуктивность.

Автором было проведено исследование зависимости стоимости преобразователя от емкости фильтра, в результате была обоснована необходимость схемной доработки РПН с ШИМ в виде добавления цепи рекуперации избыточной энергии. Было предложено два перспективных варианта такого импульсного РПН.

В неуправляемом варианте РПН с ШИМ, показанном на рис. 1а, диод VD1 препятствует протеканию обратного тока через конденсатор С, а диод VD2 направляет обратный ток в цепь источника питания. Данный вариант более прост для реализации, но в некоторых случаях может приводить к перенапряжениям на нагрузке.

Гораздо более эффективным является управляемый вариант схемы, изображенный на рис. 1б. В данной схеме при превышении величиной напряжения на емкости С требуемого значения система управления с помощью управляемого ключа (транзистора РТ при закрытом ключе – транзисторе Т) производит накопление энергии в дросселе НД. После этого при размыкании ключа накопленная энергия через диод VD поступает в сеть входного источника электропитания. Этот процесс будет повторяться с частотой, примерно равной частоте ШИМ до тех пор, пока напряжение на емкости не достигнет допустимых значений.

Список литературы:

1. Анисимова, Т. В. Способы повышения качества выходного напряжения инверторов со ступенчатым выходным напряжением / Т. В. Анисимова, А. Н. Данилина, В. В. Крючков // Вестник МАИ. – 2010. – Т. 17, № 1. – С. 103–112. – Текст: непосредственный.
2. Портнягин, Н. Н. Диагностика асинхронных двигателей при помощи современных преобразователей частоты / Н. Н. Портнягин, А. А. Марченко // Комплексное обеспечение региональной безопасности: сб. тр. – 2011. – С. 35-38. – Текст: непосредственный.
3. Карлов, Б. Современные преобразователи частоты: методы управления и аппаратная реализация / Б. Карлов, Е. Есин // Силовая электроника. – 2004. – № 1. – С. 50–54. – Текст: непосредственный.
4. Белов, М. П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: учебник для вузов / М. П. Белов, В. А. Новиков, Л. Н. Рассудов. – 2-е изд., стер. – М.: Академия, 2004. – 356 с. – Текст: непосредственный.
5. Поздеев, А. Д. Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно-регулируемых асинхронных электроприводах / А. Д. Поздеев. – Чебоксары : Изд-во Чуваш. ун-та, 1998. – 172 с. – Текст: непосредственный.

© Ошлыков Т. Е., 2024

ТЕХНОЛОГИЯ ОБУЧЕНИЯ В XXI ВЕКЕ: ОБЗОР КОМПАНИЙ, ФОРМИРУЮЩИХ БУДУЩЕЕ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ

аспирант **Борко Виолетта Викторовна**,
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. В современном мире развития технологий и повышения требований к энергоэффективности от специалистов в области теплоэнергетики требуются не только глубокие знания, но и практические навыки, способствующие быстрому и эффективному реагированию на различные ситуации в процессе эксплуатации энергетического оборудования. Одним из эффективных способов обучения операторов являются компьютерные тренажеры, которые позволяют имитировать реальные условия труда, обеспечивая при этом безопасное обучение и отработку навыков без какого-либо риска для оборудования и персонала.

Ключевые слова: компьютерные тренажеры, обучение, операторы, практические навыки, автоматизация, компетенции.

LEARNING TECHNOLOGY FOR THE XXI CENTURY: A RE- VIEW OF COMPANIES SHAPING THE FUTURE WITH COMPUTER- BASED SIMULATORS

Postgraduate Student **Borko Violetta Viktorovna**,
Academic Advisor: PhD in Engineering **Blagodarnyy Nikolay Semenovich**,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. In the modern world of technology development and increasing requirements for energy efficiency, specialists in the field of thermal power engineering are required not only profound knowledge, but also practical skills that facilitate quick and effective response to various situations in the process of operation of power equipment. One of the effective ways of training operators are computer simulators, which allow to imitate real working conditions, while providing safe training and practicing skills without any risk to the equipment and personal.

Keywords: computer simulators, training, operators, practical skills, automation, competencies.

Компьютерные тренажеры – это разработанные программы, имитирующие рабочие процессы и производственные сценарии. Они позволяют исследовать теплоэнергетические системы, принимать решения в условиях неопределенности и развивать навыки командной работы и общения.

Профессиональная деятельность часто связана с обработкой значительных объемов информации. Чтобы эффективно управлять этим потоком данных, необходимо автоматизировать некоторые действия. Это позволяет сосредоточить внимание на более сложных задачах, требующих стратегического мышления и принятия решений.

Необходимые навыки развиваются с помощью компьютерного тренинга:

- Управление оборудованием: отработка управления различными элементами тепловых электростанций (котлами, турбинами, насосами и т. д.), освоение регулирования параметров и контроль работы оборудования.
- Решение проблем: имитация различных аварийных ситуаций помогает операторам принимать быстрые и эффективные решения в условиях стресса и нехватки времени.
- Анализ данных: предоставление информации о работе предприятия, обучение операторов анализировать данные и выделять ключевую информацию.
- Принятие решений: анализ ситуации и выбор наилучшего курса действий в сложных аварийных ситуациях.

Важно отметить, что компьютерные тренажеры не заменяют реальный опыт работы, но значительно повышают уровень подготовки операторов, делая их более компетентными и готовыми к различным ситуациям на реальном производстве.

На российском рынке представлен ряд компаний, специализирующихся на разработке компьютерных тренажеров для различных отраслей промышленности. Среди них:

1. Компания РТСИМ — это разработчик компьютерных тренажеров для обучения специалистов предприятий и студентов для нефтегазового сектора. [1]. RTsim копирует реальную операционную систему, используемую нефтяной или газовой компанией для обучения студентов через свой веб-сайт, – концепция, известная как «цифровые близнецы». В настоящее время в рамках программы моделируются 30 производственных процессов, 29 из которых расположены в России, а остальные – в Объединенных Арабских Эмиратах. Тренажер для обучения операторов RTsim использует математические модели технологических процессов и принципы механики интернет-игр для обучения тысяч сотрудников.

2. Компания SIKE (Сайк) – разрабатывает широкий спектр обучающих систем, тренажеры для обучения, 3D-симуляторы, электронные учебные курсы, электронные плакаты [2]. Больше всего компания продвигает 3D-атлас оборудования, который представляет собой 3D-версию атласа чертежей оборудования различного назначения. Существует два режима работы:

демонстрация и тестирование. В режиме демонстрации (рис. 1) есть возможность 1) изучать описание объектов; 2) поворачивать/отдалять/приближать модель; 3) переходить на детализацию объекта.

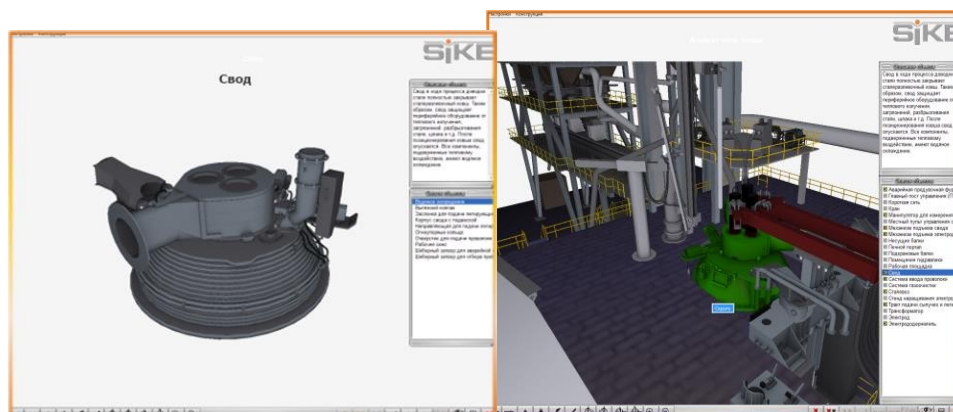


Рисунок 1. Режим демонстрации 3D-атласа

В режиме тестирования (рис. 2) преобладают возможности: 1) пройти тестирование по любому объекту конструкции; 2) скрывать/отображать объекты для указания верного элемента; 3) краткая статистика по окончании теста; 4) подробные результаты тестирования; 5) постоянный доступ к результатам.

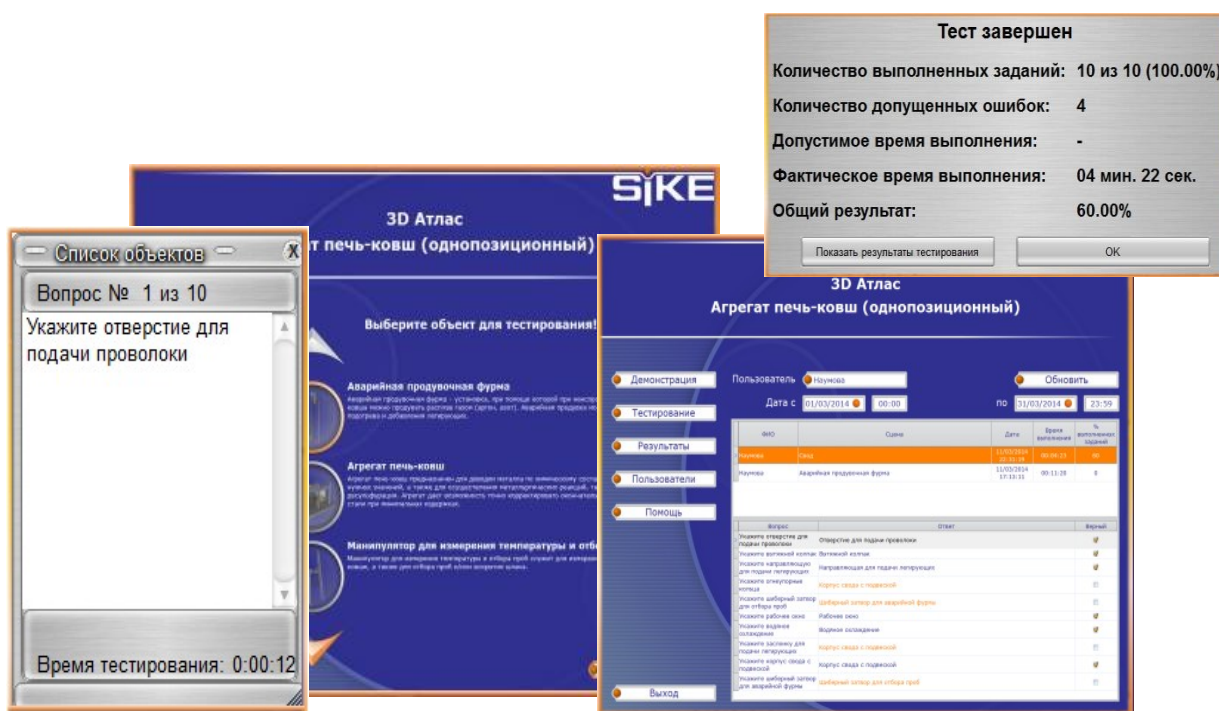


Рисунок 2. Режим тестирования 3D-атласа

3. АО «ИНИУС» – является российским разработчиком компьютерных тренажерных комплексов (КТК), предназначенных для обучения и подготовки оперативного и технологического персонала предприятий химии, нефтехимии, добычи и переработки нефти и газа, других опасных промышленных объектов [3]. Тренажеры АО «ИНИУС» включают в себя разработку моделей технологических процессов (рис 3.) в котором специалисты заказчика могут вносить изменения самостоятельно.

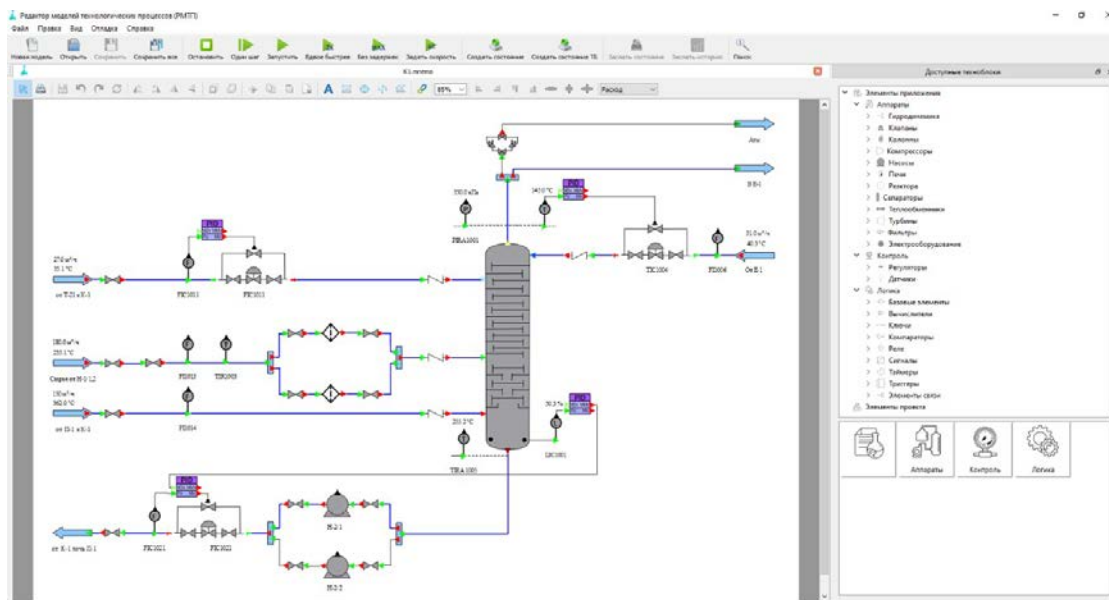


Рисунок 3. Модель технологического процесса

Учебные сценарии (рис. 4), чтобы ознакомить обучаемого с характеристиками системы в различных условиях. Каждый сценарий состоит из базового рабочего случая, профиля нагрузки системы для управления моделированием и последовательности событий, включая отключение генератора, переключение сети и т.д.

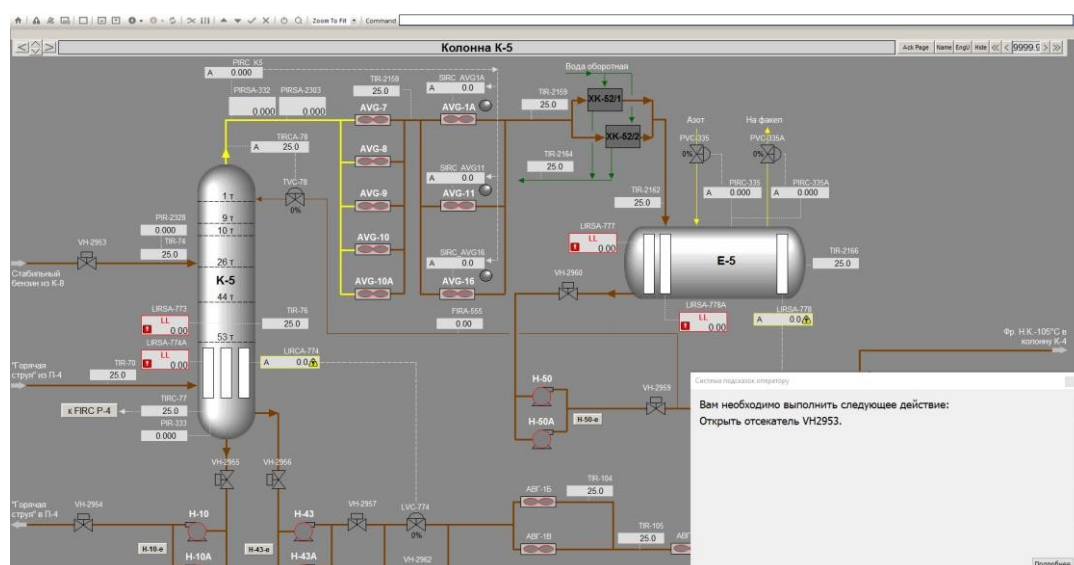


Рисунок 4. Экран автоматизированного рабочего места пользователя

Функционал инструктора (рис. 5). Большинство тренажеров реального времени позволяют инструктору управлять основными функциями тренажера, такими как запуск, стоп, инициализация, обратный отсчет, увеличение времени, отслеживание переменных в реальном времени, вызов аварийных ситуаций.

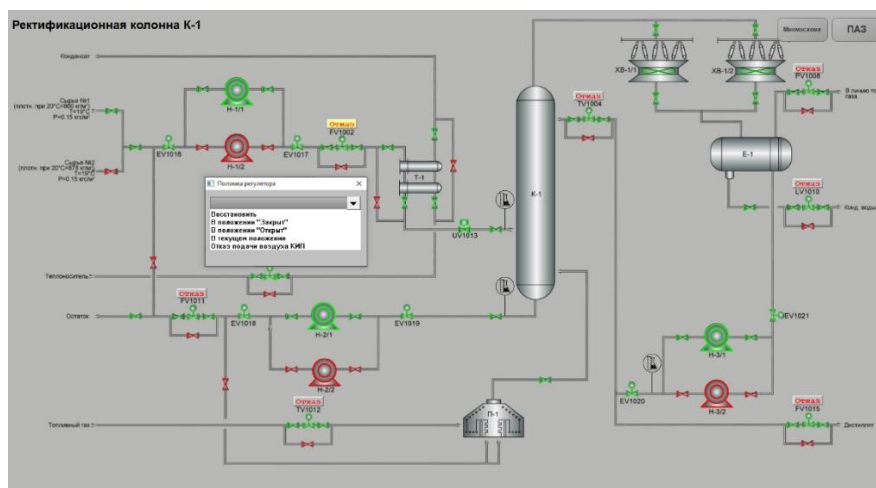


Рисунок 5. Меню инструктора для задания неисправностей на интерактивной схеме

4. АО «ТЭСТ». Цель создания фирмы – обеспечение надежности профессиональной деятельности оперативного, обслуживающего и ремонтного персонала электрических станций и сетевых предприятий электроэнергетической отрасли [4].

В состав компьютерных тренажеров компании АО «ТЭСТ» входит: 1) модель объекта и режим работы, которая воспроизводит все режимы работы оборудования при любых изменениях (рис. 6); 2) модель системы управления, которая позволяет взаимодействовать с объектами станции; 3) модель системы защит, которая проводилась на основе технической документации; 4) модель блокировок; 5) модель аварийной и предупредительной сигнализации.

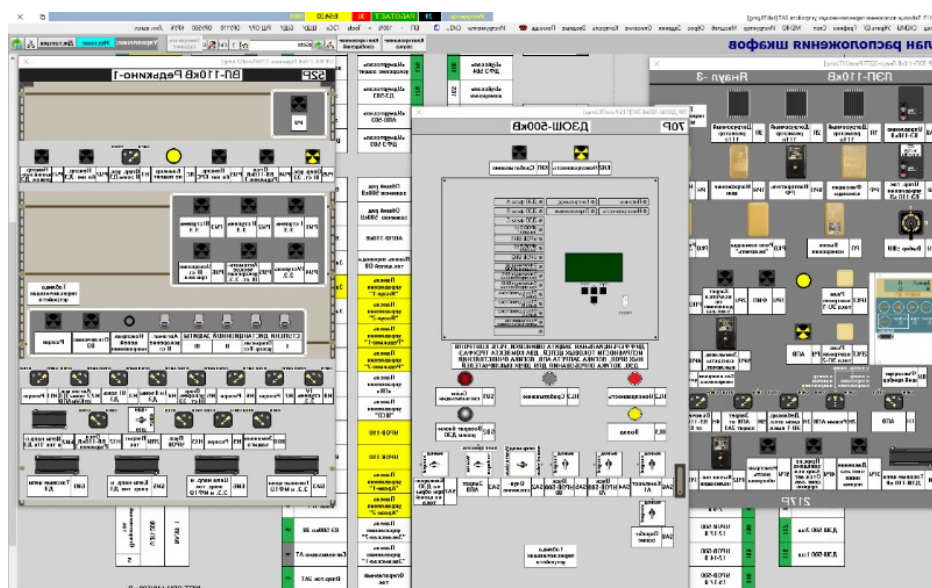


Рисунок 6. Рабочий стол оператора

5.ООО «Т-Софт». Одним из важнейших факторов безопасной и эффективной работы нефтегазовых, нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств является использование высококвалифицированных специалистов, обладающих необходимыми

навыками управления технологическим процессом в любых условиях [5]. Для этих целей компания «Т-Софт» разработала компьютерные обучающие комплексы (рис. 6), которые помогают персоналу отработать практические навыки управления технологическим объектом в условиях, максимально приближенных к реальным.

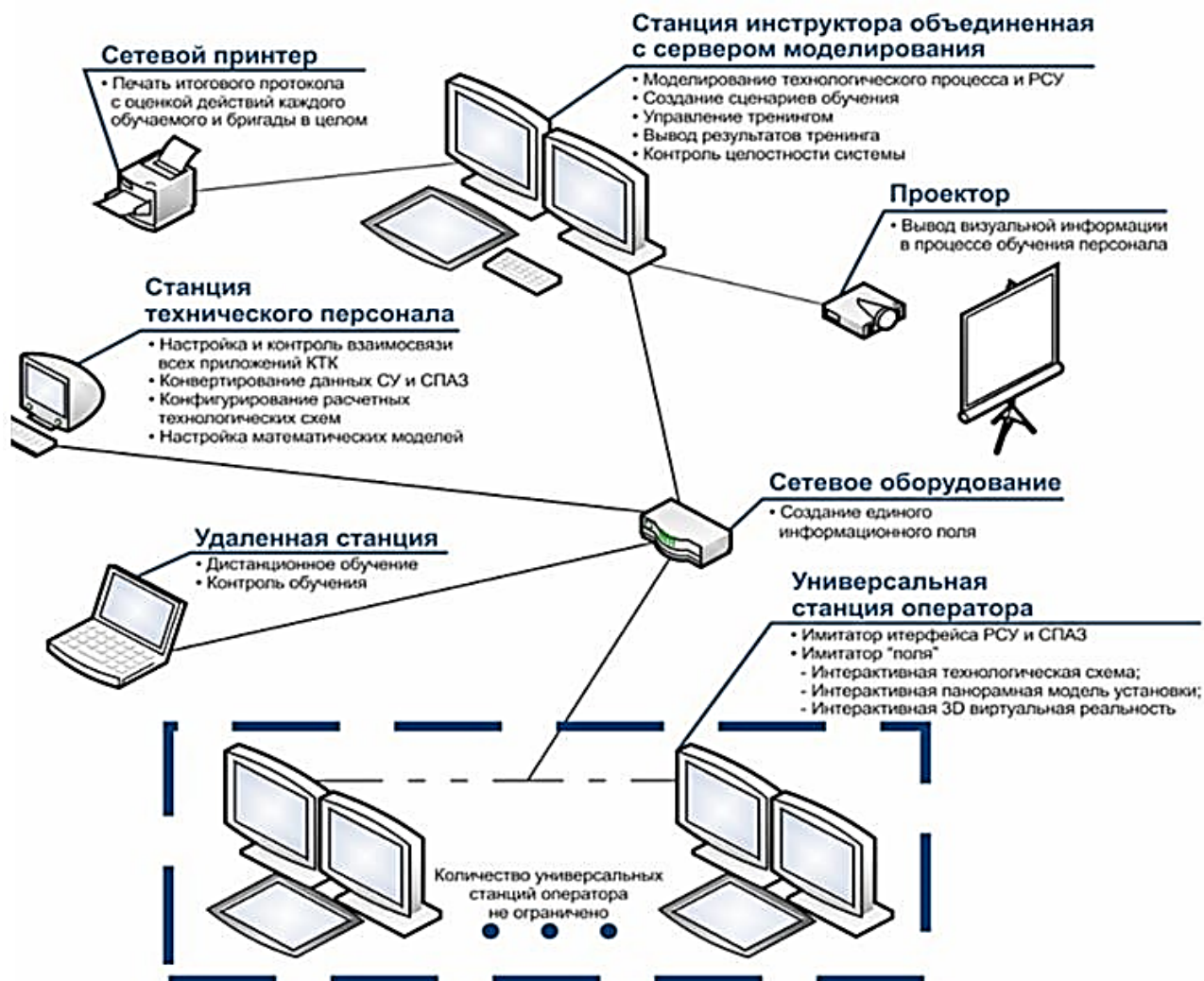


Рисунок 7. Стандартная структурная схема КТК Т-Софт

6. ООО «Тренажеры для электростанций» занимается квалификацией машинистов котлов и турбин. Они состоят из 2-х составляющих: 1) умение взаимодействовать с установленной на блоке АСУ, либо традиционной с блочным щитом, либо современной компьютерной АСУ, включая умение найти нужную информацию, выбрать нужный ключ, повернуть его в нужную сторону и так далее – моторные навыки; 2) умение анализировать создавшуюся на оборудовании ситуацию и принимать правильные управляющие решения – интеллектуальные навыки [6].



Рисунок 8. Стандартная структурная схема КТК Т-Софт

7. Компания ООО «ЭНИКО ТСО». Основное направление деятельности ЭНИКО ТСО – разработка тренажеров различного класса для подготовки персонала сложных технологических объектов (АЭС, ТЭС, ЯЭУ и т. д.) и создание средств автоматизированной разработки таких систем. Разработку тренажеров для подготовки персонала в области атомной энергетики ЭНИКО ТСО осуществляет в соответствии с лицензиями Госатомнадзора РФ на разработку оборудования для объектов атомной энергетики и лицензии ФСБ [7]. Один из компьютерных тренажеров ООО «ЭНИКО ТСО» – WWWER1000 – дает представление о конструкции, характеристиках, основных физических явлениях в реакторе WWWER1000 (рис. 8). Этот тренажер может использоваться как вводный образовательный инструмент, а также как инструмент для разработки курсов ядерной инженерии.

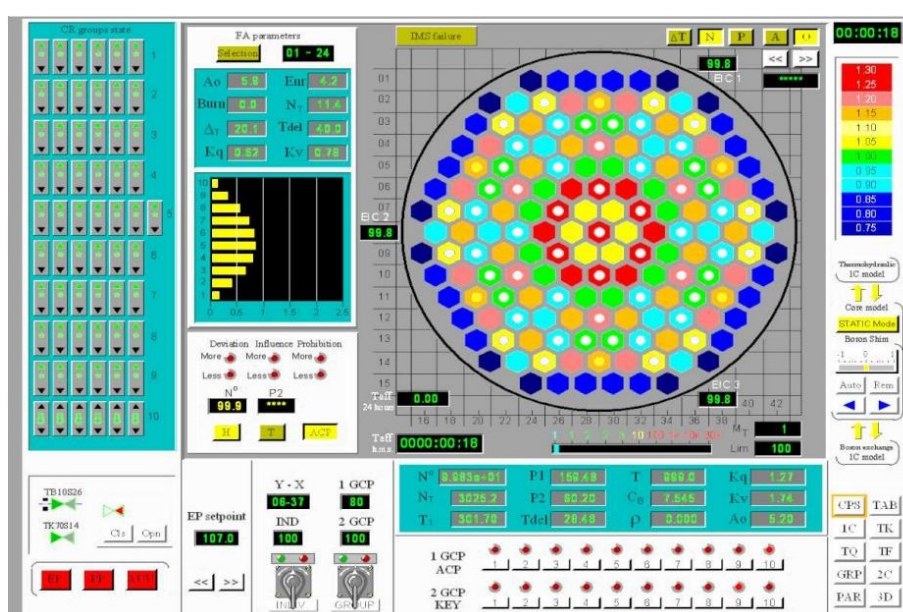


Рисунок 9. Графический интерфейс компьютерного тренажера

8. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна». Университет ориентирован на подготовку специалистов в сфере технологий, дизайна, информатики, химии, и других прикладных наук. Ведущий учебно- и научно-исследовательский центр, в том числе и в разработке компьютерных тренажеров, СПбГУПТД предлагает предприятиям решения, которые повышают эффективность работы и позволяют сократить расходы на обучение персонала.

Компьютерные тренажерные комплексы от СПбГУПТД – это инновационные тренажеры, созданные на основе реальных производственных процессов, которые позволяют персоналу освоить новые технологии и отработать навыки работы. Тренажеры имитируют работу химических, нефтехимических, энергетических производств, позволяя отработать алгоритмы и избежать ошибок (рис. 9).

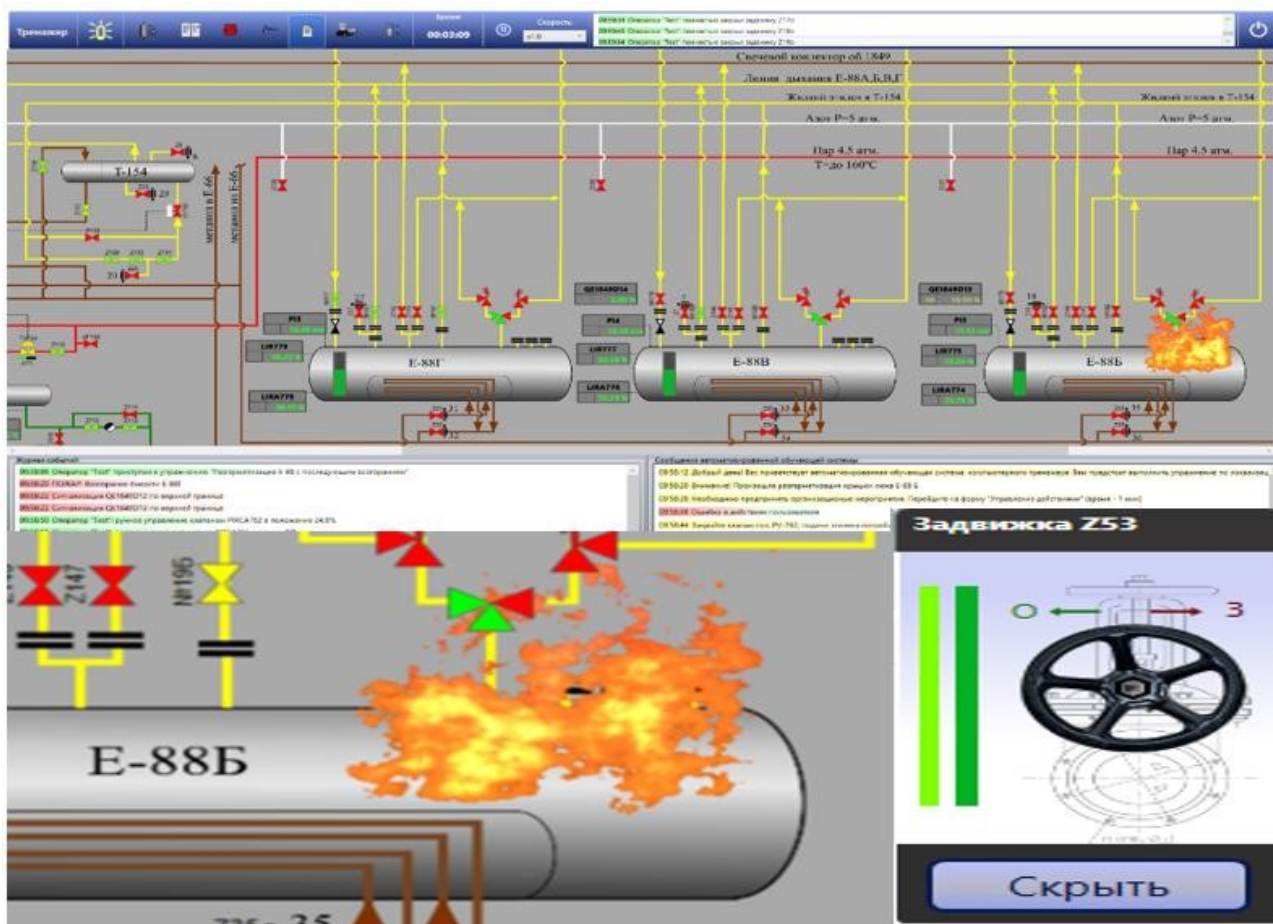


Рисунок 10. Интерфейс компьютерного тренажера СПбГУПТД

КТК – комплекс программных и аппаратных средств, работающие по технологии «клиент-сервер», что обеспечивает эффективное взаимодействие инструктора и оператора. В аппаратную структуру КТК (рис. 10) входит:

- рабочая станция инструктора (совмещена с сервером моделирования);
- несколько рабочих станций оператора;
- локальная вычислительная сеть (ЛВС) [8].



Рисунок 11. Аппаратная структура КТК

На КТК от СПБГУПТД есть возможность не только выбрать требуемую задачу, но и определить, в каком режиме ее нужно решить (рис. 11).

Есть три вида доступных тренингов:

1. Самостоятельный тренинг. Возможность отработать навыки в безопасной среде, получая обратную связь от автоматической обучающей системы (АОС). АОС следит за действиями оператора, сравнивая их с технологическими инструкциями, ПЛА и другими регламентирующими документами. АОС в режиме реального времени посылает сигнал о правильности выполнения действия, или же о допущении ошибки. Регулярная практика в режиме самостоятельного тренинга позволяет улучшить навыки оператора.

2. Групповой тренинг. Цель этого тренинга – обучение двух операторов совместной работе с одной моделью, координации действий и навыков принятия решений. В процессе обучения операторов определяют между собой роли: один – ведущего, второй – вспомогательный.

3. В режиме экзамена. Этот режим отличается от остальных тем, что инструктор сам задает контрольное упражнение с помощью автоматизированного рабочего места (АРМ). Тренажер моделирует ситуации, инструктор наблюдает за действиями оператора и оценивает их, при необходимости задает дополнительные вопросы, чтобы уточнить логику действий. После каждого режима можно просмотреть отчет о списке всех пройденных для выбранного пользователя тренингов в табличном виде с указанием даты и времени начала тренинга, названия упражнения, продолжительности тренинга, отметки, в каком режиме проводился тренинг (в режиме экзамена или в режиме самообучения, с подсказками или без них), а также итоговый рейтинг прохождения упражнения, количество совершенных правильных действий, ошибок.

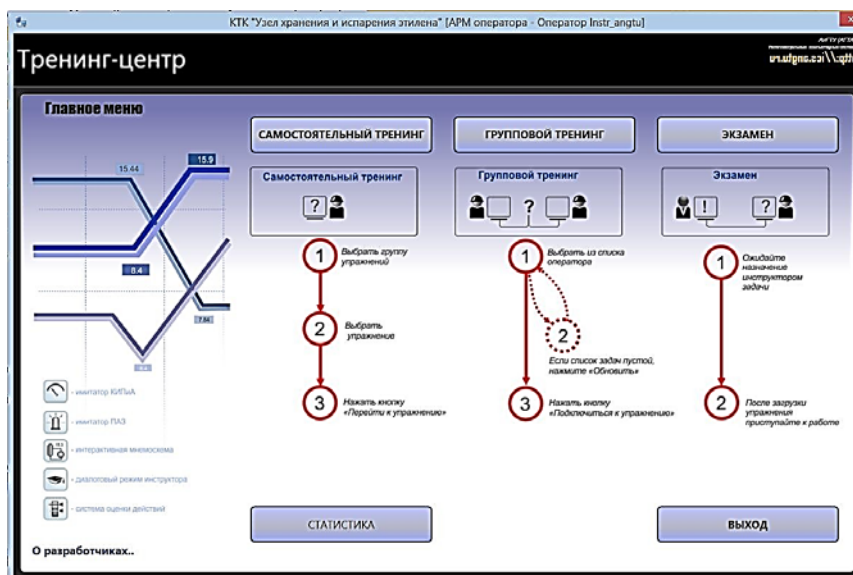


Рисунок 12. Главное меню АРМ оператора

Таким образом, режимы создают комплексную систему обучения, позволяющую операторам освоить необходимые знания и навыки в безопасных условиях. Эти компании предлагают широкий спектр решений, адаптированных к конкретным потребностям различных отраслей промышленности, помогая операторам приобретать практический опыт и совершенствовать свои навыки безопасного и эффективного управления сложными производственными процессами. Недостаточная подготовка операторов является крупнейшим источником производственных потерь. Чем лучше операторы знают процессы, за которые они отвечают, тем меньше вероятность того, что они допустят ошибки.

Список литературы:

1. RTsim — компьютерные тренажеры для нефтегазового сектора [сайт]. URL: <https://rtsim.ru/> (дата обращения: 27.09.2024). – Текст: электронный.
2. Разработка обучающих курсов и симуляторов [сайт]. URL: <https://sike.ru/> (дата обращения: 27.09.2024). – Текст: электронный.
3. АО «ИНИУС» [сайт]. URL: <https://inius.ru/> (дата обращения: 27.09.2024). – Текст: электронный.
4. АО «ТЭСТ». [сайт]. URL: <https://testenergo.ru/> (дата обращения: 27.09.2024). – Текст: электронный.
5. ООО «Т-Софт». [сайт]. URL: <https://www.t-soft.ru/> (дата обращения: 27.09.2024). – Текст: электронный.
6. ООО «Тренажеры для электростанций». [сайт]. URL: <https://www.fpps.ru/> (дата обращения: 27.09.2024). – Текст: электронный.
7. Компания ООО «ЭНИКО ТСО». [сайт]. URL: <https://www.eniko.ru/> (дата обращения: 27.09.2024). – Текст: электронный.
8. Кривов, М. В. Применение компьютерного тренинга в корпоративном обучении / М. В. Кривов, Н. С. Благодарный // Образовательные технологии и общество. – 2019. – Т. 22, № 1. – С. 3-10. – EDN VVJBGQ.

© Борко В. В., 2024

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА И ЗАЩИТА СЕТИ
С ПОМОЩЬЮ АВТОМАТИЗАЦИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ**

студент **Журавлев Тимур Игоревич**,
науч. руководитель: преподаватель **Шафикова Алсу Ильсировна**,
Лениногорский филиал Казанского национального исследовательского
технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ
г. Лениногорск, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматривается распределение электричества на предприятии и защита сети от коротких замыканий с помощью релейной защиты; делается расчет затрат электроэнергии и релейной защиты от короткого замыкания; представляется составленная схема подключения распределительного устройства; объясняется полезность внедрения цифровых аппаратов контроля электросети.

Ключевые слова: автоматизация систем управления, релейная защита, перенапряжение, короткое замыкание, система резервного питания, система мониторинга.

**DISTRIBUTION OF ELECTRICITY AND PROTECTION OF THE POWER
GRID THROUGH AUTOMATION OF CONTROL SYSTEMS
IN THE INDUSTRIAL ENTERPRISE**

Student **Zhuravlev Timur Igorevich**,
Academic Advisor: Teacher **Shafikova Alsu Ilsiroyva**,
Leninogorsk branch of Kazan National Research Technical University named
after A.N. Tupolev-KAI
Leninogorsk, Russian Federation

Abstract. The article examines the distribution of electricity at the enterprise and protection of the power grid from short circuits using relay protection; calculates the cost of electricity and relay protection against short circuit; presents a schematic diagram of the switchgear; explains the usefulness of the introduction of digital devices for monitoring the power grid.

Keywords: automation of control systems, relay protection, overvoltage, short circuit, backup power supply system, monitoring system.

Современные промышленные предприятия используют широкий выбор электрооборудования, начиная от станков с числовым программным управлением (ЧПУ) и заканчивая сложными роботизированными системами. Каждое из этих устройств требует определенного количества электроэнергии. Неправильное распределение электричества может привести к сбоям в работе

оборудования, увеличить расходы на энергию и даже привести к поломке дорогостоящих машин.

1. Автоматизация систем управления.

Автоматизация систем управления электроэнергией в машиностроительных цехах включает в себя использование программируемых логических контроллеров (PLC), SCADA-систем (SCADA – диспетчерское управление и сбор данных) и специализированных программных комплексов. Эти системы позволяют учитывать потребление энергии каждым устройством, регулировать нагрузку на сеть и предотвращать перегрузки.

Основные элементы автоматизации систем управления электроэнергией:

1) Измерительные приборы: датчики тока, напряжения и мощности, которые передают данные о текущем состоянии сети.

2) Программируемые логические контроллеры (PLC), управляющие работой электрооборудования на основании полученных данных.

3) SCADA-система для визуализации данных, позволяет оператору управлять процессом дистанционно. Это программное обеспечение, нужное для разработки и обеспечения работы системы, обработки, сбора, хранения информации об объекте или его управлении.

4) Системы резервного питания: включают источники бесперебойного питания и генераторы, которые обеспечивают бесперебойную работу оборудования в случае перебоев с электроснабжением.

2. Расчет распределения электричества.

Для примера рассмотрим процесс производства деталей на токарном станке с ЧПУ. Токарный станок потребляет различное количество энергии в зависимости от выполняемой операции: резка, сверление, шлифование и т. д. Рассчитаем, сколько энергии потребуется на каждом этапе производства.

Этап 1. Резка

На этом этапе станок работает с максимальной нагрузкой, т. к. необходимо удалить большой объем материала. Мощность двигателя станка составляет 15 кВт, а продолжительность резки – 30 минут.

Расчет энергии:

$$E=P \cdot t, \quad (1)$$

где E – энергия (кВт·ч), P – мощность (кВт), t – время (час);

$$E_p=15 \cdot 0.5=7.5 \text{ кВт}.$$

Этап 2. Сверление

Сверление требует меньше энергии, чем резка. Пусть мощность двигателя на этом этапе составляет 10 кВт, а время сверления – 20 минут.

$$E_c=10 \cdot 20/60=3.33$$

Этап 3. Шлифование

Шлифование выполняется с меньшей мощностью, но дольше по времени. Пусть мощность равна 5 кВт, а время шлифования – 40 минут.

$$E_{ш}=5 \cdot 40/60=3.33 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Суммарный расход энергии на весь процесс составит:

$$E = E_p + E_c + E_{ш}, \quad (2)$$

$$E = 7.5 + 3.33 + 3.33 = 14.16 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Таким образом, для данного процесса производства одной детали потребуется примерно 14.16 кВт·ч электроэнергии. А таких процессов может быть запущено 20 за раз на предприятии.

Меры по предотвращению перенапряжений и остановок процесса

Чтобы избежать перенапряжений в сети и обеспечить непрерывность производственного процесса, необходимо принять следующие меры:

1) Мониторинг нагрузки. Автоматизированные системы управления постоянно отслеживают текущую нагрузку на сеть и предупреждают оператора о приближающемся превышении допустимых значений.

2) Регулирование мощности. В случае превышения допустимой нагрузки система может временно отключить менее приоритетные устройства или перевести их в режим пониженного энергопотребления.

3) Резервное питание. Установить источники бесперебойного питания (ИБП) и генераторы, которые обеспечат работу критически важных устройств в случае отключения основного источника электроэнергии. Такие источники позволят запланированно остановить рабочий процесс до устранения неполадок.

3. Защита от коротких замыканий с релейной защитой

Защита от короткого замыкания (КЗ) является важной частью любой электрической системы, особенно в машиностроении, где короткое замыкание может привести к серьезным повреждениям оборудования и даже к пожарам. Релейная защита — это одна из самых распространенных и эффективных систем защиты от КЗ. Она основана на использовании электромагнитных реле, которые реагируют на изменение электрических параметров цепи и отключают поврежденный участок.

Принцип работы релейной защиты

Релейная защита состоит из следующих основных компонентов:

1) Трансформаторы тока (ТА) и трансформаторы напряжения (ТН), преобразующие высокие токи и напряжения в уровни, подходящие для работы реле.

2) Электромагнитные реле, реагирующие на изменения тока или напряжения и срабатывающие при достижении определенных пороговых значений.

3) Логические схемы, координирующие работу реле и определяющие последовательность действий при возникновении КЗ.

4) Выключатели, отключающие поврежденный участок цепи.

Принцип работы релейной защиты заключается в следующем:

Трансформатор тока (ТА) измеряет ток в защищаемом участке цепи. Если ток превышает установленное пороговое значение, соответствующее короткому замыканию, реле срабатывает. Логическая схема активирует выключатель, который отключает поврежденный участок от остальной сети. Это обезопасит

остальной участок сети, но может привести к простою в работе, если не будет введен резерв.

Был составлен расчет для релейной защиты от короткого замыкания в трехфазной сети напряжением 380 В.

Номинальный ток в цепи составляет $I_n = 100$ А, а ток короткого замыкания – 2000 А. Требуется реле с коэффициентом чувствительности $K_{\text{ч}} = 1.2$, что означает, что реле должно срабатывать при токе, превышающем номинальный на 20 %.

Расчет порогового значения тока для реле:

$$\begin{aligned} I_p &= I_n \cdot K_{\text{ч}}, \\ I_p &= 100 \cdot 1.2 = 120. \end{aligned} \quad (3)$$

Теперь расчет времени отключения цепи. Для этого было взято реле со временем срабатывания $T_p = 50$ мс и временем отключения $T_v = 20$ мс.

Рассчитываем полное время отключения цепи:

$$\begin{aligned} T &= T_p + T_v, \\ T_p &= 50 \text{ мс}, \\ T_v &= 20 \text{ мс}, \\ T &= 50 + 20 = 70 \text{ мс}. \end{aligned} \quad (4)$$

Полное время отключения поврежденного участка цепи составит 70 миллисекунд.

На рисунке 1 разработана схема подключения распределительного устройства. На ней электричество, поступаая по фазам А, В, С от распределительного устройства – трансформатора (ТМ), питает три основные и одну резервную линию. К каждой фазе подключено по одному трансформатору тока (ТА) и амперметру (РА) для измерения тока, все они подключены к счетчику электроэнергии. Для измерения напряжения, параллельно линиям, подключен вольтметр (РВ).

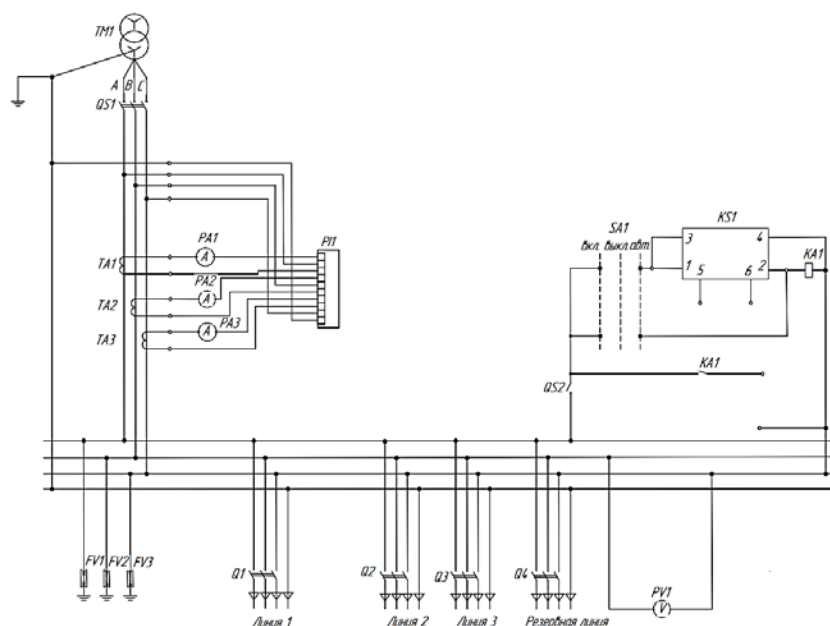


Рисунок 1. Схема подключения распределительного устройства

Линии идут на подключение двигателей станков, конвейеров и прочего оборудования.

Схема коммутируется рубильниками (QS), автоматическими выключателями (Q), а также переключателем (SA), который имеет три положения: включено, выключено и автоматическое выключение.

За защиту схемы отвечают:

- разрядники (FV), защищающие сеть от перенапряжения при ударе молнии (при ударе ток пройдет по пути наименьшего сопротивления – линии разрядников – и уйдет в землю;
- реле тока (KA), чьи контакты замкнуты при подключенной сети, но разомкнутся, когда значение тока превысит допустимое, оно защищает схему управления от короткого замыкания;
- реле контроля напряжения (KS) – это цифровой аппарат, который передает состояние сети оператору дистанционно и может быть запрограммировано.

Здесь не просто так было установлено реле контроля напряжения, хотя допускалась установка только одного реле тока. Реле тока – механический аппарат, в то время как реле контроля напряжения – цифровой. Подобные аппараты и составляют автоматизацию систем управления, обеспечивающие связанную цепочку датчиков, контроллеров, счетчиков и прочих аппаратов, поддающихся программированию и связанных с оператором для полного контроля электросети предприятия.

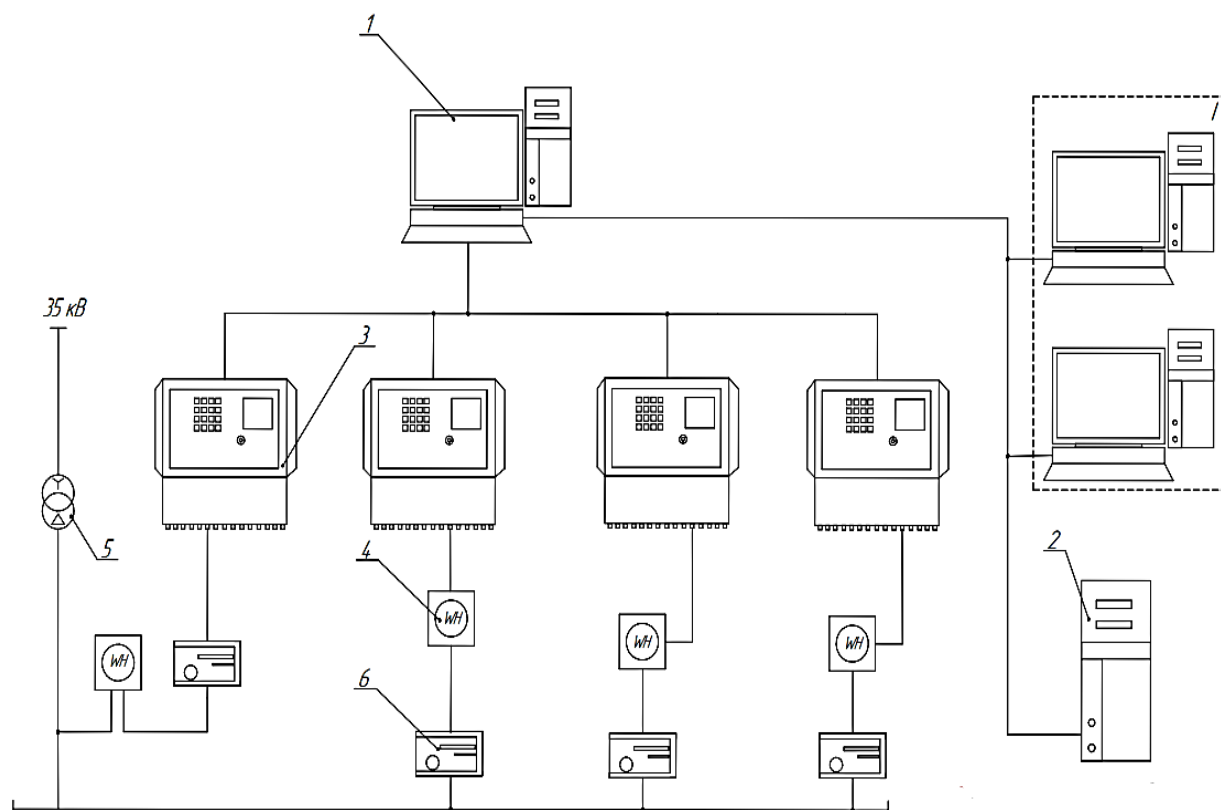


Рисунок 2. Система мониторинга и диагностики оборудования

Большинство предприятий не оснащено современными цифровыми аппаратами автоматизации систем управления, это может повлечь за собой убытки из-за выхода из строя электросети и простоя в работе предприятия.

Для обеспечения бесперебойной работы предприятия, даже после случившегося короткого замыкания, необходимо ввести резервную линию в работу. На рисунке 2 составлена схема системы мониторинга и диагностики оборудования предприятия. Она нужна для сбора, хранения, обработки информации и осуществления различных действий при тех или иных ситуациях, с ее помощью будет осуществляться перевод на резервную линию автоматически после появления неисправности на основной линии.

Датчики системы контроля (6) и счетчики электроэнергии (4) собирают информацию о состоянии электросети, питаемой трансформатором (5), после чего информацию с них считывают модули автоматического ввода резерва (МАВР) (3) и отправляют информацию о состоянии электросети компьютеру с устройством интеллектуальной системы учета (1).

В зависимости от полученных данных срабатывают протоколы дальнейших действий, это может быть как перевод на резервную линию, так и продолжение работы в стабильном режиме. Полученные данные отправляются на хранение на сервер (2), а также могут быть изучены операторами через компьютеры, которые соединены локальной сетью (I) с сервером и устройством интеллектуальной системы учета. Такая новая организация передачи информации значительно ускорит процесс исправления неполадок, а также способствует предотвращению их в будущем.

На рисунке 3 составлена схема подключения линий с возможным переключением на резервную линию. Имеется две линии электропередачи, приходящих от повышающей станции. На каждой есть:

- разъединители (QS) для создания видимого разрыва линии;
- ограничители перенапряжения (FV) и предохранители (FU) для защиты линии и оборудования от перенапряжений;
- понижающие трансформаторы (Т) для понижения напряжения с 10 кВ до допустимых для работы предприятия 0,4 кВ;
- трансформаторы тока (ТА) и электросчетчики (Wh) для измерения у учета электричества;
- выключатели QF.

Трансформаторная линия через специальную шину делится на несколько линий, идущих к потребителю, одна из которых рабочая, другая резервная. Если по какой-то причине одна трансформаторная линия выходит из строя, то с помощью выключателя QF3, на специальной перемычке между линиями, питание будет поступать от второй трансформаторной линии. Также если из строя выходит линия потребителя, то после оповещения системы мониторинга предприятие автоматически переключится на резервную линию.

Работа предприятия на резервной линии будет продолжаться до восстановления основной линии. Продолжение работы предприятия на резервной линии может уменьшить напряжение основного потребителя.

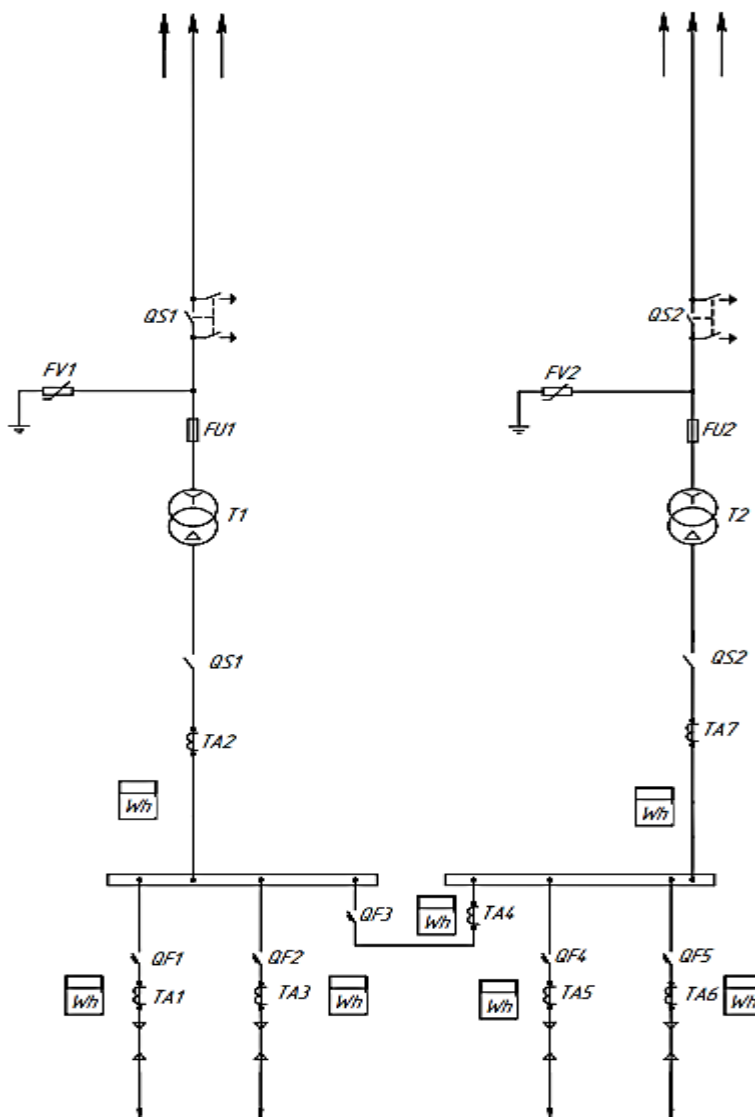


Рисунок 3. Схема подключения линий

В заключение хотелось отметить, что релейная защита от коротких замыканий является эффективным средством предотвращения повреждений оборудования и обеспечения безопасности на предприятиях. Правильный расчет параметров реле и координация работы всех компонентов системы позволяют оперативно обнаруживать и устранять короткие замыкания, уменьшая риски и убытки.

Распределение электричества с помощью автоматизации систем управления в машиностроении позволяет оптимизировать энергопотребление, предотвращать аварии и обеспечивать бесперебойную работу оборудования. Правильный расчет потребностей в энергии на каждом этапе производства и принятие мер по предотвращению перегрузок и остановок процессов помогут повысить эффективность и снизить затраты на электроэнергию.

Список литературы:

1. Дулицкий, Г. А. Электробезопасность при эксплуатации электроустановок напряжением до 1000 В: Справочник / Г. А. Дулицкий, А. П. Комаревцев. – Москва: Воениздат, 2013. – 128 с. — Текст: электронный;
2. Кацман, М. М. Электрические машины: учеб. для студ. учреждений сред. проф. образования / М. М. Кацман. – изд. 12-е, стер. – Москва: Академия, 2013. – 496 с. – Текст: электронный.
3. Кацман, М. М. Сборник задач по электрическим машинам: учеб. для студ. учреждений сред. проф. образования / М. М. Кацман. – Москва: Академия, 2003. – 160 с. – Текст: электронный.
4. Калиничева, О. А. Основы электробезопасности в электроэнергетике: учебное пособие / О. А. Калиничева. – Архангельск: «С(А)ФУ»: 2015. – 126 с.– Текст: электронный.
5. Шишов, О. В. Современные средства АСУ ТП / О. В. Шишов. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. – 456 с. – Текст: электронный.
6. Федоров, Ю. Н. Справочник инженера по АСУТП: проектирование и разработка / Ю.Н. Федоров. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. – 926 с. –Текст: электронный.

© Журавлев Т. И., 2024

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕСЩЕТОЧНОЙ ДИОДНОЙ СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ

аспирант **Рождественский Всеволод Дмитриевич**,
профессор, доктор техн. наук **Сафронов Алексей Анатольевич**,
Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассматривается методика математического моделирования диодной бесщеточной системы возбуждения для использования в общей модели турбоагрегата для уточненного расчета переходных процессов при возмущениях в электрической сети и учета взаимодействия электромагнитных моментов генератора и возбудителя.

Ключевые слова: математическое моделирование, модель турбоагрегата, электрическая сеть, электромагнитные моменты генератора.

MATHEMATICAL MODELING OF A BRUSHLESS DIODE EXCITATION SYSTEM

Postgraduate Student **Rozhdestvensky Vsevolod Dmitrievich**,
Professor, Doctor in Technology **Safronov Alexey Anatolyevich**,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. The paper discusses the methodology of mathematical modeling of a diode brushless excitation system for use in a general model of a turbo-unit for a more accurate calculation of transient processes during disturbances in the electrical network and taking into account the interaction of electromagnetic moments of the generator and the exciter.

Keywords: mathematical modeling, turbo-unit model, electrical network, electromagnetic moments of the generator.

Создание и внедрение в энергосистемы синхронных машин большой мощности в значительной мере связано с развитием и усовершенствованием их возбудительных систем. Широкое применение синхронных генераторов с повышенным использованием активных материалов и за счет этого с ухудшенными электромеханическими параметрами и сниженными показателями устойчивости стало возможным именно благодаря прогрессу в области систем возбуждения [1, 2].

Разработка комплексной математической модели турбоагрегата требует включения в ее состав модели системы возбуждения [4, 5].

В отличие от тиристорной системы возбуждения, в случае диодной системы вспомогательный генератор выполняется обращенным, и его якорная обмотка питает вращающийся неуправляемый диодный преобразователь, выходное напряжение которого является напряжением возбуждения основного генератора, подключенного к электрической сети. Это техническое решение позволило исключить из цепи возбуждения наиболее ненадежный элемент – контактные кольца, и тем самым существенно повысить надежность системы в целом. Однако управляющий сигнал автоматического регулятора возбуждения (как правило, АРВ-СД) воздействует в этом случае на тиристорный преобразователь, подключенный к зажимам обмотки возбуждения возбудителя. Обмотка возбуждения возбудителя, как правило, обладает значительной постоянной времени (на уровне 3–5 секунд). Это снижает эффективность регулирования и требует использования специальных мероприятий по обеспечению быстродействия системы для реализации достаточных показателей качества протекания переходных процессов.

Уравнения переходных процессов обращенного синхронного генератора, работающего на неуправляемый преобразователь, записываются без учета быстропереходных процессов статорных цепей [3] с использованием сверхпереходных ЭДС синхронной машины. При записи уравнений (1) используются общепринятые обозначения [3], дифференциальными уравнениями описываются только процессы в обмотке возбуждения и демпферных контурах обращенного синхронного генератора.

$$\begin{aligned}
 E''_{qb} &= (x''_d - x_s) \Psi_{fb} / x_{sf} + (x''_d - x_s) \Psi_{ldb} / x_{sld}, \\
 E''_{db} &= (x''_q - x_s) \Psi_{lqb} / x_{slq}, \\
 \frac{1}{\omega_c} \frac{d\Psi_{fb}}{dt} &= u_{fb} - r_{fb} i_{fb}, \\
 \frac{1}{\omega_c} \frac{d\Psi_{ldb}}{dt} &= -r_{ldb} i_{ldb}, \\
 \frac{1}{\omega_c} \frac{d\Psi_{lqb}}{dt} &= -r_{lqb} i_{lqb}, \\
 \Psi_{abd} &= (x''_{db} - x_{sb}) i_{db} + E''_{qb}, \\
 \Psi_{aqd} &= (x''_{qb} - x_{sb}) i_{qb} + E''_{db}, \\
 \Psi_{fb} &= x_{sf} i_{fb} + \Psi_{adb}, \\
 \Psi_{ldb} &= x_{sld} i_{ldb} + \Psi_{adb}, \\
 \Psi_{lqb} &= x_{slq} i_{lqb} + \Psi_{aqb},
 \end{aligned} \tag{1}$$

В случае, если в качестве параметров возбудителя заданы постоянные времени обмотки возбудителя и демпферных контуров, то переход к параметрам, использованным в (1), выполняется по формулам:

$$\begin{aligned}
r_f &= x_f / (\omega_c T_{d0}), & r_{ld} &= x_{ld} / (\omega_c T_{rd}) \\
x_f &= x_{ad} + x_{sf} & r_{lq} &= x_{lq} / (\omega_c T_{rq}) \\
x_{ld} &= x_{ad} + x_{sld} & x_{lq} &= x_{aq} + x_{slq} \\
x'' &= \frac{x_d'' + x_q''}{2}
\end{aligned}$$

Если заданы постоянные времени T_{d0}'' (при разомкнутой обмотке якоря возбuditеля), то активное сопротивление эквивалентного демпферного контура определяется по следующей формуле:

$$r_{ld} = (x_{sld} + 1 / (1 / x_{ad} + 1 / x_{sf})) / (\omega_c T_{d0}'').$$

Выражения, определяющие d , jq -составляющие тока статора и эквивалентные активной и реактивной проводимости неуправляемого преобразователя определяются выражениями, где γ – угол коммутации преобразователя:

$$\begin{aligned}
I_{db} &= b(\gamma)E_{qb}'' + g(\gamma)E_{db}'', \\
I_{qb} &= g(\gamma) \cdot E_{qb}'' - b(\gamma) \cdot E_{db}'', \\
g(\gamma) &= 1,5 \sin(\gamma / \pi) x_\gamma, \\
b(\gamma) &= 1,5 (\sin \gamma \cos \gamma - \gamma) / \pi x_\gamma.
\end{aligned} \tag{2}$$

Регулирование происходит только за счет изменения ЭДС $E_\gamma'' = \sqrt{E_{db}''^2 + E_{qb}''^2}$, $x_\gamma = x_d''$. Величина напряжения на выходе преобразователя в режиме холостого хода возбuditеля в относительных единицах определяется следующим выражением:

$$U_{fx} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} E_\gamma'' \frac{U_{\delta\delta}}{U_{\delta f}}, \tag{3}$$

где E_γ'' – сверхпереходная ЭДС синхронного возбuditеля в его относительных единицах; $U_{\delta\delta}$ – базисное напряжение якоря возбuditеля; $U_{\delta f}$ – базисное напряжение контура возбуждения генератора в системе “ x_{ad} ”.

Эквивалентное сопротивление возбuditеля в системе “ x_{ad} ”:

$$r = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} x_\gamma \frac{Z_{\delta\delta}}{Z_{\delta f}}, \tag{4}$$

где Z_{sb} – базисное сопротивление якоря возбuditеля, $Z_{\delta f}$ – базисное сопротивление контура возбуждения в системе “ x_{ad} ”.

Внешняя характеристика возбuditеля определяется выражением:

$$U_{f\Gamma} = U_{fx} - r_3 I_{f\Gamma}, \tag{5}$$

где $I_{f\Gamma}$ и $U_{f\Gamma}$ – ток и напряжение возбуждения генератора.

Угол коммутации преобразователя:

$$\gamma = \arccos \left(\frac{2U_{f\Gamma} - U_{fx}}{U_{fx}} \right), \quad (6)$$

Напряжение регулирования тиристорного преобразователя (УВ на рис. 1) определяется исходя из условия обеспечения номинального напряжения возбуждения возбудителя:

$$U_p = \cos(\alpha), \quad (7)$$

где α – угол регулирования вентилей тиристорного преобразователя; U_p – напряжение, пропорциональное выходному сигналу автоматического регулятора возбуждения.

Структурная схема диодного бесщеточного возбудителя представлена на рис. 1.

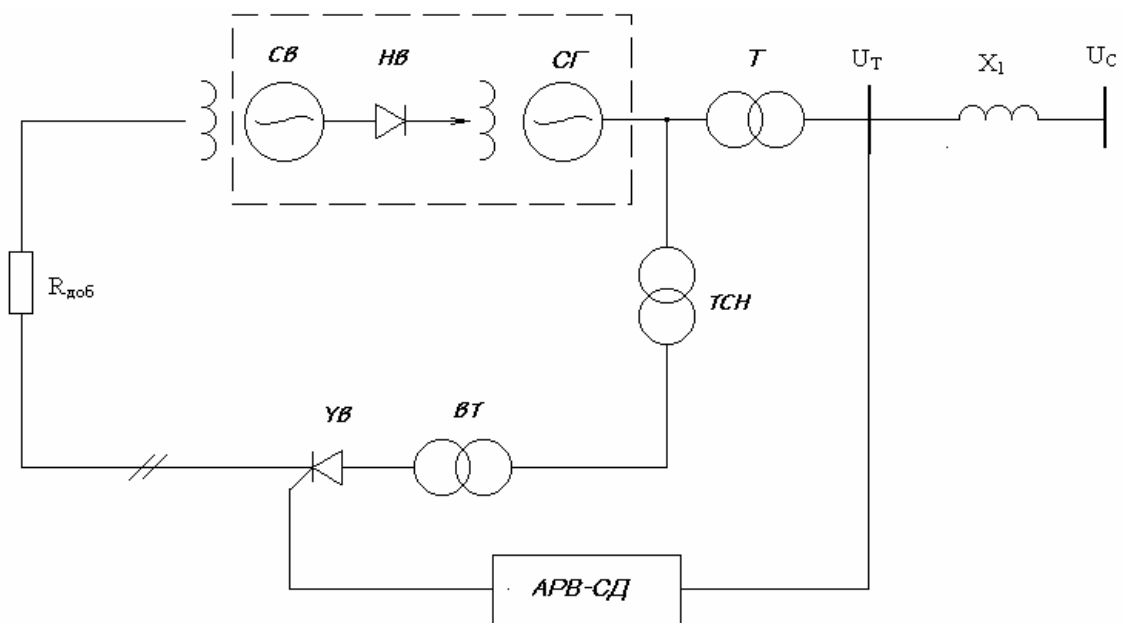


Рисунок 1. Структурная схема диодной бесщеточной системы возбуждения турбогенератора

На рис. 1 обозначены: СВ – синхронный возбудитель, НВ – неуправляемый выпрямитель, СГ – синхронный генератор, Т – повышающий трансформатор, ТСН – трансформатор собственных нужд, ВТ – выпрямительный трансформатор, УВ – управляемый (тиристорный) выпрямитель, АРВ-СД – автоматический регулятор возбуждения сильного действия, $R_{доб}$ – добавочное сопротивление, включаемое последовательно с обмоткой возбуждения синхронного возбудителя для повышения быстродействия системы за счет снижения эквивалентной постоянной времени обмотки возбуждения возбудителя.

Выводы

Разработана методика математического моделирования диодной бесщеточной системы возбуждения для использования в общей модели турбоагрегата для уточненного расчета переходных процессов при возмущениях

в электрической сети и учета взаимодействия электромагнитных моментов генератора и возбуждателя.

Список литературы:

1. Бесщеточные системы возбуждения мощных синхронных машин: сб. науч. тр. – Л.: ВНИИЭлектромаш, 1986. – 172 с. – Текст: непосредственный.
2. Глебов, И. А. Научные основы проектирования систем возбуждения мощных синхронных машин / И. А. Глебов. – Л.: Наука, 1988. – 332 с. – Текст: непосредственный.
3. Важнов, А. И. Переходные процессы в машинах переменного тока / А. И. Важнов. – Л.: Энергия, 1980. – 170 с. – Текст: непосредственный.
4. Беляев, А. Н. Подавление слабодемпфированных крутильных колебаний в автономных энергосистемах / А. Н. Беляев и др. // Электрические станции – № 12. – 2017 – С. 26-33. – Текст: непосредственный.
5. Грабовский, В. П. Крутильные колебания и повреждаемость валов роторов турбогенераторов, оснащенных автоматическими регуляторами возбуждения / В. П. Грабовский // Известия высших учебных заведений. – Электромеханика. – 2020. – № 1. – С. 77-84. – Текст: непосредственный.

© Рождественский В. Д., Сафронов А. А., 2024

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ ЗА РАБОТОЙ ОПЕРАТОРА
ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РУЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ НА ПУЛЬТЕ
УПРАВЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО
ИНТЕЛЛЕКТА**

канд. техн. наук, доцент **Рожков Владимир Иванович**,
старший преподаватель **Игнатьева Татьяна Юрьевна**,
Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассматривается подход к разработке методики контроля за работой оператора при выполнении ручных операций на пульте управления с применением методов искусственного интеллекта. Представленное в статье описание методики является частью проекта по созданию программы контроля за работой человека-оператора, осуществляющего деятельность по управлению технологическими процессами с помощью пультов управления, содержащих как информационное, так и моторное поля. Дальнейшая реализация данного проекта предполагает создание цифровой модели (цифрового двойника) пульта, на котором, с использованием методов ИИ, будут производиться тренировки операторов начиная с начального уровня подготовки и до уровня специалиста, обеспечивающего безаварийную эксплуатацию оборудования. Данная цифровая модель может быть применена в различных областях промышленности.

Ключевые слова: пульт управления, алгоритм деятельности, искусственный интеллект, видеофиксация, цифровой двойник.

**DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR MONITORING
THE OPERATOR'S WORK WHEN PERFORMING MANUAL
OPERATIONS ON THE CONTROL PANEL USING ARTIFICIAL
INTELLIGENCE**

PhD in Technology, Associate Professor **Rozhkov Vladimir Ivanovich**,
Senior Lecturer **Ignatieva Tatyana Yuryevna**,
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Higher School of Technology and Energy,
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. The article considers an approach to the development of a methodology for monitoring the operator's work when performing manual operations on the control panel using artificial intelligence methods. The description of the methodology presented in the article is part of a project to create a program for

monitoring the work of a human operator engaged in process control activities using control panels containing both information and motor fields. Further implementation of this project involves the creation of a digital model (digital twin) of the remote control, on which, using AI methods, operator training will be carried out starting from the initial training level and up to the level of a specialist who ensures trouble-free operation of equipment and can be applied in various fields of industry.

Keywords: control panel, activity algorithm, artificial intelligence, video recording, digital twin.

В статье [1] рассматривается подход для решения задачи осуществления контроля за работой человека-оператора с использованием системы видеофиксации и ИИ. Для решения этой задачи было предложено использовать следующую методику проведения натурального эксперимента:

1. Для проведения эксперимента выбран лабораторный стенд, представляющий пульт управления с подключенным к нему оборудованием, с помощью которого осуществлялось выполнение по заданной программе практического задания, направленного на изучение определенного технологического процесса (рисунок 1).



Рисунок 1. Внешний вид стенда

2. На основе функциональной структурной теории оценки качества алгоритмов деятельности (АД) человека-оператора в человеко-машинной

системе (ЧМС) [2] разработан алгоритм его работы и составлена таблица для фиксации временных параметров АД (таблица 1).

Таблица 1. Алгоритм выполнения ПЗ на стенде

Время, сек	Работа № 6	1 оператор,	2 оператор,	3 оператор,
	Порядок выполнения работы	старший	компьютер	стенд
	Команды	Действия		
00.06.24	Включить тумблер «Электропитание стенда»	PO101		PO301, KO301
00.13.06	Запустить программу «АУ-РДУЖ измерения» на компьютере	PO102	PO21 KO21	
00.18.55	Выбрать «Режим работы» → «Регистрация и аналоговое управление».	PO103	PO22 PO23	
00.24.72	В диалоговом окне программы выбрать «Динамический режим измерений»,	PO104	PO24 KO24	
00.31.23	Установить шаг сбора данных 0,4 с.	PO105	PO25 KO25	
00.40.67	В качестве отображаемых параметров выбрать «Зависимость расхода по диафрагме от времени»	PO106	PO26 KO26	
00.48.27	На стенде установить переключатель «Управление пропорциональной задвижкой» в положение «ручное»	PO107		PO302, KO302
00.55.12	Установить переключатель «Управление пропорциональным клапаном» в положение «ручное»	PO108		PO303 KO303
01.01.74	Установить переключатель «Управление преобразователем частоты» в положение «ручное»	PO109		PO304 KO304
01.09.19	Установить переключатель «Управление дискретной задвижкой» в положение «закрыто»	PO110		PO305 KO305
01.18.46	Установить потенциометром «Выходной сигнал пропорциональной задвижки» значение 100	PO111		PO306 KO306
01.24.64	Установить потенциометром «Выходной сигнал пропорционального клапана» значение 0	PO112		PO307 KO307

3. Проведен натурный эксперимент, представляющий собой серию опытов по выполнению практического задания на стенде с целью определения временных характеристик выполнения каждой типовой функциональной единицы (ТФЕ) и всего алгоритма в целом. Результаты расчета представлены в таблице 2.

4. Подобраны программы обработки полученной видеоинформации, включающие программы распознавания лица человека с выделением его зрачков, отслеживание перемещения зрачков по информационному полу стенда, синхронизация перемещения зрачков в соответствии с алгоритмом выполнения практического задания [3].

5. В результате получена серия видеок кадров, использование которых позволило сформировать подпрограмму с использованием элементов

искусственного интеллекта, описывающих траекторию перемещения зрачков человека-оператора при выполнении им практического задания.

Таблица 2 – Результаты расчета АД по выполнению ПЗ

Расчетный параметр	Значение параметра
Общая вероятность безошибочного выполнения всех операций АД, (β_{1total})	0,978
Суммарное математическое ожидание времени выполнения АД, ($M(T)$)	878,25 с
Суммарная дисперсия времени выполнения АД, ($D(T)$)	96,61с ²
Средне квадратическое отклонение времени выполнения АД, бсек	9,83 с

Следующим шагом для реализации программы контроля за работой оператора с использованием ИИ является разработка подпрограммы контроля за правильностью выполнения им ручных операций, связанных с переключением органов управления на работающем оборудовании, осуществляемом человеком на моторном поле станда (рисунки 2, 3). С этой целью были укрупненно записаны на камеру все элементы моторного поля станда (ручные клапаны, переключатели, кнопки), их положения (открыто–закрыто, включено–отключено).

Для цели фиксации выполнения ручных операций использовалась видеокамера, установленная справа–сбоку от человека, с помощью которой осуществлялся контроль за правильностью их использования с фиксацией времени этой операции.



Рисунок 2. Верхняя часть моторного поля станда

В результате применения программы распознавания положения ручной арматуры (клапанов) получен способ идентификации их состояния (рисунок 4).

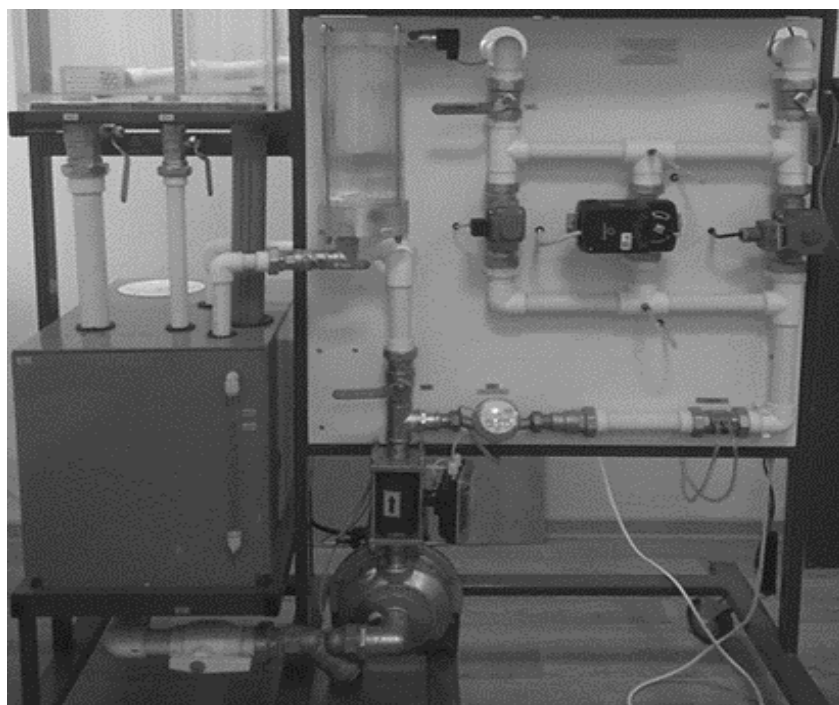
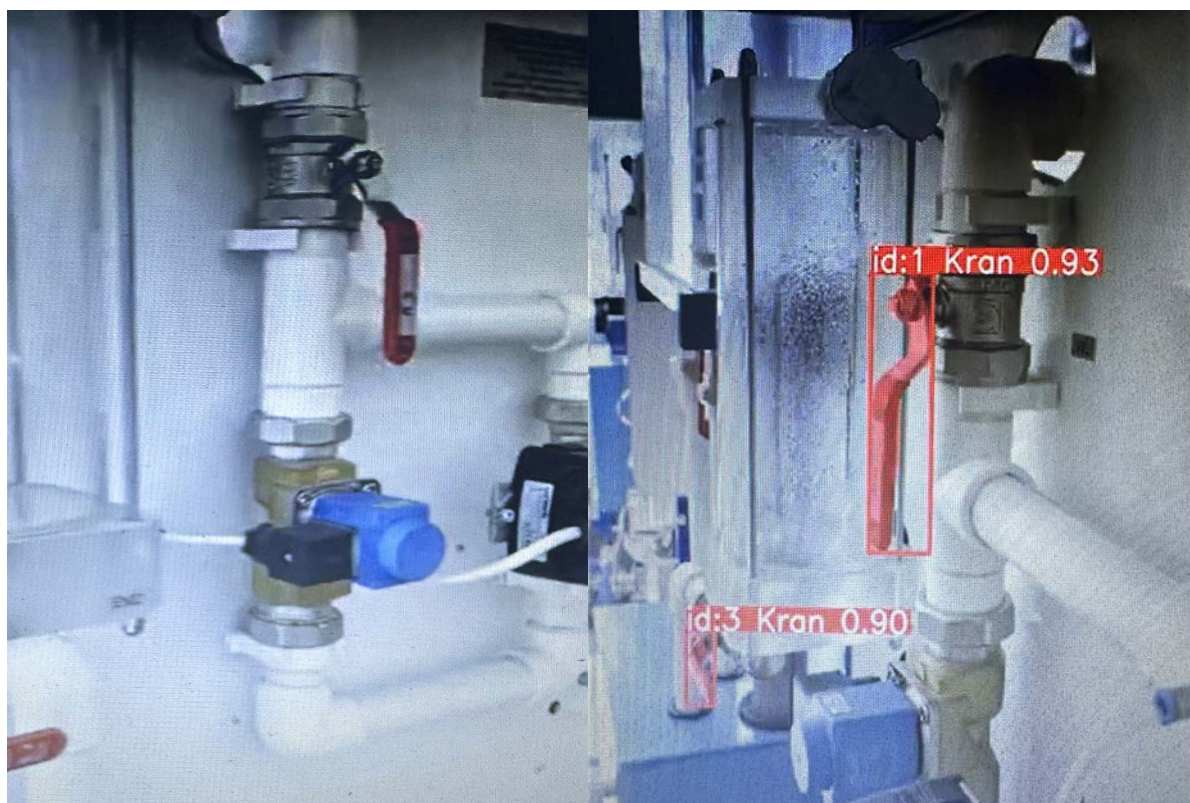


Рисунок 3. Нижняя часть моторного поля стенда



а)

б)

Рисунок 4. Положение ручного клапана на стенде (а), оцифрованное положение ручного клапана (б)

На видеокадре (рисунок 5) показано, как производится идентификация положения нескольких ручных клапанов на стенде с использованием программы распознавания.

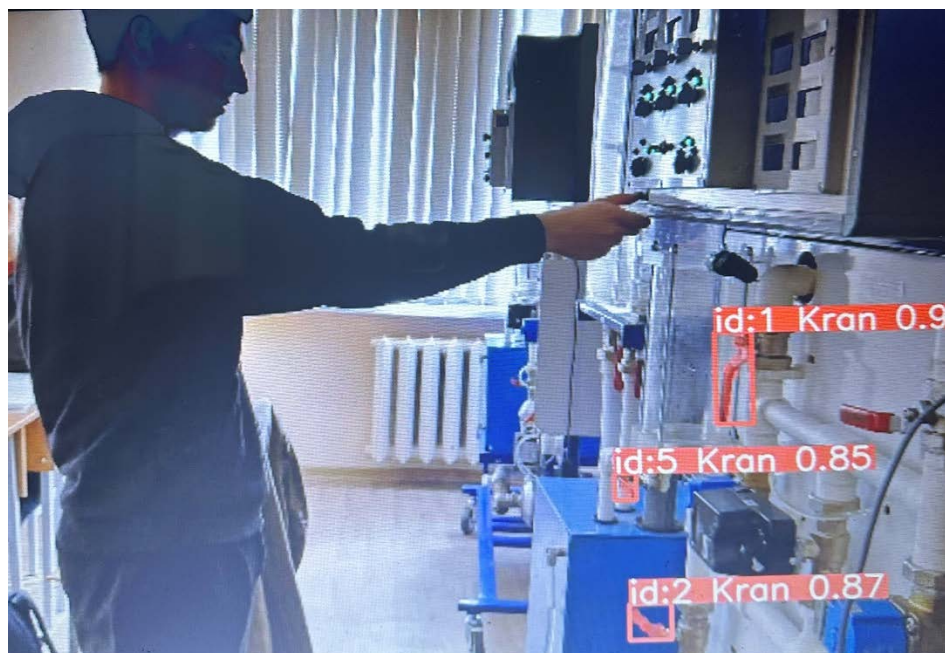


Рисунок 5. Вид стенда в положении сбоку и оцифровка ручных клапанов

В результате проведенной работы была сформирована и апробирована с использованием методов ИИ методика контроля за работой оператора на стенде. На основании полученных результатов разработана Программа проведения натурного эксперимента с алгоритмом сбора и обработки информации по результатам видеофиксации работы оператора при выполнении задачи на пульте управления (рисунок 6).

Особенностями выполнения данной научно-практической работы является применение новых подходов, в том числе методов ИИ, в оценке качества выполнения оператором своей работы при выполнении практического задания путем сравнения затраченного оператором времени на перемещение взора по информационному полю стенда и производимых им ручных действий с элементами моторного поля стенда с последующим сравнением этих параметров с оптимальным алгоритмом деятельности. При этом количественные характеристики временных параметров замеряются в ходе проведения натурного эксперимента и в последующем используются для обоснования нормативов по выполнению данной работы.

По результатам проведенной подготовительной работы будет реализовываться следующая задача – разработка цифровой модели пульта (цифрового двойника). На рисунке 7 представлен следующий этап работы над проектом.

Данная цифровая модель имеет своей целью реализацию следующих задач:

- средство для ознакомления оператора с информационными и моторными областями стенда, с которыми ему предстоит работать;

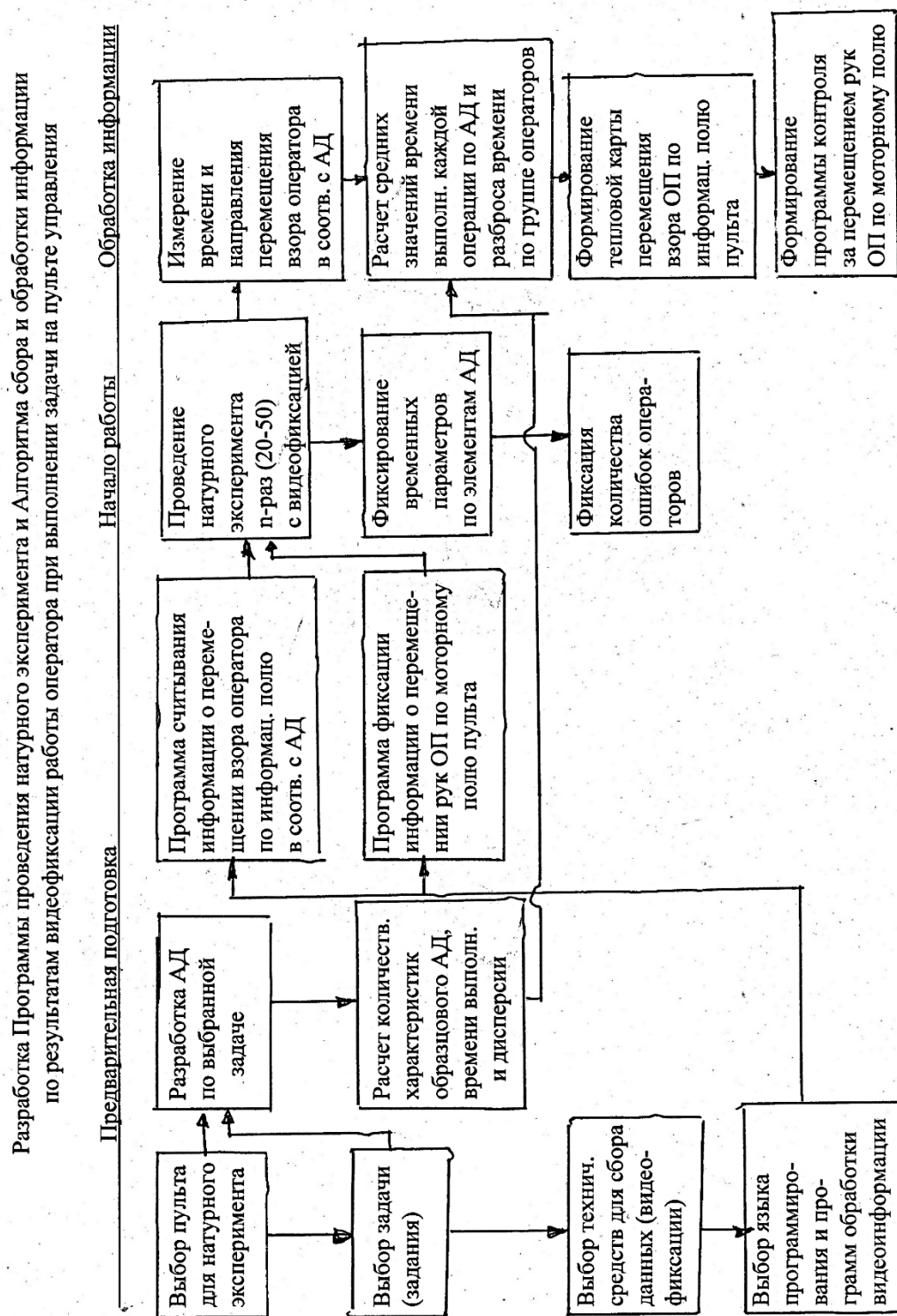


Рисунок 6. Программа проведения натурального эксперимента

- средство для ознакомления оператора с перечнем задач, которые он должен выполнять в ходе проведения занятий и тренировок;

- контроль за правильностью выполнения практического задания по перемещению взора оператора по информационному и моторному полям стенда с фиксацией времени, связанному с поиском нужного элемента и правильностью выполнения ручных операций;
- автоматическая фиксация ошибок оператора при неправильном выполнении ПЗ;
- обоснование нормативов по выполнению заданий на стенде;
- оценка функционального состояния оператора в ходе выполнения им практического задания;
- автоматическая оценка.

Научно-практическая работа выполняется на кафедре Автоматизации технологических процессов и производств в рамках выполнения выпускных квалификационных работ студентов кафедры.

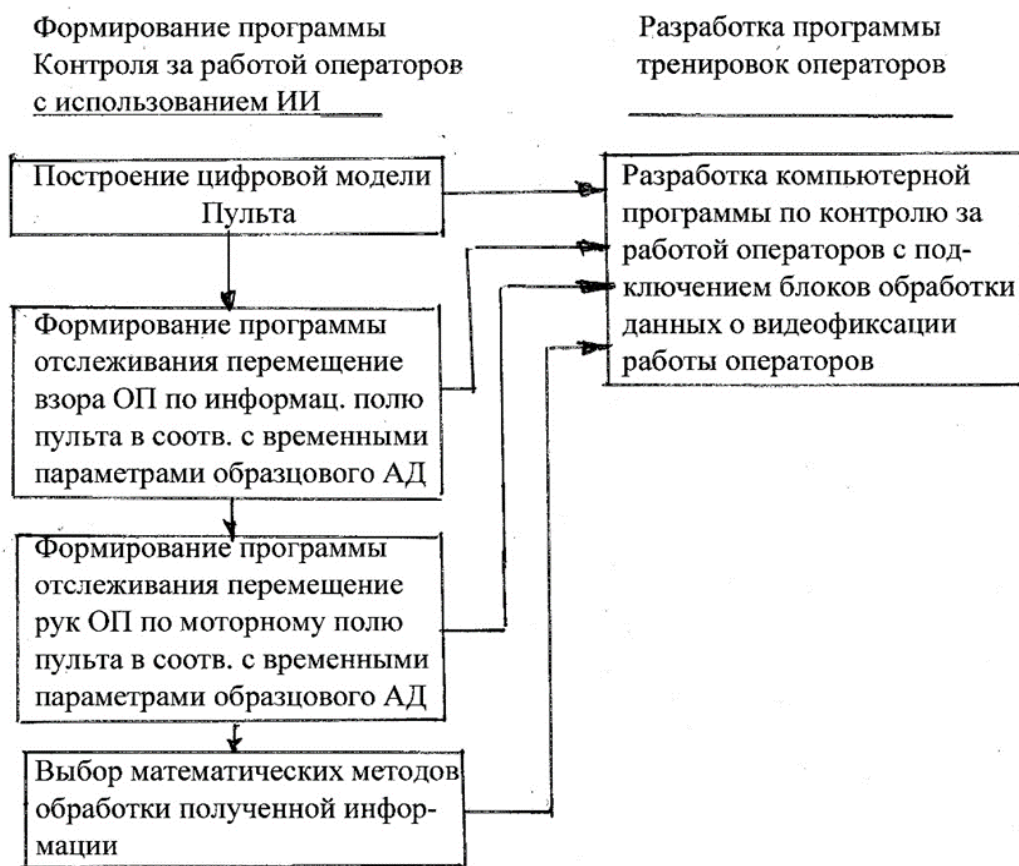


Рисунок 7. Этап формирования программы контроля за работой оператора и разработка компьютерной программы

Выводы:

1. Разработана методика контроля и подобраны программы обработки полученных в ходе проведения натурного эксперимента материалов по видеофиксации действий человека с применением методов ИИ.

2. Данный метод применим для жестких типов алгоритмов деятельности, выполняемых человеком-оператором на пультах управления технологическими процессами в рамках инструкций по эксплуатации оборудования.
3. Разработан план дальнейших действий по созданию цифровой модели (цифрового двойника), с помощью которого будет осуществляться контроль за работой человека-оператора.

Список литературы:

1. Рожков, В. И. Разработка алгоритмов и программного обеспечения для контроля за работой оператора на рабочем месте с использованием системы видеофиксации / В. И. Рожков, Е. Д. Патракова // Материалы VI Международной научно-технической конференции ученых и специалистов ЦБП «Современная целлюлозно-бумажная промышленность. Актуальные задачи и перспективные решения», Санкт-Петербург, 11-12 ноября 2024 г. – СПбГУПТД, 2024.
2. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: исследование, проектирование, испытания: справочник / А. Н. Адаменко, А. Т. Ашерев и др.; под общ. ред. А. И. Губинского и В. Г. Евграфова. – М.: Машиностроение, 1993. – 528 с.
3. Ван Россум, Г. The Python Language Reference Manual / Г. Ван Россум. — Network Theory Ltd., 2003, 148 с.

© Рожков В. И., Игнатьева Т. Ю., 2024

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА БАЛКИ МОСТОВОГО КРАНА С ПЕРЕМЕЩАЕМЫМ ГРУЗОМ

студент **Стряпухин Станислав Николаевич**,
науч. руководитель: ст. преподаватель **Королев Владимир Иванович**,
Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна,
Высшая школа технологии и энергетики,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. В работе проведен анализ способа устранения раскачивания груза, перемещаемого мостовым краном при движении балки или тележки крана. Проведен вывод уравнений для построения структурной схемы движения груза. Представлена структурная схема асинхронного привода балки с векторным управлением при перемещении груза в программной среде MathLab Simulink. Приведено обоснование актуальности данной проблемы.

Ключевые слова: мостовой кран, система противораскачивания, векторное управление, линейный задатчик интенсивности, горизонтальное перемещение балки.

DEVELOPMENT OF A STRUCTURAL DIAGRAM OF AN ELECTRIC DRIVE FOR A BRIDGE CRANE BEAM WITH A MOVABLE LOAD

Student **Stryapukhin Stanislav Nikolaevich**,
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 analyzes a method for eliminating the swaying of a load moved by an overhead crane when a crane beam or trolley is moving. The derivation of equations for the construction of a structural scheme of cargo movement is carried out. A block diagram of an asynchronous beam drive with vector control when moving a load in the MathLab Simulink software environment is presented. The substantiation of the relevance of this problem is given.

Keywords: overhead crane, crane, anti-sway system, vector control, linear intensity controller, horizontal beam movement.

Продольное перемещение груза мостовым краном осуществляется за счет перемещения балки крана. Поперечное перемещение груза осуществляется перемещением тележки, расположенной на балке. Механизм вертикального перемещения груза располагается на тележке. Груз крепится к механизму

вертикального перемещения стальным тросом.

Перемещение груза мостовыми кранами сопровождается его раскачиванием, что приводит к появлению негативных факторов, таких как увеличение опасности травматизма персонала; усложняется позиционирование крана, вследствие чего возрастает возможность перекоса балки, а также возрастают дополнительные циклические нагрузки на механизмы крана, что приводит к выводу оборудования из эксплуатации с последующим ресурсозатратным ремонтом и простоям производства, Процесс ручного управления краном с предотвращением раскачивания является сложной задачей и доступен крановщикам с большим опытом работы.

Алгоритмы демпфирования колебаний перемещаемого груза активно совершенствуются и внедряются в системы управления перемещением тележек и балок мостовых кранов крупнейшими мировыми машиностроительными компаниями, такими как Siemens, ABB, Schneider Electric [1], которые ушли с российского рынка.

Для разработки и обоснования наиболее приемлемого алгоритма демпфирования раскачивания груза и выбора простых и надежных датчиков информации (некоторые фирмы используют сложные, дорогостоящие устройства визуального наблюдения положения груза) необходимо разработать структурную схему электропривода механизма горизонтального перемещения груза с учетом его раскачивания.

На рисунке 1 изображена схема движения балки мостового крана с перемещаемым грузом.

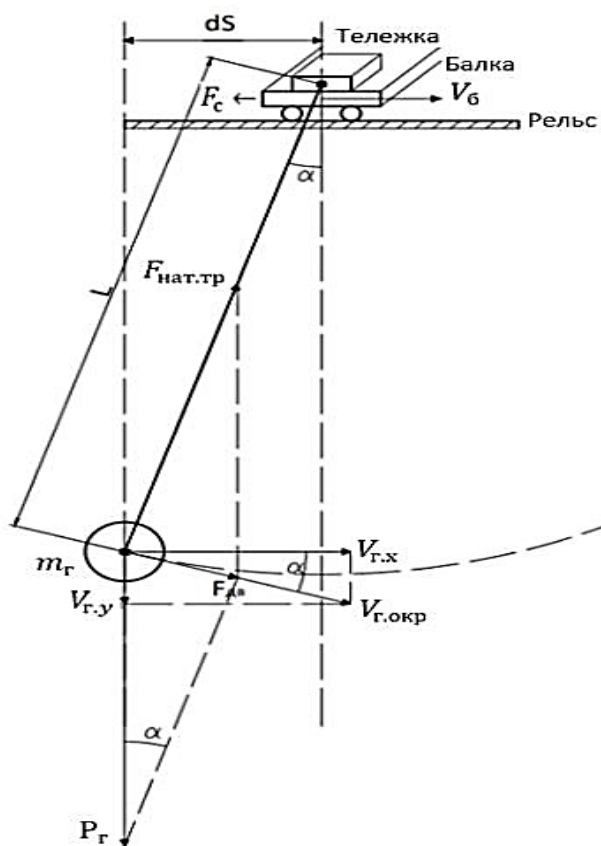


Рисунок 1. Схема движения балки мостового крана с перемещаемым грузом

На рисунке 1: $V_{\text{б}}$ – скорость движения балки; dS – разница между путем, пройденным балкой и путем, пройденным грузом по горизонтали (по оси X); $m_{\text{г}}$ – масса груза; $P_{\text{г}}$ – вес груза; L – длина троса, на котором подвешен груз; $F_{\text{дв}}$ – сила, действующая на груз, равная равнодействующей веса груза и силы натяжения троса; $V_{\text{г.окр}}$ – окружная скорость движения груза; $V_{\text{г.х}}$ – составляющая скорости $V_{\text{г.окр}}$ по оси x (горизонтальная составляющая); $V_{\text{г.у}}$ – составляющая скорости $V_{\text{г.окр}}$ по оси y (вертикальная составляющая); α – угол отклонения троса от вертикального положения; $F_{\text{нат.тр}}$ – сила натяжения троса; $F_{\text{с}}$ – сила сопротивления движению баки, вызванная отклонением груза от вертикали.

На первом этапе изучения динамики привода балки с перемещаемым грузом необходимо рассмотреть не столько количественные, сколько качественные характеристики привода, при выводе уравнений для построения структурной схемы движения груза будем считать, что трос при любом положении груза всегда прямолинеен, трос нерастяжим, угол отклонения троса от вертикали мал, груз представлен материальной точкой, дополнительным натяжением троса, вызванным движением тележки, сопротивлением воздуха можно пренебречь.

$$dS = S_{\text{б}} - S_{\text{г.х}}. \quad (1)$$

где $S_{\text{б}}$ – путь, пройденный балкой; $S_{\text{г.х}}$ – путь, пройденный грузом по оси X.

$$S_{\text{б}} = \int V_{\text{б}} * dt. \quad (2)$$

Вес груза

$$P_{\text{г}} = m_{\text{г}} * g, \quad (3)$$

где g – ускорение свободного падения.

$$\sin \alpha = \frac{dS}{L} \quad (4)$$

$$F_{\text{дв}} = P_{\text{г}} * \sin \alpha. \quad (5)$$

Окружное ускорение груза под действием силы $F_{\text{дв}}$

$$a_{\text{г.окр.}} = \frac{F_{\text{дв.}}}{m_{\text{г}}}. \quad (6)$$

или с учетом (3 и 5)

$$a_{\text{г.окр.}} = \frac{P_{\text{г}} * \sin \alpha}{m_{\text{г}}} = g * \sin \alpha \quad (7)$$

Окружная скорость движения груза

$$V_{\text{г.окр}} = \int a_{\text{г.окр}} * dt \quad (8)$$

$$V_{\text{г.х}} = V_{\text{г.окр}} * \cos \alpha \quad (9)$$

Путь, пройденный грузом по оси X (горизонтальное перемещение груза)

$$S_{\text{г.х}} = \int V_{\text{г.х}} * dt, \quad (10)$$

$$F_{\text{нат.тр}} = P_{\text{г}} * \cos \alpha, \quad (11)$$

где $F_{\text{нат.тр}}$ – сила натяжения троса.

$$F_{\text{с}} = F_{\text{нат.тр}} * \cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) = F_{\text{нат.тр}} * \sin \alpha \quad (12)$$

На рисунке 2 изображена структурная схема перемещаемого балкой груза, построенная по формулам (1 – 12).

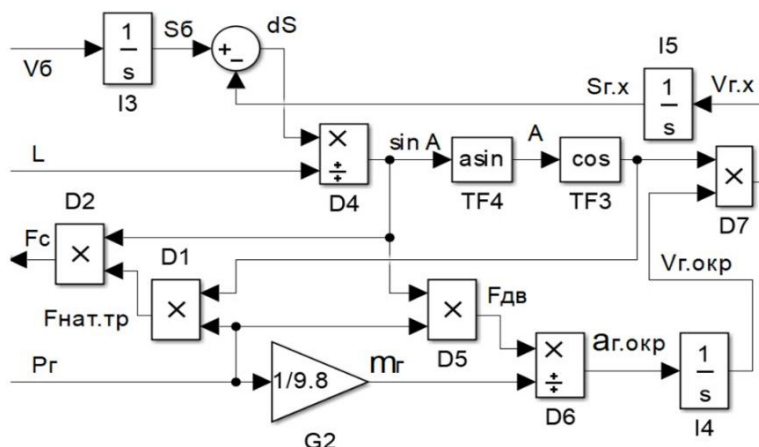


Рисунок 2. Структурная схема перемещаемого балкой груза

На рисунке 3 представлена структурная схема привода балки с перемещаемым грузом, где структурная схема асинхронного привода балки с векторным управлением представлена в виде структурной схемы, аналогичной структурной схеме привода постоянного тока с двигателем с независимым возбуждением [2]; структурные схемы формирователя сигнала задания с линейными задатчиками интенсивности разгона и торможения [3] и структурная схема перемещаемого груза представлены subsystemами.

Параметры структурной схемы двигателя соответствуют двигателю АДЧР132S6Е, тактовая частота преобразователя 1000 Гц, момент инерции электропривода $J = 3,3$.

Передаточное отношение редуктора (i), радиус колеса балки (R_k), максимальная грузоподъемность (P_r) соответствуют данным мостового крана Demag 50.

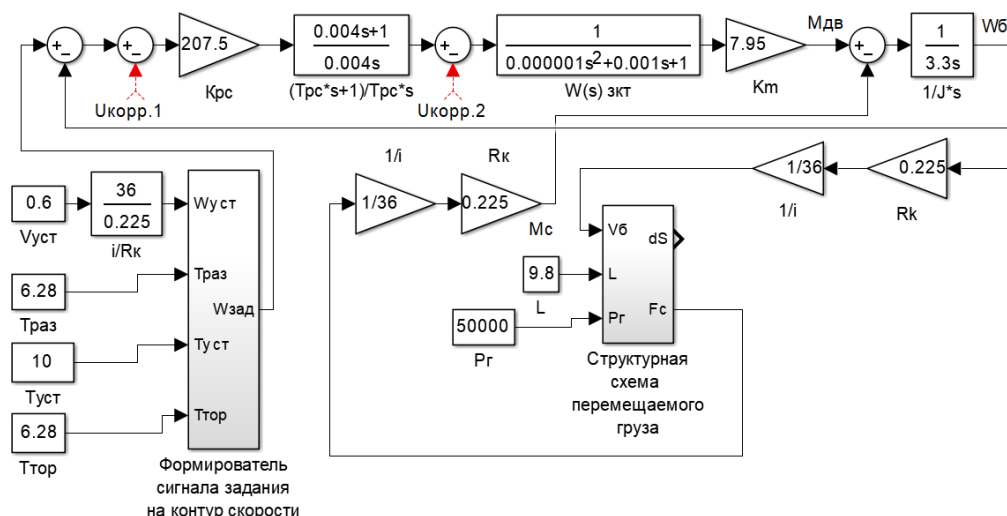


Рисунок 3. Структурная схема электропривода балки с перемещаемым грузом

В представленной выше структурной схеме первоначально исключаем

влияние момента сопротивления от силы нормального давления балки на рельсы.

На рисунке 4 показано, что при времени разгона ($T_{\text{раз}}$) и времени торможения ($T_{\text{тор}}$), равными периоду колебания груза ($T_{\text{г}}$), отсутствует колебание груза после остановки балки, время движения на установившейся скорости ($T_{\text{уст}}$) при этом может быть любым. [4] Т. к. дополнительным натяжением троса, обусловленным перемещением балки, пренебрегаем, то

$$T_{\text{г}} = 6,28 * \sqrt{\frac{L}{g}}.$$

При длине троса 9,8 м период колебания груза будет равен 6,28 с.

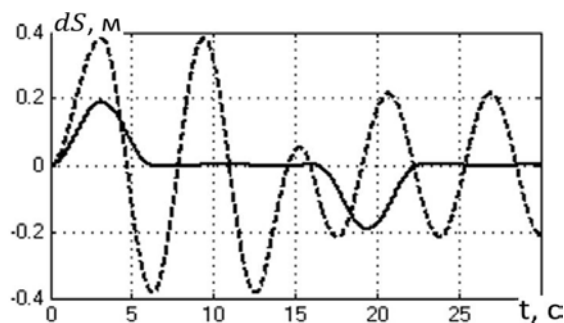


Рисунок 4. График отклонения груза от вертикали:

при линейном задатчике интенсивности разгона и торможения: при времени разгона, равном периоду качания маятника – сплошная линия; при времени разгона, равном половине периода качания маятника – штриховая линия

Построение структурной схемы электропривода балки с перемещаемым грузом необходимо для выбора источника информации (датчик тока, датчик скорости, датчик угла отклонения троса от вертикали) и разработки формирователей сигналов коррекции $U_{\text{корр.1}}$ и/или $U_{\text{корр.2}}$, которые обеспечат отсутствие раскачивания груза после остановки балки при любых времени разгона и времени торможения.

Список литературы:

1. 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.
2. Соколовский, Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Соколовский Г. Г. – М.: Академия, 2006. – 272 с. – Текст: непосредственный.
3. Королев, В. И. Системы управления электроприводом: учебное пособие / В. И. Королев. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2022. – 79 с.
4. Онищенко, Г. Б. Теория электропривода: учебник. / Г. Б. Онищенко – М.: ИНФА-М, 2015. – 294 с. – Текст: непосредственный.
5. Овсенина, Т. И. Изучение законов движения математического маятника: – Нижний Новгород: Издательство Нижегородского госуниверситета, 2019. – 18 с.

АНАЛИЗ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УЧАСТКА НОВЫЙ УОЯН – АНГАРАКАН

студент **Крапивин Михаил Иванович,**

студент **Урлапов Сергей Сергеевич,**

науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент **Пузина Елена Юрьевна,**

Иркутский государственный университет путей сообщения,

г. Иркутск, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы повышения пропускной способности системы тягового электроснабжения участка Новый Уоян-Ангарахан Байкало-Амурской железной дороги. Это вызвано перспективным ростом объема грузоперевозок. Оценка пропускной способности действующего участка привела к необходимости усиления системы тягового электроснабжения. Исследованы несколько способов усиления. Оптимальным вариантом усиления признано строительство дополнительной тяговой подстанции на станции Янчуй.

Ключевые слова: система тягового электроснабжения, способы усиления.

ANALYSIS OF THE CAPACITY OF THE TRACTION POWER SUPPLY SYSTEM IN THE NEW UOYAN – ANGARAKAN SECTION

Student **Krapivin Mihail Ivanovich,**

Student **Urlapov Sergey Sergeevich,**

Academic Advisor: PhD in Technology, Associate Professor

Puzina Elena Yurievna,

Irkutsk State Transport University,

Irkutsk, Russian Federation

Abstract. The paper examines the issues of increasing the capacity of the traction power supply system of the New Uoyan – Angarakan section of the Baikal-Amur Railway. This is due to the promising growth in cargo transportation volumes. An assessment of the capacity of the existing section led to the need to strengthen the traction power supply system. Several amplification methods have been explored. The optimal option for strengthening was the construction of an additional traction substation at Yanchui station.

Keywords: traction power supply system, amplification methods.

Открытое акционерное общество «Российские железные дороги» входит в тройку крупнейших в мире национальных железнодорожных компаний и

является одним из самых узнаваемых российских брендов, основой национальной транспортной системы.

Система тягового электроснабжения (СТЭ) конкретного участка отдельной железной дороги имеет определенную пропускную способность (количество пар поездов в сутки), которая определяется параметрами самой системы: сечением контактной сети и типами входящих в нее проводов, количеством тяговых подстанций (ТП) на участке, суммарной мощностью установленных на них силовых трансформаторов (СТ), расстоянием между ТП, наличием и мощностью установленных силовых трансформаторов автотрансформаторных пунктов (АТП), наличием постов секционирования (ПС), пунктов параллельного соединения (ППС), наличием и полезной мощностью устройств компенсации реактивной мощности.

При увеличении объема грузоперевозок необходимо решать актуальную задачу – устранять лимитирующие межподстанционные зоны, параметры которых ограничивают пропускную способность СТЭ. Нередко в таких случаях необходима модернизация существующих объектов инфраструктуры [1, 2]. В данной работе производится анализ пропускной способности на одном из таких узких мест – участке Новый Уоян – Ангаракан Байкало-Амурской магистрали (БАМ). Увеличение пропускной способности БАМа позволит в значительной мере снизить нагрузку Транссибирской магистрали.

Электроснабжение однопутного в настоящее время участка Новый Уоян – Ангаракан организовано по системе тяги 2х25 кВ. На исследуемом участке имеются три ТП и четыре АТП. Расчетная длина участка 101,3 км, профиль пути относительно простой с уклонами, не превышающих 8,7 ‰.

Продольный профиль расчётного участка представлен в соответствии с рисунком 1.

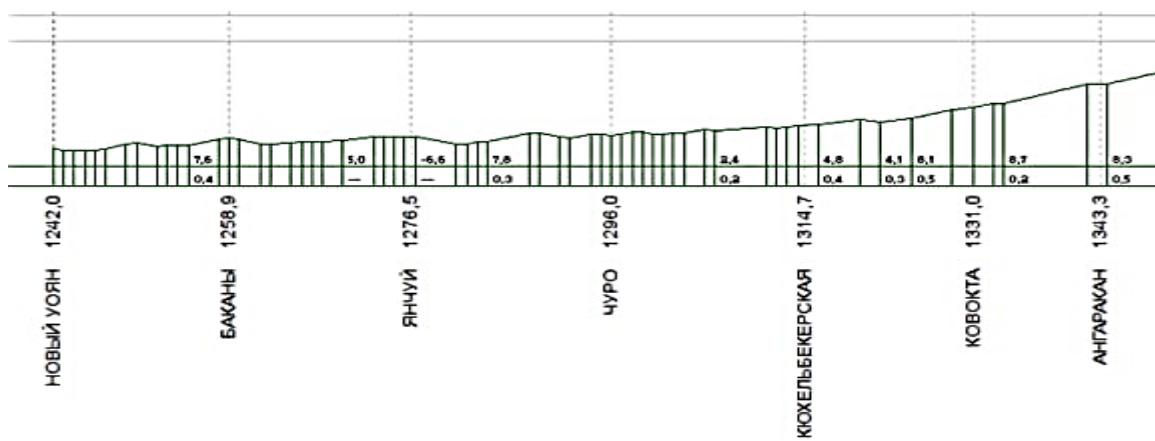


Рисунок 1. Продольный профиль расчетного участка
Новый Уоян – Ангаракан

Расположение тяговых подстанций, постов секционирования представлено в соответствии с рисунком 2.

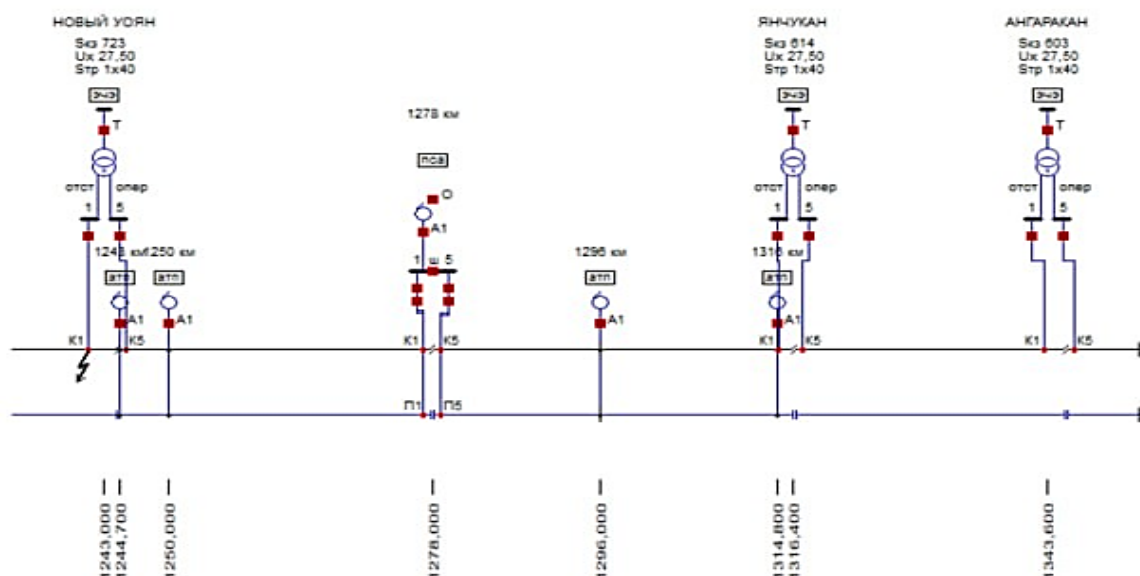


Рисунок 2. Расположение тяговых подстанций, постов секционирования на участке Новый Уоян – Ангарахан

Анализ имеющейся и перспективной пропускной способности СТЭ исследуемого участка произведен в ПВК Кортэс [3]. Информация о графиках движения поездов представлена в таблице 1.

Таблица 1. Массы поездов, проходящих по заданному участку

Направление движения	Масса, тонн
Нечетное	6300
	3000
Четное	7100
	6300
	4000

Выполним оценку пропускной способности СТЭ для поиска лимитирующих зон при пропуске поездов четного и нечетного направлений, при организации движения по однопутному участку межпоездным интервалом 10 минут.

В результате анализа пропускной способности выявлен лимитирующий показатель по минимальному и среднему одноминутному напряжению в контактной сети на участке Новый Уоян – Янчукан, расположенный на 1272,5 км, результаты расчета пропускной способности приведены в таблице 2. Из результатов, представленных в таблице 2, видим, что на однопутном участке с минимальным интервалом 10 минут наблюдается просадка напряжения в контактной сети на перегоне Новый Уоян – Янчукан до критических значений 19,85 кВ.

Таблица 2. Параметры режима работы СТЭ при существующем графике движения на 2024 год с межпоездным интервалом 10 минут

Минимальное напряжение в КС $U_{\min}$, кВ	Среднее 3-х-минутное напряжение в КС $U_{\text{ср}}$, кВ	Температура нагрева проводов КС $T_{\text{КС}}$, °С	Активный расход ЭЭ $W_{\text{акт}}$, кВтч	Коэффициент загрузки СТ			Температура, °С	
				Наименование ТП	В течение 60 мин	В течение 10 мин	обмотки	масла
19,85 Новый Уоян - Янчукан	21,05 Новый Уоян - Янчукан	52	42193	Новый Уоян	0,58	0,91	81	66
				Янчукан	0,90	1,12	90	71
				Ангара кан	0,43	0,83	69	65

Таким образом, необходимо усиление СТЭ данного участка. Все возможные к использованию способы усиления рассмотрены ниже [3-5]:

- монтаж усиливающего провода марки А-185 в контактной подвеске, что приводит к увеличению сечения контактной подвески и, соответственно к увеличению ее токонесущей способности;

- увеличение сечения несущего троса. Так, марки М-95 и М-120 характеризуются более высокой прочностью, что позволяет им выдерживать тяжелые нагрузки и повышает их долговечность. Кроме того, данные модели изготовлены из меди, что обладает лучшей электропроводностью по сравнению с другими металлами, такими как сталь. Это означает, что сопротивление контактной подвески будет меньше, и образующееся в ее проводах падение напряжения уменьшится, что, в свою очередь, приведет к росту уровня напряжения;

- установка устройства продольной компенсации (УПК), которое допускается включать в работу двумя способами: в наиболее загруженное плечо питания ТП или в отсасывающий провод. И в том, и в другом случае своим емкостным сопротивлением УПК уменьшает суммарное реактивное, а, следовательно, и полное сопротивление систем тягового и внешнего электроснабжения, что приводит к повышению уровня напряжения на токоприемнике локомотива и также к симметрированию напряжения фаз СТ;

- установка устройства поперечной компенсации (КУ), которое оптимальным образом должно быть смонтировано на ПС, но допускается его применение и на ТП. Благодаря его параллельному подключению тяговой индуктивной нагрузке частично компенсируется реактивная составляющая тягового тока, а, следовательно, и полного тока, что приводит к существенному, в квадратичной зависимости от полного тока, уменьшению потерь мощности в СТЭ и повышению коэффициента мощности $\cos\varphi$;

- монтаж экранирующего провода, что путем компенсации величины сопротивления взаимной индуктивности приводит к росту уровня напряжения на токоприемнике электровоза;

– установка дополнительного силового трансформатора на ТП для параллельной работы с целью уменьшения общего сопротивления силовых трансформаторов, соответственно, это приводит к уменьшению падения напряжения и росту уровня напряжения в КС, а также к увеличению общей мощности подстанции;

– строительство дополнительной новой ТП в наиболее проблемных МПЗ. Этот способ позволяет обеспечить подпитку тяговой сети дополнительной мощностью из питающей ЛЭП, что обеспечивает увеличение пропускной способности.

Выполним моделирование нескольких способов усиления исследуемого участка.

Вариант № 1. Рассмотрим подвес усиливающего провода от ст. Новый Уоян до ст. Янчукан. Усиливающий провод марки А-185 предлагается смонтировать по опорам контактной сети с 1243-го километра по 1314-ый километр, длиной 71 км. Полученные результаты от данного мероприятия вынесем в таблицу 3.

Таблица 3. Параметры режима работы СТЭ при существующем графике движения на 2024 год с применением усиливающего провода

U _{мин} , кВ	U _{ср} , кВ	T _{КС} , °С	W _{акт} , кВтч	Коэффициент загрузки СТ			Температура, °С	
				Наименование ТП	60 мин	10 мин	обмотки	масла
20,42 Новый Уоян - Янчукан	21,29 Новый Уоян - Янчукан	42	42191	Новый Уоян	0,87	1,61	81	66
				Янчукан	0,53	1,02	89	71
				Ангаракан	0,35	0,60	69	65

Вариант № 2. Рассмотрим замену несущего троса на М-95 от ст. Новый Уоян до ст. Янчукан. Замена предлагается с 1243-го километра по 1314-ый километр, длиной 71 км. Полученные результаты от данного мероприятия вынесем в таблицу 4.

Таблица 4. Параметры режима работы СТЭ при существующем графике движения на 2024 год с применением несущего троса М-95

U _{мин} , кВ	U _{ср} , кВ	T _{КС} , °С	W _{акт} , кВтч	Коэффициент загрузки СТ			Температура, °С	
				Наименование ТП	60 мин	10 мин	обмотки	масла
20,26 Новый Уоян - Янчукан	21,39 Новый Уоян - Янчукан	40	42165	Новый Уоян	0,40	0,81	81	66
				Янчукан	0,53	1,02	89	71
				Ангаракан	0,34	0,60	69	65

Вариант № 3. Рассмотрим замену несущего троса на М-120 от ст. Новый Уоян до ст. Янчукан. Замена предлагается с 1243-го км. по 1314-ый км, длиной 71 км. Полученные результаты от данного мероприятия вынесем в таблицу 5.

Таблица 5. Параметры режима работы СТЭ при существующем графике движения на 2024 год с применением несущего троса М-120

U _{мин} , кВ	U _{ср} , кВ	T _{КС} , °С	W _{акт} , кВтч	Коэффициент загрузки СТ			Температура, °С	
				Наименование ТП	60 мин	10 мин	обмотки	масла
20,35 Новый Уоян - Янчукан	21,46 Новый Уоян - Янчукан	36	42166	Новый Уоян	0,65	1,61	80	66
				Янчукан	0,56	1,02	90	67
				Ангаракан	0,48	0,74	69	63

Вариант № 4. Рассмотрим установку дополнительного силового трансформатора на тяговой подстанции Новый Уоян, полученные результаты от данного мероприятия вынесем в таблицу 6.

Таблица 6. Параметры режима работы СТЭ при существующем графике движения на 2024 год с применением дополнительного силового трансформатора на ТП Новый Уоян

U _{мин} , кВ	U _{ср} , кВ	T _{КС} , °С	W _{акт} , кВтч	Коэффициент загрузки СТ			Температура, °С	
				Наименование ТП	60 мин	10 мин	обмотки	масла
20,62 Новый Уоян - Янчукан	21,35 Новый Уоян - Янчукан	51	42594	Новый Уоян	0,38	0,59	58	65
				Янчукан	0,51	1,02	88	70
				Ангаракан	0,36	0,64	69	65

Вариант № 5. Рассмотрим установку дополнительного силового трансформатора на тяговой подстанции Янчукан, полученные результаты от данного мероприятия вынесем в таблицу 7.

Таблица 7. Параметры режима работы СТЭ при существующем графике движения на 2024 год с применением дополнительного силового трансформатора на ТП Янчукан

U _{мин} , кВ	U _{ср} , кВ	T _{КС} , °С	W _{акт} , кВтч	Коэффициент загрузки СТ			Температура, °С	
				Наименование ТП	60 мин	10 мин	обмотки	масла
20,57 Новый Уоян - Янчукан	21,55 Новый Уоян - Янчукан	47	42827	Новый Уоян	0,49	0,96	78	63
				Янчукан	0,30	0,57	70	62
				Ангаракан	0,38	0,68	67	65

Вариант № 6. Рассмотрим вариант установки КУ мощностью 9,6 МВАр на ПС ст. Янчуй на 1278-ом км, полученные результаты от данного мероприятия вынесем в таблицу 8.

Таблица 8. Параметры режима работы СТЭ при существующем графике движения на 2024 год с установкой КУ

U _{мин} , кВ	U _{ср} , кВ	T _{КС} , °С	W _{акт} , кВтч	Коэффициент загрузки СТ			Температура, °С	
				Наимено- вание ТП	60 мин	10 мин	обмотки	масла
20,71 Новый Уоян - Янчукан	21,87 Новый Уоян - Янчукан	45	42584	Новый Уоян	0,55	0,86	79	65
				Янчукан	0,51	0,99	88	70
				Ангаракан	0,42	0,60	69	65

Вариант № 7. Строительство дополнительной подпитывающей тяговой подстанции на посту секционирования (ПС) ст. Янчуй. Результаты расчета представлены в таблице 9.

Таблица 9. Параметры режима работы СТЭ при существующем графике движения на 2023 год после усиления СТЭ с помощью дополнительной ТП

U _{мин} , кВ	U _{ср} , кВ	T _{КС} , °С	W _{акт} , кВтч	Коэффициент загрузки СТ			Температура, °С	
				Наимено- вание ТП	60 мин	10 мин	обмотки	масла
23,37 Новый Уоян - Янчукан	23,66 Новый Уоян - Янчукан	27	42851	Новый Уоян	0,39	0,54	71	65
				Янчуй	0,31	0,40	67	65
				Янчукан	0,82	1,02	86	68
				Ангаракан	0,43	0,60	69	65

Таким образом, компьютерное моделирование различных способов усиления СТЭ участка Новый Уоян – Ангаракан позволяет прийти к выводу о том, что только при строительстве дополнительной тяговой подстанции на ПС, расположенного на станции Янчуй, напряжение в КС превышает минимально допустимый уровень в 21 кВ и равно 23,37 кВ. В результате, именно этот способ усиления рекомендуется к практическому применению. Его реализация обеспечит необходимую перспективную пропускную способность системы тягового электроснабжения исследуемого участка.

Список литературы:

1. Каимов, Е. В. Проблемы формирования, развития и реконструкции элементов инфраструктурного комплекса железных дорог / Е. В. Каимов, В. А. Оленцевич, Н. В. Власова // Образование – Наука – Производство: материалы VI

Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). – В 2-х томах. – Чита, 2022. – С. 288-296.

2. Третьяков, Е. А. Перспективные методы управления транспортом и распределением электроэнергии в электрических сетях железных дорог / Е. А. Третьяков, А. Г. Галкин, Е. А. Сидорова // Известия Транссиба. – 2018. – № 2 (34). – С. 113-124.

3. Puzina E.Yu., Cherniga M.Yu., Khudonogov I.A. Strengthening the power supply system of electrified railways, taking into account the use of interval control devices. *2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon2020*. 2020. С. 9271385.

4. Куцый, А. П. Повышение пропускной способности участка Якурим – Киренга для обеспечения тяги сдвоенных электроподвижных составов массой 14200 тонн / А. П. Куцый, И. С. Овечкин, А. А. Галков // Молодая наука Сибири. – 2022. – № 2(16). – С. 137-149.

5. Cherepanov A., Kutsiy A. Modeling of tractive power supply systems for heavy-tonnage trains operation. *International Russian Automation Conference, RusAutoCon2018*. С.8501734.

© Крапивин М. И., Урлапов С. С., 2024

**THE USE OF SHORT CIRCUIT INDICATORS FOR OVERHEAD
AND CABLE LINES WITH A VOLTAGE CLASS OF 6-35 KV TO
DETERMINE THE LOCATION OF DAMAGE AND MONITOR THE
CONDITION OF THE LINES**

Master Student **Maksyutov Ilnur Rinatovich**,
Academic Advisor: Associate Professor **Gilyazeva Guzel Zofarovna**,
Kazan State Power Engineering University,
Kazan, Russian Federation

Abstract. The paper discusses the types of short circuit indicators (ICS), manufacturing companies, their pros and cons. As a result of the work, recommendations were proposed for choosing the most suitable ICP.

Keywords: indicator, relay protection, accidents, short circuit, sensor.

**ПРИМЕНЕНИЕ ИНДИКАТОРОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ
ВОЗДУШНЫХ И КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ КЛАССОМ НАПРЯЖЕНИЯ
6–35 КВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ
И МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЛИНИЙ**

магистрант **Максютов Ильнур Ринатович**,
науч. руководитель: доцент **Гилязиева Гузель Зофаровна**,
Казанский государственный энергетический университет,
Казань, Россия

Аннотация. В работе рассматриваются виды индикаторов короткого замыкания (ИКЗ), компании-производители, их плюсы и минусы. В результате работы были предложены рекомендации для выбора наиболее подходящего ИКЗ.

Ключевые слова: индикатор, релейная защита, аварии, короткое замыкание, датчик.

When developing an electric power system and operating it, any part has to be considered with the possibility of damage and abnormal modes in it. The most common and at the same time the most dangerous types of damage in them is a short circuit (short circuit). One of the main types of abnormal operating modes are overloads.

Damages and abnormal modes can lead to accidents in the electric power system [1]. There can be dozens of reasons for these accidents: from errors in the design of the system, to errors during installation. To reduce economic losses or to completely prevent such accidents, it can be ensured by quickly disconnecting the damaged element. Therefore, relay protection and automation devices are installed on electrical installations.

The main purpose of relay protection is to automatically disconnect the damaged section of the electrical system from the undamaged part. Therefore, the uninterrupted operation of the electrical network is impossible without this type of automation [2].

Short circuit indicator:

Short circuit indicators (short circuit indicators) are widely used in Russia to detect damage to overhead power lines [3]. The increasing number of extreme weather conditions and limited funding are forcing the expansion of the use of modern equipment.

ICS are a variety of devices that perform the main function of saving time and money. In case of an emergency on the line, it is necessary to organize a bypass with visual inspection of the wires, often in conditions of poor road conditions and precipitation.

The presence of ICS from leading international and domestic manufacturers in the Russian market makes it possible to choose the device most suitable for specific operating conditions. Each brand has its own advantages, which can be useful when working in different circumstances.

Manufacturers of IKZ [4]:

“*Horstmann GmbH*” is a German company that holds a leading position in the development of complex fault indication systems on overhead lines. This manufacturer offers a wide range of ICS, including visual indicators mounted directly on wires, as well as remote control systems.

“*Anthrax*” is a Russian company that specializes in the full cycle of ICZ production and has more than twenty years of experience. They have developed fault detection technology on power transmission lines and offer their products not only on the domestic but also on the international market.

“*Amast Power Lines*” is an engineering company from Russia that specializes in modern thermal power plants. They occupy a significant market share in providing comprehensive solutions.

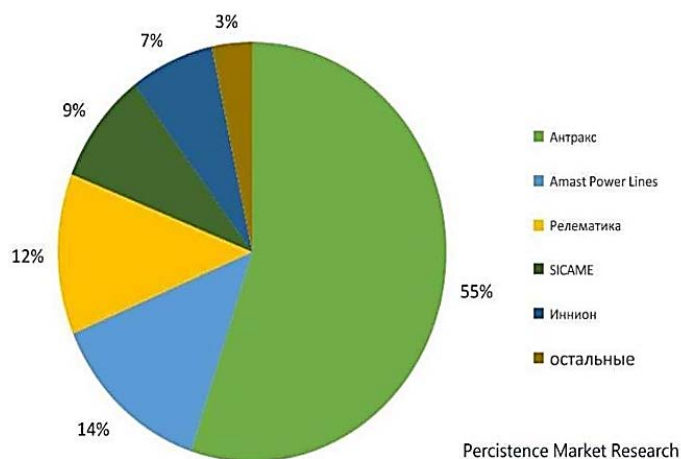


Figure 1. Diagram of manufacturers of ICZ

The simplest ICS:



Figure 2. ICZ "Horstmann Rotor System"

This type of mechanism is distinguished by its reliability, however, after activation it must be manually re-installed.

The liquid ICZ does not have this problem, since the indicator turns red when exposed to a magnetic field and returns to a transparent state a few hours after troubleshooting.



Figure 3. Liquid ICS

The simplest IKZ-B31 from Anthrax is equipped with LEDs that are visible in the daytime from a distance of up to 100 m with the naked eye (without binoculars). At the same time, different algorithms for flashing LEDs allow you to determine the type of damage to the power line from afar. It is powered by a lithium battery with a 10-year standby life.

The IKZ-B31 has a lower trigger threshold than the Horstmann rotary and liquid ICZ, but at the same time the design of the latter is much simpler, which means it is potentially more reliable and durable.



ИК3-B31 для сетей 6-35 кВ

Figure 4. LED ICS

Advanced ICS with the ability to connect to monitoring networks:

As well as other ICS, the Navigator can be fixed to a wire through a specific rod without the need to turn off the power supply. At the same time, the mounting of the device is reliable enough to withstand wind speeds of up to 200 km/h. A characteristic feature of the indicators is their suitability for use on lines up to 220 kV (Smart Navigator 2.0 hv).



Figure 5. ICZ manufactured by "Navigator"

The indicator is able to store information about the load on the line for the last seventy-two hours, which reduces the likelihood of false alarms in networks with high load fluctuations. The time for automatic reset of the emergency alert can be set in the range from four hours to a week. Navigator indicators with the Smart prefix in the name can be part of a remote monitoring system with data transmission via GSM networks.



Figure 6. ICZ produced by "Anthrax"

The indicators of the company “Anthrax” with the marker “I” are used to detect short circuits at a distance. For example, the IKZ-V 34L indicator can connect to an off-site team via bluetooth at a short distance or to the power system control center via the GSM network.



Figure 7. The principle of operation of the ICS via Bluetooth

How to choose the most appropriate solution

The characteristics of modern short-circuit indicators (ICS) are similar to each other, devices from well-known manufacturers differ in build quality and support. All of them are equipped with insulated magnetic sensors to detect short circuits and can be installed on live wires.

The choice should take into account local conditions, budget and future plans to expand the monitoring system towards more advanced remote solutions [5]. For example, in Russia, many overhead power lines have an isolated neutral from 6 kV to 35 kV. This leads to lower ground short-circuit currents, unlike foreign systems where the neutral is grounded. ICS of domestic production take into account this feature and can be more effective in detecting such short circuits.

Simple ICS solve the main problems, but sometimes it is more expedient to purchase advanced models with additional functions. Such sensors can be integrated into a remote monitoring system, which reduces the response time of the field team, since the location of the accident will be accurately determined. Also, advanced ICS are able to register unstable failures associated, for example, with an increase in voltage between the phase and the ground due to an earth fault. In the case of long lines in hard-to-reach places, ICS with connection to a remote monitoring system are the optimal choice.

When choosing easy-to-install and maintain ICS for power transmission poles, it is worth remembering that there are location restrictions. For example, such sensors cannot be installed next to parallel lines or on supports where the grounding runs between the phase wires and the indicator itself.

Список литературы:

1. Монтаж и эксплуатация электрических сетей. Определение мест повреждений кабельных линий [Электронный ресурс]. URL: <https://elektromontagnik.ru/?address=labs/lab13/&page=content/> (дата обращения: 29.11.2024).
2. Режимы работы, релейная защита и автоматика синхронных электродвигателей / М. И.Слодарж. – 1977 г.
3. Указатель поврежденного участка [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Указатель_поврежденного_участка (дата обращения: 29.11.2024).
4. Индикаторы короткого замыкания: обзор российского рынка изделий для контроля воздушных линий электропередачи [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://test-energy.ru/indikatoryi-korotkogo-zamyikaniya-obzor-rossijskogo-ryinka-izdelij-dlya-kontrolya-vozdushnyix-linij-elektroperedachi/?ysclid=m4468fzpdg376465871> (дата обращения: 29.11.2024).
5. Установка индикаторов короткого замыкания на воздушные линии [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dc-en.ru/news/ustanovka-indikatorov-korotkogo-zamyikaniya-na-vozdushnye-linii/?ysclid=m446pulv2m383533708> (дата обращения: 29.11.2024).

© Максютлов И. Р., 2024

DIGITAL SUBSTATION CYBERSECURITY ANALYSIS

Student **Zakhvatov Danila Evgenievich**,
Academic Advisor: PhD in Philology, Associate Professor
Gilyazieva Guzel Zofarovna,
Казанский государственный энергетический университет,
Kazan, Russian Federation

Abstract. Cyber-attacks on digital substations pose a significant threat to energy infrastructure, with the potential to cause serious consequences for both the economy and public safety. Substation control systems are becoming increasingly complex and interconnected, increasing their vulnerability to external influences. Key challenges include a lack of awareness among employees, a lack of security standards, hardware and software vulnerabilities, and the possibility of insider threats.

Keywords: digital substation, cybersecurity, cyberattack, countermeasures, consequences.

АНАЛИЗ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

студент **Захватов Данила Евгеньевич**,
науч. руководитель: канд. физ. наук, доцент **Гилязиева Гузель Зофаровна**,
Kazan State Power Engineering University,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. Кибератаки на цифровые подстанции представляют собой значительную угрозу для энергетической инфраструктуры, способную вызвать серьезные последствия как для экономики, так и для общественной безопасности. Системы управления подстанциями становятся все более сложными и взаимосвязанными, что увеличивает их уязвимость к внешним воздействиям. Основные проблемы включают недостаток осведомленности среди сотрудников, отсутствие стандартов безопасности, уязвимости оборудования и программного обеспечения, а также возможность инсайдерских угроз.

Ключевые слова: цифровая подстанция, кибербезопасность, кибератака, контрмеры, последствия.

A digital substation is a substation with a high level of automation, where almost all processes of information exchange between the components of the substation and the management of its operation are carried out digitally.

The structure of the digital substation is divided into three levels:

1. Field level or process level. The field level of a digital substation in IEC 61850 is usually referred to as the Device Level. This level contains physical devices such as protective relays, measuring devices, switching equipment, and other devices that perform various functions in the substation.

The field level collects data from various devices, controls, monitors, and manages them. Devices at this level are usually directly connected to the power transmission and distribution process. They can also interact with each other via a communication network to perform certain automation functions.

2. Bay Level. The digital substation interconnection level in IEC 61850 is usually referred to as the Station Level. This level contains devices responsible for the control and monitoring of the digital substation as a whole. This includes control and measurement devices (e.g. protection and control controllers), communication equipment, interfaces for operator control and monitoring, and other devices that provide communication with higher levels of the power facility management system.

At the connection level, data is collected and processed from devices at the field level, and information is transmitted to higher levels of the control system. The IEC 61850 standard defines a specification for data exchange between different devices at the station level, which allows for the creation of unified information models for substation automation systems.

3. Station level. The station level mainly includes the equipment for control and protection of the station, the workstation, interference recorders and the methods of data transmission, for example, to the network control center. Other important functions, such as power supply of the auxiliary station, are not mentioned explicitly.

The structure of the digital substation is shown in Figure.

The modern electric power system and its objects are complex systems consisting of two closely interconnected subsystems: physical (technological) and information-control. As the electric power system is "digitized", the information communication subsystem, which performs control functions, becomes comparable in complexity and vulnerability to the physical subsystem. Thus, modern energy facilities can be fully classified as cyber-physical systems

Cyber-attacks on digital substations pose a serious threat to energy infrastructure and can have devastating consequences.

A number of well-known cyber-attacks – “denial of service” (DoS attack), introduction of viruses and software with “bookmarks”, substitution of GPS signals/stream of instantaneous values (SV-stream)/MMS and GOOSE-messages, traffic overflow, etc. – are direct threats to the operability of the digital substation.

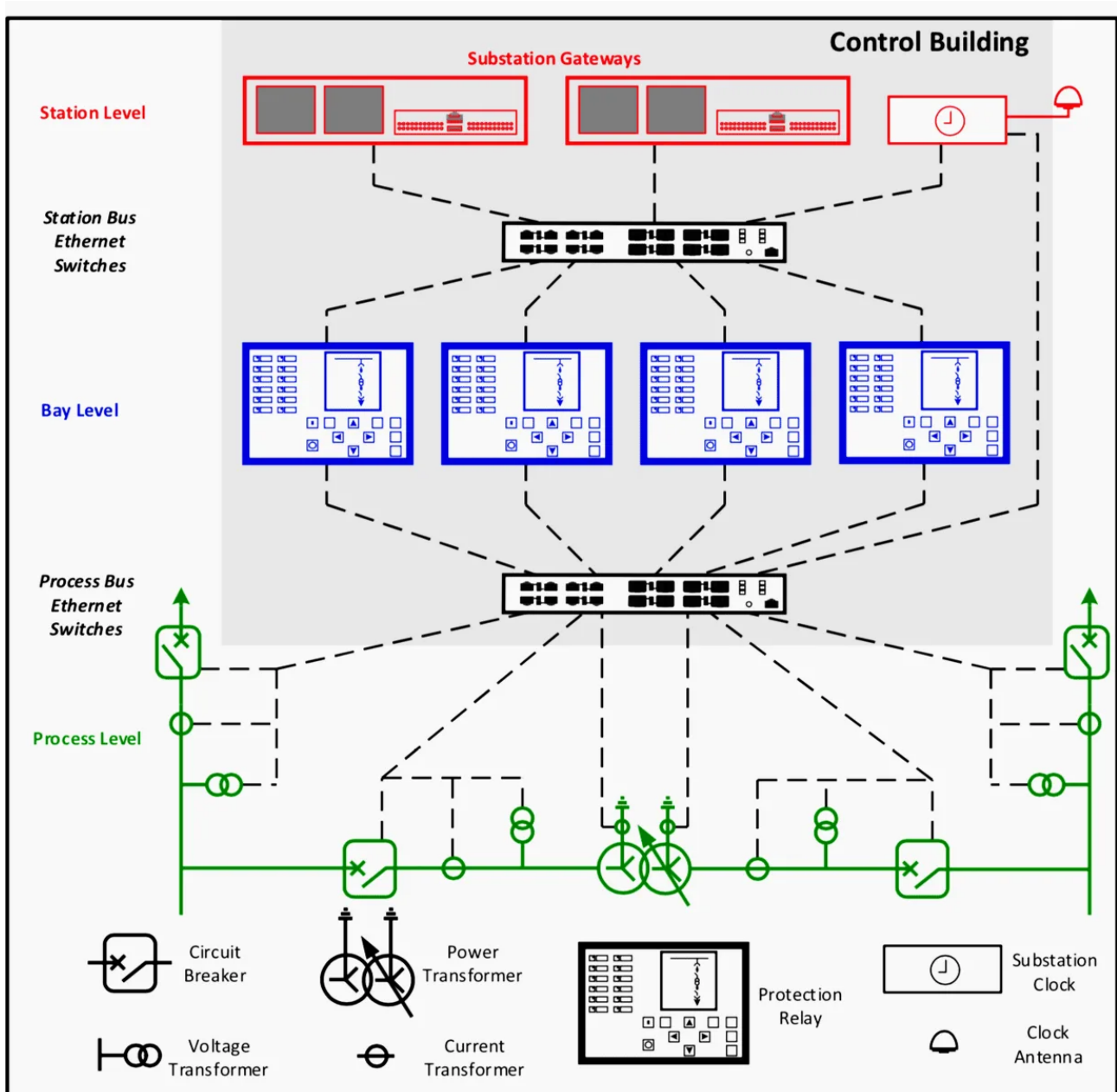


Figure 1. Digital substation structure

Known cyber attacks such as denial of service (DoS) attacks, virus and backdoor implants, GPS spoofing, manipulation of instantaneous value (SV) streams and MMS and GOOSE messages, and traffic flooding pose immediate threats to the operation of the digital substation structure.

Table compares the consequences of attacks on the information and physical subsystems of the centralized control system and possible measures to counter these attacks.

Table 1

CYBER ATTAC	Consequences		Countermeasures	
	Cyber subsystem	Physical subsystem	Cyber subsystem	Physical subsystem
1. Network traffic analysis	Stealing data about an object's network configuration	There is no threat to the technological process	Encryption	Not required
2. Attack to modify application software by introducing malware	Hacking servers and workstations, remote control of computing resources, channel administration	Incorrect operation of software applications. Triggering of hardware and software bugs. Unwanted shutdown/triggering of smart devices.	User authorization; Intrusion detection and prevention systems; installation of antivirus; prohibition of the use of flash cards, replacing them with CDs.	Using traditional analog circuits
3. DoS attack	Disabling a router, switch with multiple requests to the network	Control delay; failure to disable/activate intelligent devices	Strict authentication rules, ability to identify the attacker's IP address	Duplication of IED devices and channels
4. Packet transmission delay due to route change	Loss of information packets	Delay of control commands	Port Closure; Switch/Router/NMS Hardening	Using traditional analog circuits
5. GPS Signal Spoofing	Time synchronization error	There may be a mismatch between commands for disabling/activating intelligent devices	Using VLAN (Virtual Local Area Network); Antenna Direction Monitoring; Receiver Duplication	Equipment condition monitoring
6. Substitution of SV stream, MMS, GOOSE messages	SV-stream is the measurements of primary equipment, GOOSE control signals, MMS-exchange with the upper control level	Unwanted tripping/tripping; tripping/tripping failure	Message authentication	Equipment condition monitoring

Conclusion. The process of digitalization of energy systems and the introduction of intelligent technologies, as well as the use of complex technical, information and communication equipment have increased cybersecurity risks for energy enterprises, including digital substations. An important place in the digitalization of the electric power industry is occupied by the development of digital technological systems covering the production, transportation, dispatching and consumption of electricity. The digital substation is one of the key projects in this area.

Loss or distortion of information as a result of cyber attacks on the information and communication subsystem can lead to incorrect control actions and cause emergency situations both in the digital substation itself and in the energy system as a whole. Therefore, ensuring the cyber resilience of energy facilities is a critical task that requires a solution both by technical means and through organizational measures, including improving the skills of operational personnel.

Список литературы:

1. Воропай, Н. И. Проблемы повышения киберустойчивости цифровой подстанции / Н. И. Воропай, И. Н. Колосок, Е. С. Коркина // Релейная защита и автоматизация. – 2019. – Т. 34. – № 1. – С. 78– 83.
2. Куликов, А. Л. Обеспечение кибербезопасности в технологии «Цифровой подстанции» с учетом импортозамещения / А. Л. Куликов, В. М. Зинин, А. А. Петров // Релейная защита и автоматика энергосисте: материалы межд. научно-технической конференции. – 2017. – С. 941 944.
3. Левшин, В. П. Кибербезопасная ЦПС / В. П. Левшин, М. А. Шурдов // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2018. – №4(49). – С. 24 26.
4. Gouglidis A., Green B., Hutchison D., Alshawish A., and Hermann de Meer. Surveillance and security: protecting electricity utilities and other critical infrastructures. Available at: <https://doi.org/10.1186/s42162-018-0019-1>.
5. Mehrdad S., Mousavian S., Madraki G., Dvorkin Yu. Cyber-physical resilience of electrical power systems against malicious attacks: A review // Current Sustainable / Renewable Energy Reports. Available at: <https://doi.org/10.1007/s40518-018-0094-8>.

© Захватов Д. Е., 2024

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

2025

Редактор и корректор Е. О. Тарновская
Технический редактор Д. А. Романова

Научное электронное издание сетевого распространения

Системные требования:
электронное устройство с программным
обеспечением для воспроизведения файлов
формата PDF

Режим доступа: http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202016, по паролю.
- Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 06.02.2025. Изд. № 5283/24

Высшая школа технологии и энергетики СПб ГУПТД
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4