

ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МОЛОДЕЖИ

Материалы XXIV научно-практической конференции
с международным участием
(г. Кумертау, 9-10 апреля 2026 г.)



Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Уфимский университет науки и технологий»
Филиал в г. Кумертау

**ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ
НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МОЛОДЕЖИ**

*Материалы
XXIV научно-практической конференции
с международным участием
(г. Кумертау, 9–10 апреля 2026 г.)*

Уфа
Уфимский университет
2026

УДК 001
ББК 72
Д70

*Публикуется по решению кафедры технологий производства
летательных аппаратов УУНУТ.
Протокол № 8 от 30.04.2026 г.*

Редакционная коллегия:

д-р хим. наук, профессор **В. П. Захаров** (г. Уфа, Россия);
канд. техн. наук, доцент **А. Р. Фахруллина** (*отв. редактор*);
канд. техн. наук, доцент **А. Р. Ишкулова**;
канд. ист. наук, доцент **Ф. Ф. Харрасов**;
канд. филол. наук, доцент **Г. Р. Кочетова**;
канд. экон. наук, доцент **А. В. Ерофеев**;
канд. техн. наук, доцент **Л. А. Кромина**;
старший преподаватель **Р. М. Тузбеков**

Достижения и перспективы научных исследований молодежи: материалы
Д70 XXIV научно-практической конференции с международным участием
(г. Кумертау, 9–10 апреля 2026 г.) / отв. ред. А. Р. Фахруллина [Электронный
ресурс] / Уфимск. ун-т науки и технологий. – Уфа: Уфимский университет,
2026. – 666 с. – URL: [https://uust.ru/media/documents/digital-
publications/2026/146.pdf](https://uust.ru/media/documents/digital-publications/2026/146.pdf) – Загл. с титула экрана.
ISBN 978-5-7477-6419-4

Содержатся статьи, включенные в программу XXIV научно-практической
конференции с международным участием «Достижения и перспективы научных
исследований молодежи», состоявшейся в г. Кумертау 9–10 апреля 2026 г.

УДК 001
ББК 72

ISBN 978-5-7477-6419-4

© Уфимский университет, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1. СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ

АВТОМАТИЗАЦИИ И ИННОВАЦИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Волков А.С., Шулаева Е.А.

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ПРОЦЕССОМ СЖИЖЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА..... 13

Драгулин А.Э., Ишкулова А. Р.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БЛОКОМ
КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА НЕФТИ: АРХИТЕКТУРА, КОМПОНЕНТЫ,
ПРЕИМУЩЕСТВА..... 17

Ишемгулов А.И., Бондарев А.В.

АНАЛИЗ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ В
СЛЕСАРНОМ УЧАСТКЕ..... 24

Лебедев Д.Б., Ишкулова А.Р.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ НА ОСНОВЕ
КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ И ЦИФРОВИЗАЦИИ..... 30

Морозова А.И., Федоров С. В.

НОВОЕ СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ПОВЫШЕНИЯ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ МНОГОУРОВНЕВЫХ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ ПРИ ПЕРЕХОДЕ ОТ
ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫХ К ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ
НАПРЯЖЕНИЯМ УРОВНЕЙ..... 34

Саитов Г.Г., Ишкулова А.Р.

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ ДЛЯ ПТИЦЕВОДЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСА..... 42

Сулейманова А. Д., Федоров С. В.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПРИНЦИПА АМПЛИТУДНОЙ
МОДУЛЯЦИИ ДЛЯ НЕПОСРЕДСТВЕННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
ЧАСТОТЫ..... 48

Хасанчин Ф.Ю., Ишкулова А. Р.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКИ ЗА СЧЁТ ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ
ПОДВЕСНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ..... 60

Широков П.П., Ишкулова А. Р.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТВЁРДОТОПЛИВНЫХ КОТЕЛЬНЫХ КАК
КЛЮЧ К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ..... 66

Беспалов К.А., Кулакова Е.С.

AI-АССИСТЕНТ В КОРПОРАТИВНОЙ СИСТЕМЕ..... 73

Гайдукова А.Д., Муравьева Е.А. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ НЕЙРОННОЙ СЕТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ВХОДА В РЕАКТОР ХЛОРИРОВАНИЯ РЕЦИКЛОВОГО ДИХЛОРЭТАНА.....	78
Кутлугалямова О.В., Кулакова Е.С. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ.....	82
Лабеев М.Н., Кулакова Е.С. РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ БПЛА В УСЛОВИЯХ ОТСУТСТВИЯ СИГНАЛА GPS.....	87
Мамлеев М.Д., Муравьева Е.А. СОЗДАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ СОДОВОЙ ПЕЧИ.....	92
Никитин А.А., Кулакова Е.С. РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АВТОПИЛОТИРОВАНИЯ БПЛА ПРИ ОБЛЕТЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ (НЕФТЕПРОВОДОВ).....	96
Сидорочева А.А., Кулакова Е.С. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КРИОГЕННОЙ УСТАНОВКОЙ.....	101
Скрипник М.В., Муравьева Е.А. РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОЗИРОВАНИЕМ ФЛОКУЛЯНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ.....	106
Тимофеев И.Е., Муравьева Е.А. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ УСТАНОВКИ ГИДРООЧИСТКИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА.....	110
Шокурова Е.А., Кулакова Е.С. РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ВОДЫ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ И ФОРМИРОВАНИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ СУДОХОДСТВА.....	114
Биткулов В.В., Муравьева Е.А. РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ГЕЛИЯ ИЗ АЗОТНО-ГЕЛИЕВОЙ СМЕСИ.....	118
Биткулова Ю.Р., Муравьева Е.А. РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ УДАЛЕНИЯ ВОДОРОДА ИЗ АЗОТНО-ГЕЛИЕВОЙ СМЕСИ.....	122
Дунюшкин М.С., Муравьева Е.А. АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ КАРБОНИЗАЦИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ КАЛЬЦИНИРОВАННОЙ СОДЫ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ.....	125

Мусин А.Р., Муравьева Е.А. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ИШИМБАЙСКИМИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СЕТЯМИ.....	129
Осипов Д.В., Муравьева Е.А. РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	132
Азылгареева А. А., Кулакова Е.С. РАЗРАБОТКА НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ.....	136
Вершинин А.А., Кулакова Е.С. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ЗАЩИЩЁННОЙ ПЕРЕДАЧИ МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ С АДАПТИВНЫМ ВЫБОРОМ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДОВ.....	143
Гарифуллин Р. Р., Муравьева Е.А. ЦИФРОВИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПОТОКОВ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ.....	147
Кириллова Е.П., Муравьева Е.А. ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ВАКУУМНОЙ РЕКТИФИКАЦИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АГИДОЛА-1.....	151
Рахматов Шахбоз Шухрат угли, Коваленко Ю.Ф. АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА СЫРЬЯ НА ПРИМЕРЕ УСТАНОВКИ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ.....	156
Свайди А.Т., Муравьева Е.А. НЕЙРОСЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ ВОДОНЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ НА ОСНОВЕ НЕПОЛНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ.....	162
Ахмед И.М.Х., Муравьева Е.А. РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ВЫДЕЛЕНИЯ КАУЧУКА ИЗ ЛАТЕКСА НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	171
Варфоломеев В.А., Муравьева Е.А. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ТЕСТОВЫХ СЦЕНАРИЕВ: ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТИВНО-СОСТЯЗАТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ (GAN) ДЛЯ ВЕРИФИКАЦИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ.....	175
Евменова С.М., Муравьева Е.А. НЕЙРОСЕТЕВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЕЖИМОМ КАРБОНИЗАЦИОННОЙ КОЛОННЫ.....	180
Ербулатулы Н., Муравьева Е.А. РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УЗЛОМ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ПИПЕРИЛЕНА И ОЧИСТКИ ОТ ТЯЖЁЛЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ.....	184

Зюзько А.Д., Муравьева Е.А. МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМ ПРОФИЛЕМ ШАХТНОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗВЕСТИ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА.....	188
Исмаиел М.Х.И., Муравьева Е.А. РАЗРАБОТКА КАСКАДНОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ.....	193
Муталлапов А.В., Муравьева Е.А. РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УЗЛОМ ПОГЛОЩЕНИЯ АБГАЗОВ, ОХЛАЖДЕНИЯ И ОСУШКИ ХЛОРА.....	197
Трифонов В.Н., Муравьева Е.А. ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЖИЗНИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТРАСЛЕЙ: ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ КАК КЛЮЧЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕДИКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ.....	201
Абдусаломов А. Б., Федоров С. В., Фахруллина А. Р. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ КОЛОННЫ УЛАВЛИВАНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ ДЛЯ АСУ ТП ДВУХСТАДИЙНОГО ДЕГИДРИРОВАНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ.....	205
Аллахвердиев Э. Н., Федоров С. В., Фахруллина А. Р. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ТУРБОКОМПРЕССОРНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ АСУ ТП УСТАНОВКОЙ ОСУШКИ СЖАТОГО ВОЗДУХА.....	214
Арманов А., Федоров С. В., Фахруллина А. Р. РАЗРАБОТКА НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАРОВОГО КОТЛА БКЗ 75-3,9	221
Астанов Али Черкез Оглы, Федоров С. В., Фахруллина А. Р. ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАРОВОГО КОТЛА БКЗ-210-140Ф НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА.....	229
Ахмед Ислам Махмуд Халаф, Федоров С. В., Фахруллина А. Р. СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ БАРАБАННОЙ КОНВЕКТИВНОЙ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ ДЛЯ СУШКИ ЖЕЛЕЗНОГО КОНЦЕНТРАТА В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ.....	236
Бута Андерсон Нашсменту Дала, Федоров С. В., Фахруллина А. Р. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА КВГМ 70–150 НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА.....	246

Джакупов О. С., Федоров С. В., Фахруллина А. Р. МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАРОВОГО КОТЛА ТГМП-344А НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА В МАТЛАВ.....	254
Ербулатулы Нурсултан, Федоров С. В., Фахруллина А. Р. СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЕАЭРАТОРА АТМОСФЕРНОГО ТИПА ДСА-15070 НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА.....	261
Исмаилел Мухамед Хемдан Ибрахим, Федоров С. В., Фахруллина А. Р. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ИСПАРИТЕЛЯ ДЛЯ АСУ ТП РЕГЕНЕРАЦИИ МЕТАНОЛА.....	269
Куанышкалиев А. С., Федоров С. В., Фахруллина А. Р. РЕГУЛЯТОР НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОПАРОЧНЫМ БУНКЕРОМ СВРВ-4000 (METSO PAPER).....	277
Рахматов Шахбоз Шухрат угли, Федоров С. В., Фахруллина А. Р. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПЕЧИ ДЛЯ АСУ ТП ПРОИЗВОДСТВА ФОРМОВОГО ХЛЕБА.....	286
Свайди Абдуллах Тахсин Фалих, Федоров С. В., Фахруллина А. Р. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ТЕПЛООБМЕННИКА ДЛЯ АСУ ПОДГОТОВКИ ЭЛЕКТРОЛИЗНОГО РАССОЛА.....	295
Турсунбоев Азимжон Дилшоджон угли, Федоров С. В., Фахруллина А. Р. РЕАЛИЗАЦИЯ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛООБМЕННИКА ALFA LAVAL M15B65.....	303
Урунов С. С., Федоров С. В., Фахруллина А. Р. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ НАСОСА ТРАНСПОРТИРОВКИ СЫРОЙ НЕФТИ ДЛЯ СИНТЕЗА АСР ТП РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ.....	311
СЕКЦИЯ 2. ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В РАЗВИТИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК	
Дремин Н.В., Бабушкина М.В. ПРИЧИНЫ МИРОВОЙ ПОПУЛЯРНОСТИ БОЕВЫХ САМОЛЁТОВ МАРКИ СУ.....	323
Егоров В.С., Кильметова А. А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАШИН ГОЛДБЕРГА ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА.....	327

Терентьева О.Б., Жаилканов А.С. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ С ПОЗИЦИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЛОЖНОСТИ.....	331
Терентьева О.Б., Спащенко Н.Д. ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОСТИ ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНА КЛЮЧЕВСКАЯ СОПКА.....	337
Терентьева О.Б., Федькин С.В. АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БПЛА В ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ ГОРОДА	341
Терентьева О.Б. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕОРЕМЫ ОБ ОПРЕДЕЛЕННОМ ИНТЕГРАЛЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ПУТЕМ.....	346
СЕКЦИЯ 3. АСПЕКТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ГУМАНИТАРНЫХ НАУК	
Вазитдинов М. Д., Кочетова Г. Р. ТЕХНИКА ЗАПОМИНАНИЯ НОВОЙ ЛЕКСИКИ ДЛЯ ПРОГРАММИСТОВ.....	352
Волкова Л. В., Даутова З. З., Кочетова Г. Р. РОЛЬ ИЗУЧЕНИЯ ИНОСТРАННОГО ЯЗЫКА В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АВИАЦИОННЫХ ИНЖЕНЕРОВ.....	355
Кочетова Г. Р., Мигранов А. Г. КЛАССИЧЕСКИЕ ПЕЧАТНЫЕ СЛОВАРИ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЯХ ПО ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ.....	359
Панфилов А. В., Кочетова Г. Р. РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ МГНОВЕННОГО ПЕРЕВОДА КАК ПРИЧИНА ИСЧЕЗНОВЕНИЯ МОТИВАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ АНГЛИЙСКОГО ЯЗЫКА.....	365
Хаметов Р. А., Кусяпов А.В., Кучкарова А. А. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МОЛОДЕЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ С ГОСУДАРСТВЕННЫМИ ОРГАНАМИ В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН.....	370
СЕКЦИЯ 4. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ	
Даутова З. З., Волкова Л.В., Ерофеев А.В. АНАЛИЗ ЧИСЛЕННОСТИ НАСЕЛЕНИЯ И МИГРАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН.....	374
Мигранов А. Г., Фазылов М.-Р. Р., Ерофеев А.В. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЕНЕЖНО-КРЕДИТНОЙ ПОЛИТИКИ ЦЕНТРАЛЬНОГО БАНКА НА ЭКОНОМИКУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В УСЛОВИЯХ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ.....	382
Распопова Д.А., Цыркаева Е. А. ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ.....	392

Сиваков Н. А., Кромина Л. А. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОЙ ЭКОНОМИКИ.....	400
Узянбаева Л.И., Цыркаева Е. А. АНАЛИЗ ФИНАНСОВЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ.....	404
Фатиев А.В., Дорожкин Ю. Н. СОЦИАЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА И УНИВЕРСИТЕТОВ КАК ЭФФЕКТИВНАЯ ФОРМА СОЦИАЛЬНЫХ ИНВЕСТИЦИЙ В ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ КАПИТАЛ.....	410
Шабыкин К.Ю., Цыркаева Е. А. ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ РЕНТАБЕЛЬНОСТИ АКТИВОВ ПАО «ЛУКОЙЛ».....	416
СЕКЦИЯ 5. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	
Ахунов В.И., Родионова Л.Е. ИИ-АССИСТЕНТ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ КОГНИТИВНОЙ НАГРУЗКИ НА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ.....	420
Батин А.В., Кромина Л.А. ВЫЯВЛЕНИЕ НЕДОСТАТКОВ ПРОЦЕССА ВЕДЕНИЯ РЕЕСТРА ФЛАНЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ИХ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ.....	424
Буркин А. А., Родионова Л. Е. НЕЙРОСЕТЕВЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В БОРТОВЫХ СИСТЕМАХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ.....	428
Вазитдинов М.Д., Кромина Л.А. МИНУСЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СФЕРЕ.....	432
Дубкова В. А., Родионова Л. Е. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИБРИДНОГО МЕТОДА ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ В СЕТЕВОМ ТРАФИКЕ УСТРОЙСТВ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ.....	436
Имамов Р.А., Иксанова О.Н. АВТОМАТИЗАЦИЯ УЧЁТА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ОБОРУДОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ.....	442
Кальянова К.В., Полякова А.А. ДВОЙНИК МЕЖДУ МИРАМИ: ТЕОРИЯ, ЭВОЛЮЦИЯ, ОТРАСЛЕВЫЕ ЛАНДШАФТЫ.....	448
Каменева А.Е., Корнев К.В., Родионова Л.Е. МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ СОСТАВЛЕНИЯ МАРШРУТА ДЛЯ ЛИЦ С ОВЗ И ИНВАЛИДНОСТЬЮ.....	454

Князев А.К., Чурилкина Н.В. СЕРЫЕ СХЕМЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СУВЕРЕНИТЕТ: ПОЧЕМУ КОМПАНИИ ПРОДОЛЖАЮТ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ИНОСТРАННОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В ОБХОД САНКЦИЙ.....	460
Корнев К. В., Каменева А. Е., Родионова Л. Е. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ JAVASCRIPT И TYPESCRIPT В РАЗРАБОТКЕ МАСШТАБИРУЕМЫХ СИСТЕМ.....	468
Панфилов А.В., Кромина Л.А. АДАПТИВНАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА С ИИ ДЛЯ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА УСПЕВАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ.....	472
Хамидуллин Р.Р., Бондарев А.В. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПОДДЕРЖКИ АБИТУРИЕНТА В ПРИЕМНОЙ КОМИССИИ ВЫСШЕГО УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ	479
Хлопонин И. Н., Мисовский А. Д., Кромина Л. А. МОДЕЛИРОВАНИЕ УГРОЗ И РИСКОВ ДЛЯ КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ	483
Шишкина К..Д., Семенко. Е.С. РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ AI- АССИСТЕНТА ДЛЯ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ SMARTDAY.	487
Харитонов А. С., Тамбаев А. М. ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ АБИТУРИЕНТА НА БАЗЕ TELEGRAM-БОТА И АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	498
СЕКЦИЯ 6. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ	
Бабенко И.С., Матвиенко Т.В. АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОЛЛАПСА 2026 ГОДА: ИСТОКИ, МАСШТАБЫ, ПОСЛЕДСТВИЯ И ГЕОПОЛИТИЧЕСКАЯ РОЛЬ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	507
Баскаков В.В., Зайцев Е. А., Зайцева А. А. ДВУХКАНАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОКОНУСНОСТИ НЕСУЩИХ ВИНТОВ ВЕРТОЛЕТА	512
Баскаков В.В., Шарипов А. З., Зайцева А. А. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ НАВИГАЦИИ ТЕХНОЛОГИЕЙ «МАШИННОГО ЗРЕНИЯ» В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ	518
Баскаков В.В., Зайцева А. А. СЕГМЕНТАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ И ФОРМИРОВАНИЕ БЕЗОПАСНЫХ ТРАЕКТОРИЙ АВТОНОМНОГО ПОЛЕТА БПЛА В УСЛОВИЯХ МНОГОЧИСЛЕННЫХ ПОМЕХ И ПРЕПЯТСТВИЙ	523
Баскаков В. В., Трушин А. А., Зайцева А. А. ВЫЧИСЛИТЕЛЬ ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ СВС	531

Волкова Л. В., Даутова З. З., Зайцева А. А. ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ НА ОСНОВЕ САМОЛЕТНОЙ СХЕМЫ ДЛЯ БПЛА	539
Волкова Л. В., Даутова З. З., Зайцева А. А. РАЗРАБОТКА ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ МАЛОЙ АВИАЦИИ	544
Волкова Л. В., Даутова З. З., Зайцева А. А. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДИАГНОСТИКЕ ВИБРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ	549
Гаврилов В.Ф., Горбунов Д.Е., Зайцева А. А. ОСОБЕННОСТИ ИНТЕГРАЦИИ БПЛА В СОСТАВ РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНО-ОГНЕВЫХ КОНТУРОВ	556
Гаврилов В.Ф., Силин И.П., Зайцева А. А. РАЗВЕДКА БЕЗ РИСКА, РОЛЬ БПЛА В СБОРЕ ДАННЫХ	560
Горбунов Д.Е., Гаврилов В.Ф., Зайцева А. А. НЕВИДИМЫЕ ХИЩНИКИ: ОБЗОР ПЕРЕДОВЫХ УДАРНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ТАКТИКУ СОВРЕМЕННОГО БОЯ	564
Горбунов Д.Е., Гаврилов В.Ф., Зайцева А. А. МЕТОДОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ МОДИФИЦИРОВАННОГО РЕДУКТОРА НА ДВИГАТЕЛЕ ГТДЭ-117	568
Горбунов Д.Е., Силин И.П., Зайцева А. А. ИНТЕГРАЦИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (БПЛА) В ЕДИНОЕ ВОЗДУШНОЕ ПРОСТРАНСТВО: ПРАВОВЫЕ КОЛЛИЗИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ	571
Даутова З. З., Волкова Л.В., Зайцева А. А. ВИБРОДИАГНОСТИКА ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ: ОТ ТЕОРИИ К БОРТОВЫМ СИСТЕМАМ КОНТРОЛЯ	575
Даутова З. З., Волкова Л.В., Зайцева А. А. АНАЛИЗ ВИБРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ И АППАРАТУРЫ: ОСНОВЫ И ЭТАПЫ.	581
Силин И. П., Гаврилов В.Ф., Зайцева А. А. ДЕСТРУКТИВНОЕ ВЛИЯНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ ВИНТОМОТОРНЫХ ГРУПП ГЕКСАКОПТЕРОВ НА РЕПРЕЗЕНТАТИВНОСТЬ ПРОБ ГАЗОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ	585
Силин И. П., Горбунов Д.Е., Зайцева А. А. АНАЛИЗ ТАКТИКИ ПРИМЕНЕНИЯ МАЛЫХ БПЛА В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКИХ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ.	589
Трушин А.А., Силин И.П., Зайцева А. А. РОЛЬ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ЖИВУЧЕСТИ БРОНЕТАНКОВЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННЫХ КОНФЛИКТОВ	593

Трушин А.А., Тузбеков Р.М. ПОТОЧНЫЙ РЕНТГЕНСПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗАТОР АРП-2Ц КАК ИНСТРУМЕНТ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ СОСТАВА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ.	597
Тузбеков Р. М., Филатов А. С. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ (БАС)	601
Хаметов Р.А. МЕТОДЫ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ	606
Шарипов А.З., Силин И. П., Зайцева А.А. ТАКТИКА «РОЯ» БПЛА КАК МЕТОД ПРЕОДОЛЕНИЯ ЭШЕЛОНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПВО	611
НАПРАВЛЕНИЕ 1. (УЧАЩИЕСЯ СРЕДНИХ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ). ОКРУЖАЮЩИЙ МИР (ПРИРОДОВЕДЕНИЕ. БИОЛОГИЯ. ХИМИЯ. ЭКОЛОГИЯ)	
Краснова В., Бурнаева Н. Н. «ЛАСТОНОГОЕ ЧУДО БАЙКАЛА»	615
Оразова В.М., Алибаева Л.И. СЕКРЕТЫ КАЛЕНДУЛЫ	624
Тимерханов Л.Р., Кузьминская О.А. НАУЧНЫЕ И МЕДИЦИНСКИЕ РИСКИ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ ДЛЯ ЧЕЛОВЕКА	630
НАПРАВЛЕНИЕ 2. (УЧАЩИЕСЯ СРЕДНИХ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ). ТЕХНОЛОГИЯ. ТЕХНИКА. ЧЕРЧЕНИЕ. ФИЗИКА. АВИАМОДЕЛИРОВАНИЕ	
Богодухова О. П., Лагуткина Е. Н. «ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА В МЕДИЦИНЕ»	636
Кириллов Н.Е., Кириллов Е.Ю. УСТРОЙСТВО СБРОСА ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ ДЛЯ МУЛЬТИРОТОРНОГО БПЛА ДЛ МОДЕЛЬНОГО РЯДА MAVIC-3 ДЛЯ ДОСТАВКИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ, МЕДИКАМЕНТОВ, ВОДЫ В ТРУДНОДОСТУПНЫЕ МЕСТА	645
Кириллова В.Е., Кириллов Е.Ю. ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ БПЛА В СФЕРЕ ЖИЛИЩНО – КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА	650
НАПРАВЛЕНИЕ 3. (УЧАЩИЕСЯ СРЕДНИХ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ). ИСТОРИЯ. ОБЩЕСТВОЗНАНИЕ. ГЕОГРАФИЯ	
Хамитова М. Р., Кучербаева Л. Ф. ТЕРРОРИЗМ; СОЦИАЛЬНЫЕ СЕТИ КАК ИНСТРУМЕНТ ВЕРБОВКИ: ПОЧЕМУ МОЛОДЁЖЬ ПОПАДАЕТ ПОД ВЛИЯНИЕ ТЕРРОРИСТИЧЕСКОЙ ИДЕОЛОГИИ?	654

СЕКЦИЯ 1. СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ И ИННОВАЦИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 681.5

Волков А.С.

ИХТИ УГНТУ в г. Стерлитамаке

Доцент *Шулаева Е.А.*

Институт химических технологий и инжиниринга Уфимского нефтяного
технического университета

Volkov A.S.

Ihti UGNTU in Sterlitamak

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ СЖИЖЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT SYSTEM FOR CONTROLLING THE NATURAL GAS LIQUEFACTION PROCESS

Аннотация: Статья посвящена анализу методов искусственного интеллекта, применяемых для оптимизации процессов сжижения природного газа с применением МРС-цикла. Нейронные сети, обученные на реальных заводских данных, оптимизируют состав хладагента под параметры окружающей среды: температуру и влажность охлаждающего воздуха, снижая энергозатраты и ОРЕХ. Рассматривается обзор и подбор методов искусственного интеллекта для решения задач оптимизации технологических процессов. Рассматриваются перспективы применения полученной модели.

Abstract: The article is devoted to the analysis of artificial intelligence methods used to optimize natural gas liquefaction processes using the MRC cycle. Neural networks trained on real factory data optimize the refrigerant composition based on environmental parameters, such as temperature and humidity of the cooling air, reducing energy consumption and OPEX. The article provides an overview and selection of artificial intelligence methods for solving optimization tasks in technological processes. The article also discusses the prospects for using the obtained model.

Ключевые слова: Сжижение природного газа, нейронная сеть, смешанный хладагент.

Keywords: Natural gas liquefaction, neural network, mixed refrigerant.

Природный газ - альтернативное топливо по отношению к нефтепродуктам и углю, при сжигании которого выделяется значительно меньше диоксида углерода, использование его в энергетике обладает рядом преимуществ и имеет хорошие перспективы в будущем, связанных с возрастающей тенденцией к

снижению парникового эффекта от сжигания ископаемого топлива, а также с активной разработкой газовых месторождений [1].

Одним из основных способов транспортировки природного газа от места добычи до потребителя является его сжижение и доставка с помощью танкеров. Снижение эксплуатационных затрат на сжижение газа позволяет повысить конкурентоспособность СПГ и расширение рынков сбыта [2]. Процесс сжижения происходит в спиральновитом теплообменном аппарате, в рассматриваемом варианте в качестве хладагента используется смешанный хладагент (СХА), содержащий азот, метан, пропан, изобутан, этилен (или этан), который сжимается на центробежном компрессоре в две ступени и охлаждается воздухом. Тяжелые, жидкие фракции СХА поступают в спиральновитой теплообменник для предварительного охлаждения газа и для конденсации легких составляющих СХА, которые в дальнейшем используются для ожижения и переохлаждения природного газа [3].

Эффективность процесса сжижения природного газа с применением цикла СХА зависит от термобарических параметров и близости кривой охлаждения природного газа и кривой кипения хладагента [4]. Таким образом, регулирование состава хладагента в зависимости от температуры окружающей среды является важнейшей задачей.

Определение состава хладагента требует больших вычислительных ресурсов и затрат времени на численный расчет градиентов, поэтому целесообразно использовать алгоритмы нейронных сетей, содержащих данные о кривых кипения разных СХА, для пересчета состава хладагента [5].

Для обучения нейронной сети может быть использован массив данных по кривым кипения СХА, полученных с использованием термодинамическая модели теплообменника в программе Aspen Hysys с использованием уравнения состояния Пенга – Робинсона [6].

Так же для обучения нейронной сети может быть использован массив входных и выходных данных по составу СХА, термобарическим параметрам, расходу энергии, полученных с действующей установки [7].

Как показано в работах [8,9] для моделирования и оптимизации работы аппаратов, применяемых в производстве СПГ эффективны нейросетевые модели и нечеткие системы (ANFIS), способные учитывать влияние внешних факторов (температура воздуха) на эффективность охлаждения.

С учетом особенностей технологического процесса со смешанным хладагентом (MRC) окончательно обосновывается выбор гибридной методологии «ИНС (MLP) + многокритериальный генетический алгоритм (NSGA-II)» в качестве базовой для построения модели [10].

Возможности применения полученной модели для дальнейших исследований: от использования в создании цифровых двойников и компьютерных тренажеров до построения интеллектуальной системы управления технологическим процессом в реальном времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никулин, А.С. Применение искусственных нейронных сетей для подбора состава смесового хладагента с заданной кривой кипения / А.С. Никулин, Д.Н. Жедяевский, Е.Б. Федорова // Компьютерные исследования и моделирование. – 2022. – Т. 14, № 3. – С. 593–608. – DOI: 10.20537/2076-7633-2022-14-3-593-608.
2. Saeid Mokhatab, John Y. Mak, Jaleel V. Valappil and David A. Wood. – 1st Edition. – Gulf Professional Publishing, Elsevier Inc., XXVI, 2014. 589 p. – ISBN–13: 978-0-12-404585-9.
3. Радаев, И. А. Моделирование циклов сжижения природного газа: учебно-методическое пособие / И. А. Радаев, Е. Б. Федорова. – Москва: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, 2024. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – 3,50 Мб.
4. Федорова, Е. Б. Современное состояние и развитие мировой индустрии сжиженного природного газа: технологии и оборудование / Е. Б. Федорова. – Москва: РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина, 2011. – 159 с.
5. Хайкин, Саймон. Нейронные сети: полный курс: учебное пособие / Саймон Хайкин; пер. с англ. – 2-е изд. – Москва: Издательский дом "Вильямс", 2016. – 1104 с.
6. Al-Malah, Kamal. Aspen Plus: Chemical Engineering Applications. 1st ed., John Wiley & Sons Ltd, October 2016. ISBN: 978-1-119-13123-6. doi:10.1002/9781119293644.
7. Петухов, И. С., Китова, К. С., Никулин, А. С. Постройка гибридных цифровых двойников объектов подготовки нефти и газа на основе открытых программных продуктов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ibs.ru/media/postroenie-gibridnykh-tsifrovyykh-dvoynikov-obektov-podgotovki-nefti-i-gaza-na-osnove-otkrytykh-programmnykh-produktov/#anh4> (дата обращения: 21.09.2025).
8. Зубарь, Ф.М. Применение методов машинного обучения для повышения эффективности работы газотурбинной установки компрессорной станции / Ф.М. Зубарь // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2025. – Т. 2, № 2. – С. 218-223. – DOI:10.24412/2500-1000-2025-2-1-218-223.

9. Абдуллаев, Р.В. Оптимизация подготовки газа на основе имитационного моделирования процессов абсорбционной осушки и гидратообразования нечеткими системами: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 25.00.17 / Абдуллаев Ровиан Вазир оглы. – Ижевск : ИжГТУ, 2012. – 24 с.
10. Wang, X., & Li, Y. (2021). Optimization of mixed refrigerant composition in LNG process using a hybrid neural network and genetic algorithm approach. *Energy*, 235, 121354.

Драгулин А.Э.

Уфимский университет науки и технологий

Науч. рук. канд. техн. наук *Ишкулова А. Р.*

Уфимский университет науки и технологий

Dragulin A.E.

Ufa University of Science and Technology

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БЛОКОМ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА НЕФТИ: АРХИТЕКТУРА, КОМПОНЕНТЫ, ПРЕИМУЩЕСТВА

AUTOMATED OIL QUALITY CONTROL UNIT MANAGEMENT SYSTEM: ARCHITECTURE, COMPONENTS, AND BENEFITS

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы автоматизации блока контроля качества нефти (БКК) как ключевого элемента системы измерений количества и показателей качества нефти. Проведен анализ технологических проблем, связанных с обеспечением представительности отбора проб и точности измерений в экстремальных условиях эксплуатации. На основе сравнительного анализа предложено техническое решение, включающее современные измерительные преобразователи, исполнительные механизмы и программируемый логический контроллер. Предложенная архитектура АСУ ТП обеспечивает высокую надежность, отказоустойчивость и соответствие требованиям промышленной безопасности.

Abstract. The article discusses the automation of the oil quality control unit (OKU) as a key element of the system for measuring the quantity and quality of oil. The article analyzes the technological problems associated with ensuring the representativeness of sampling and the accuracy of measurements in extreme operating conditions. Based on a comparative analysis, a technical solution is proposed that includes modern measuring transducers, actuators, and a programmable logic controller. The proposed automation system ensures high reliability, fault tolerance, and compliance with industrial safety requirements.

Ключевые слова: блок контроля качества, автоматизация, коммерческий учет нефти, АСУ ТП, изокINETичность, ПИД-регулятор, кориолисовый расходомер.

Keywords: oil quality control unit, automation, commercial oil metering, automated process control system, isokinetic, PID controller, Coriolis flowmeter.

В современных экономических условиях точность коммерческого учета углеводородного сырья напрямую влияет на финансовые показатели нефтегазовых предприятий. Потери от погрешностей измерений могут исчисляться миллионами рублей, что делает задачу совершенствования систем контроля качества нефти (БКК) крайне актуальной [1].

Блок контроля качества нефти является составной частью системы измерений количества и показателей качества нефти (СИКН) на центральных пунктах сбора (ЦПС) и нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ). От его работы зависит достоверность определения таких ключевых параметров, как плотность, влагосодержание и массовый расход, которые являются основой для взаиморасчетов между поставщиком и потребителем.

Кроме того, автоматизация БКК позволяет минимизировать влияние человеческого фактора, обеспечить непрерывный мониторинг в режиме реального времени и оперативно реагировать на нештатные ситуации. Учитывая, что эксплуатация происходит во взрывоопасных зонах и при экстремально низких температурах (до -54°C), разработка надежной и отказоустойчивой системы управления является важной научно-технической задачей [2].

Анализ технологического процесса БКК и условий его эксплуатации позволяет выделить ряд системных проблем, требующих решения при проектировании автоматизации:

1. Ключевым условием корректного отбора проб по ГОСТ 2517-2012 [3] является изокINETичность потоков в основном трубопроводе и пробозаборном устройстве. Это требует высокоточного поддержания расхода через БКК в диапазоне от 3,0 до 8,0 м³/ч, что усложняется нестабильностью расхода нефти в магистральных трубопроводах.

2. Нефть содержит коррозионно-активные компоненты (сероводород, меркаптаны), а оборудование работает в условиях низких температур (до -54°C) и во взрывоопасной зоне. Это предъявляет повышенные требования к материалам, степени защиты (IP не ниже 65/66) и взрывозащите (Exd) применяемых средств автоматизации.

3. Оборудование БКК (фильтры, насосы, пробоотборники) требует периодического обслуживания и ремонта. Остановка блока для этих целей недопустима, так как приведет к остановке перекачки нефти на магистрали.

4. Для коммерческого учета требуются высочайшие метрологические характеристики (например, погрешность измерения плотности $\pm 0,3$ кг/м³). Использование устаревших или неподходящих датчиков приводит к несоответствию требованиям Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений.

Таким образом, автоматизации БКК является сложной задачей, решение которой требует учета выше указанных проблем.

В настоящее время на рынке представлен широкий спектр решений для автоматизации БКК, которые можно классифицировать по нескольким направлениям.

В области измерения давления и перепада давления доминируют интеллектуальные датчики на тензорезистивном принципе. Лидерами рынка являются продукты Emerson Rosemount 3051 и Endress+Hauser Deltabar S, отличающиеся высокой точностью (до $\pm 0,065\%$), однако их стоимость остается высокой (до 50 000 руб.). В качестве более доступной альтернативы выступают датчики Метран-150CD/TG (погрешность $\pm 0,075\%$, стоимость $\sim 22\ 000$ руб.), которые полностью соответствуют требованиям по взрывозащите.

Для измерения расхода в вязких средах, таких как нефть, наиболее точным решением являются кориолисовые расходомеры. Зарубежные аналоги, такие как Micro Motion (Emerson) или CoriolisMaster (Siemens), демонстрируют наилучшие метрологические показатели (погрешность $\pm 0,05\%$), но их стоимость может достигать 600 000 руб. Российский аналог ШТРАЙ-МАСС (погрешность $\pm 0,5\%$) предлагает компромиссное решение с достаточной для технологического учета точностью и ценой около 350 000 руб.

В области пробоотборных устройств существуют решения, работающие по пропорциональному объему или времени. Модель Isolok 3610 (США) обладает широкими функциональными возможностями, но ее стоимость и сложность сервисного обслуживания делают менее привлекательной. Российский пробоотборник Отбор-А-Рслив адаптирован к местным условиям, имеет необходимое взрывозащищенное исполнение 1ExdIIAT3 и более доступную цену.

На основе проведенного анализа технологического процесса и сравнительного анализа существующих решений предлагается следующий комплекс мер и технических средств для создания эффективной АСУ ТП БКК.

1. Для обеспечения непрерывности процесса предлагается архитектура с резервированием критических узлов: фильтров ($\Phi 1$, $\Phi 2$), циркуляционных насосов ($H 1$, $H 2$) и пробоотборников ($П 1$, $П 2$). Управление переключением между основной и резервной линиями осуществляется автоматически по

сигналам от ПЛК через электромагнитные клапаны, установленные на входах и выходах оборудования.

2. Для обеспечения требуемой точности и надежности в условиях Крайнего Севера и взрывоопасных зон предлагается использовать следующий комплект датчиков и исполнительных механизмов:

- Перепад давления: Метран-150CD (погрешность $\pm 0,075\%$, Exd, IP66). Выбор обоснован оптимальным соотношением цены и качества, а также наличием HART-протокола [4].

- Температура: Rosemount 644 (погрешность $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$, Exd, IP68). Обеспечивает наилучшую защиту от влаги и высокую точность.

- Избыточное давление: Метран-150TG (аналогично дифманометру).

- Плотность: FD900 (Emerson) (погрешность $\pm 0,3$ кг/м³). Обеспечивает необходимую точность для коммерческого учета.

- Влагосодержание: УДВН-1пм (погрешность $\pm 0,1\%$). Выбран как надежный отечественный аналог, адаптированный к российской нефти.

- Расход: ШТРАЙ-МАСС-25-Э-М-И-Ех. Кориолисовый расходомер с достаточной точностью и наличием взрывозащиты.

- Регулирование расхода: Для обеспечения изокинетичности предлагается использовать частотно-регулируемый привод на базе преобразователя INNOVERT GD20-2R2G-4, управляющего насосом ЦГ 6,3/20К-1,1-2. Использование ЧП позволяет плавно изменять скорость вращения насоса, точно поддерживая заданный расход по сигналу от расходомера.

- Пробоотбор: Автоматический пробоотборник Отбор-А-Рслив, управляемый от ПЛК, обеспечивает отбор репрезентативной пробы.

- Запорная арматура: Электромагнитные клапаны СЕНС-DN50 PN40 (ExdIIBT4) для автоматического переключения потоков.

3. В качестве ядра системы предлагается программируемый логический контроллер Delta DVP 20SX211R с модулями расширения DVP-06AD (аналоговый ввод) и DVP-08SN (дискретный вывод). Данный ПЛК обладает достаточным количеством каналов, поддерживает интерфейсы RS-485 (Modbus RTU) для связи с "интеллектуальными" датчиками и частотным преобразователем, что позволяет минимизировать количество аналоговых линий связи и повысить помехозащищенность. АРМ оператора подключается по

Ethernet, обеспечивая визуализацию и передачу данных на верхний уровень АСУ ТП.

Обеспечения эффективного функционирования системы управления БКК невозможно только лишь за счет совершенствования технических средств автоматизации. Повышение точности учета расхода и показателей качества нефти необходимо поддерживать параметры расхода в диапазоне от 3,0 до 8,0 м³/ч.

Обеспечение стабильности расхода может быть достигнуто за счет настройки параметров регулирования насосов. Для определения параметров ПИД-регулятора в данной работе предлагается математическая модель системы автоматического регулирования (САР) расхода нефти в БКК, которая содержит ПИД-регулятор, преобразователь частоты (ПЧ), насос и датчик расхода. Структурная схема САР расхода нефти в БКК представлена на рисунке 1.

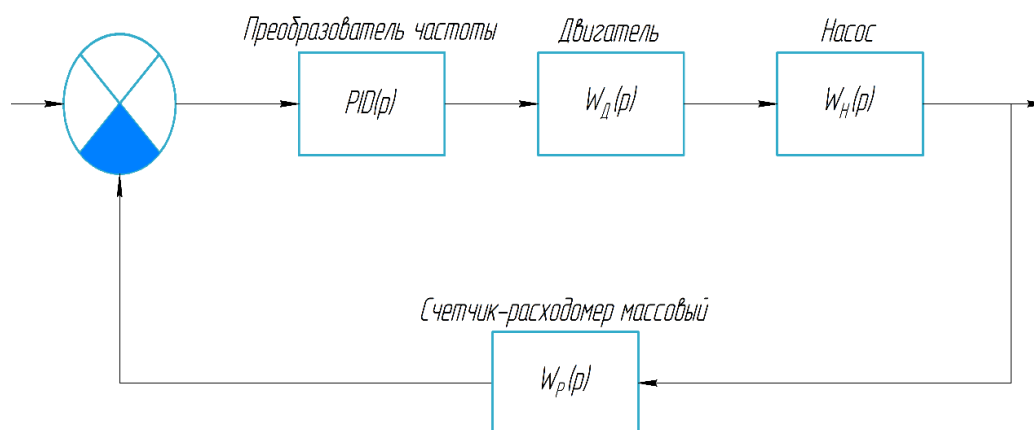


Рис. 1. Структурная схема САР расхода нефти в БКК

В качестве основы для расчета используются каталожные характеристики применяемого асинхронного двигателя: номинальная мощность 1100 Вт, напряжение питания 380 В, синхронная частота вращения 3000 об/мин при фактической частоте выходного вала 2840 об/мин, номинальный крутящий момент 3.7 Нм и момент инерции 0.0008 кг·м².

Были вычислены ключевые параметры для его линеаризованной математической модели:

- Жесткость механической характеристики: $\beta_0 = 0.22 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$
- Электромеханическая постоянная времени: $T_m = 0.00362 \text{ с}$
- Электромеханический коэффициент передачи: $K_d = 64.7$

С учетом полученных динамических параметров, передаточная функция принимает вид типового аperiodического звена первого порядка:

$$W_D = \frac{64,7}{0,00362p + 1}.$$

Для насоса, обеспечивающего подачу до 6.3 м³/ч при напоре 20 м и времени запаздывания 2 с, передаточная функция имеет вид аperiodического звена:

$$W_H(p) = \frac{0,0165}{2p + 1}.$$

Передаточная функция счетчика расходомера-массового:

$$W_P(p) = 1,33$$

Внедрение и настройка ПИД-регулятора в контуре управления позволили существенно улучшить динамические показатели системы (рис. 2). Результаты моделирования демонстрируют следующие качественные изменения:

- Время нарастания (Rise time) сократилось с 1,31 с до 0,25 с.
- Время переходного процесса (Settling time) уменьшилось с 4,55 с до 0,723с.
- Перерегулирование (Overshoot) снижено с 8,77% до 6,31%.
- Пиковое значение (Peak) амплитуды уменьшилось с 1,09 до 1,06.

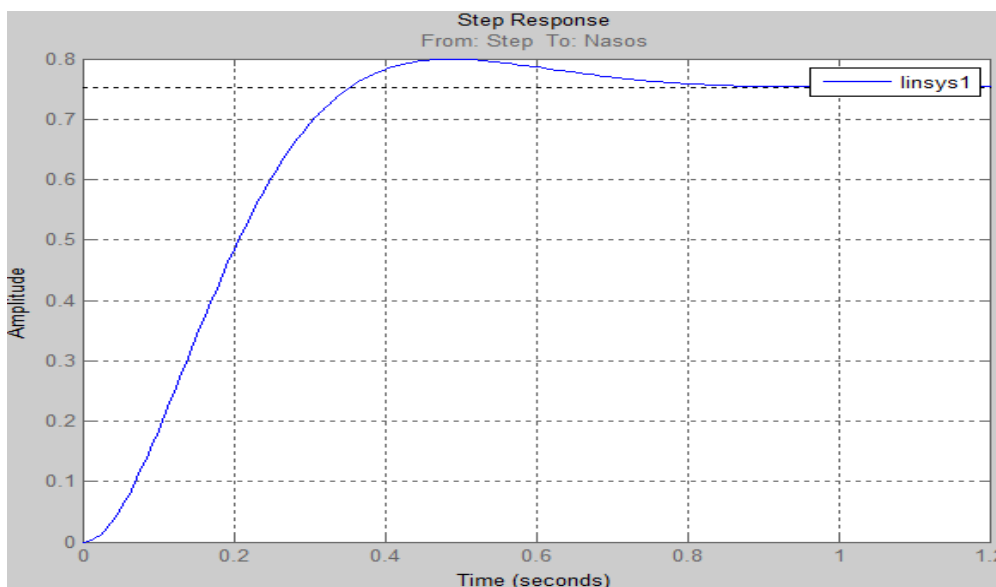


Рис. 2. График переходной характеристики САУ

Сокращение времени переходного процесса почти в шесть раз и снижение перерегулирования свидетельствуют о том, что локальный контур управления расходом приобретает высокую динамическую устойчивость и быстродействие.

Для БКК это означает способность системы практически мгновенно компенсировать внешние возмущающие воздействия, такие как скачки давления в основном трубопроводе или изменение реологических свойств перекачиваемой среды при низких температурах.

С технологической точки зрения, сверхбыстрая стабилизация расхода в узком рабочем диапазоне от 3,0 до 8,0 м³/ч является критически важным условием для поддержания изокINETичности потоков. Интеграция оптимизированного алгоритма управления насосным агрегатом в центральный ПЛК исключает пульсации и срывы потока в измерительных линиях, что позволяет поточным плотномерам и влагомерам функционировать в оптимальных режимах с заявленной метрологической точностью (до $\pm 0,3$ кг/м³ по плотности).

Таким образом, внедрение данного решения в АСУ БКК обеспечит требуемую точность коммерческого учета углеводородного сырья, что позволит минимизировать потери от погрешностей и защитить финансовые показатели нефтегазовых предприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ключев А. С., Глазов Б. В., Дубровский А. Х. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 2020. – 464 с.
2. Автоматизация технологических процессов и производств в нефтегазовой отрасли / под ред. В. И. Гусева. – СПб.: Недра, 2021. – 398 с.
3. ГОСТ 2517-2012. Нефть и нефтепродукты. Методы отбора проб. – М.: Стандартинформ, 2014. – 39 с.
4. Савенков Д. В. Промышленные сети и интерфейсы. Profibus, Modbus, HART: справочник. – М.: СОЛОН-Пресс, 2019. – 288 с.

Ишемгулов А.И.

Уфимский университет науки и технологий

Науч. рук. канд. техн. наук *Бондарев А.В.*

Уфимский университет науки и технологий

Ishemgulov A.I.

Ufa University of Science and Technology

АНАЛИЗ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ В СЛЕСАРНОМ УЧАСТКЕ

ANALYSIS OF THE AUTOMATED VENTILATION SYSTEM IN THE MECHANICAL ASSEMBLY AREA

Аннотация: В данной статье рассматриваются вопросы автоматизации систем промышленной вентиляции на производственных объектах. Проведён анализ традиционных подходов к управлению воздухообменом, выявлены их недостатки с точки зрения энергоэффективности, надёжности и соответствия современным требованиям безопасности. Сформулированы цели и задачи внедрения автоматизированных систем вентиляции (АСВ). Предложено решение на основе программируемых логических контроллеров, частотного регулирования и интеграции с системами верхнего уровня (SCADA, BMS). Представлены выводы о повышении энергоэффективности, стабильности технологических процессов и безопасности труда при использовании АСВ.

Abstract: This article discusses the automation of industrial ventilation systems in manufacturing facilities. It analyzes traditional approaches to air management and identifies their shortcomings in terms of energy efficiency, reliability, and compliance with modern safety requirements. The article formulates the goals and objectives of implementing automated ventilation systems (AVS). It proposes a solution based on programmable logic controllers, variable frequency drives, and integration with higher-level systems (SCADA, BMS). The article concludes that the use of AVS improves energy efficiency, stability of technological processes, and occupational safety.

Ключевые слова: автоматизация вентиляции, промышленная вентиляция, энергоэффективность, SCADA, частотное регулирование, микроклимат, безопасность производства.

Keywords: ventilation automation, industrial ventilation, energy efficiency, SCADA, variable frequency drive, indoor climate, industrial safety.

Слесарные участки являются неотъемлемой частью большинства машиностроительных, ремонтных и сборочных производств. Здесь выполняются операции механической обработки, доводки, сборки узлов, а также слесарно-пригоночные работы, сопровождающиеся выделением значительного

количества вредных веществ: аэрозолей смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), мелкодисперсной металлической и абразивной пыли, паров масел, сварочных аэрозолей (при наличии сварочных постов) и продуктов износа инструмента. В соответствии с требованиями охраны труда (ГОСТ 12.1.005-88, СанПиН 2.2.4.3359-16) параметры воздушной среды на таких участках должны поддерживаться в строго установленных пределах, что обеспечивается системами вентиляции.

Традиционные системы вентиляции слесарных участков, как правило, строятся по принципу общеобменной приточно-вытяжной вентиляции с постоянной производительностью и дополняются местными отсосами от отдельных станков и верстаков. Однако такой подход обладает рядом существенных недостатков: работа вентиляторов на постоянных оборотах приводит к перерасходу электроэнергии, отсутствует обратная связь по фактическому состоянию воздуха, а включение и регулирование зачастую выполняются вручную, что не позволяет оперативно реагировать на изменение загрузки участка. В условиях современного производства, где возрастают требования к энергоэффективности и качеству условий труда, возникает необходимость внедрения автоматизированных систем вентиляции (АСВ), способных адаптироваться к текущей технологической ситуации.

В данной статье проводится анализ существующих подходов к вентиляции слесарных участков, выявляются их недостатки, а также предлагается структура автоматизированной системы управления, позволяющая повысить эффективность воздухообмена, снизить эксплуатационные затраты и обеспечить стабильное соблюдение нормативных требований.

На большинстве промышленных объектов вентиляция слесарных участков организована по одному из трёх типов или их комбинации:

Общеобменная приточно-вытяжная вентиляция с постоянным расходом.

Приточные и вытяжные установки работают в режиме «включено/выключено» либо с ручным переключением скоростей. Производительность рассчитывается по максимальной загрузке участка (по количеству работающих, выделениям от оборудования) и остаётся неизменной независимо от реальной потребности.

Преимущества: простота, низкая стоимость первоначального монтажа.

Недостатки: значительный перерасход электроэнергии и тепла (при подогреве приточного воздуха), невозможность учёта переменной загрузки, отсутствие локального контроля в зонах с интенсивными выделениями.

Местные отсосы (вытяжные зонты, бортовые отсосы, укрытия).

Применяются непосредственно у источников выделений: заточных станков, сварочных постов, моечных ванн. Часто они подключаются к индивидуальным вентиляторам или к общей вытяжной системе без автоматического регулирования.

Преимущества: эффективное удаление вредностей в месте их образования.

Недостатки: при ручном управлении оператор может забыть включить отсос; отсутствует контроль эффективности работы; системы работают непрерывно, даже когда оборудование простаивает.

Автоматизированные системы с элементами регулирования.

На отдельных современных участках внедряются частотные преобразователи на вентиляторах, устанавливаются простейшие датчики давления в воздуховодах. Однако такие решения зачастую не интегрированы между собой и не учитывают данные о качестве воздуха в рабочей зоне. Управление осуществляется локально, без централизованной диспетчеризации.

Предлагаемое решение: структура автоматизированной системы вентиляции

Для преодоления указанных проблем предлагается создание адаптивной автоматизированной системы вентиляции на базе программируемых логических контроллеров (ПЛК), распределённой сети датчиков и центральной диспетчерской (SCADA). Система строится по иерархическому принципу и включает следующие уровни:

Полевой уровень (датчики и исполнительные устройства)

Датчики качества воздуха:

- Оптические датчики мелкодисперсной пыли (PM1.0, PM2.5, PM10).
- Датчики летучих органических соединений (VOC) для контроля аэрозолей СОЖ и паров масел.
- Датчики CO₂ для оценки эффективности общеобменной вентиляции по численности персонала.
- Датчики температуры и относительной влажности.

Исполнительные устройства:

- Частотные преобразователи (ЧРП) на приточных и вытяжных вентиляторах.
- Сервоприводы с обратной связью для регулирования положения воздушных клапанов и заслонок.
- Контактторы и пускатели для дискретного управления местными отсосами (при необходимости).

Контроллерный уровень

Программируемые логические контроллеры (ПЛК) с возможностью обработки аналоговых и дискретных сигналов. Контроллеры реализуют:

ПИД-регулирование производительности приточных и вытяжных установок по результатам измерения концентрации вредных веществ и температуры.

Алгоритмы автоматического включения местных отсосов по сигналам от станков (токовые клещи, датчики вибрации) либо по расписанию.

Логике блокировок и аварийных режимов (например, автоматическое увеличение вытяжки при превышении ПДК, включение резервного вентилятора при отказе основного).

Диспетчерский уровень (SCADA)

Центральная диспетчерская с визуализацией всех параметров, архивированием данных и возможностью оперативного изменения уставок. SCADA-система позволяет:

Отображать текущие значения концентраций, расходов, температур в реальном времени.

Формировать отчёты о соблюдении нормативов и энергопотреблении.

Получать аварийные сообщения и вести журнал событий.

Интегрироваться с АСУ ТП предприятия для обмена данными о загрузке оборудования .

Алгоритмы управления

Основной режим работы — поддержание качества воздуха в рабочей зоне на уровне не выше установленных ПДК при минимально возможном расходе энергии. Алгоритм работает следующим образом:

1. Система непрерывно считывает показания датчиков пыли, VOC, CO₂ в нескольких контрольных точках участка.

2. Если значения превышают заданные уставки, ПЛК увеличивает частоту вращения вытяжных вентиляторов и, при необходимости, приточных (для предотвращения разрежения). Для экономии энергии допускается зона нечувствительности, в пределах которой изменение производительности не производится.

3. При снижении концентраций ниже уставок частота вращения уменьшается до минимально допустимого уровня, обеспечивающего санитарные нормы по кратности воздухообмена.

4. Местные отсосы от станков включаются автоматически при поступлении сигнала «станок работает» и отключаются с задержкой (для удаления остаточных выделений).

5. В ночное время, в выходные и при отсутствии персонала система переходит в дежурный режим (минимальный воздухообмен, отключение местных отсосов), что даёт существенную экономию тепла и электроэнергии.

Проведённый анализ показал, что традиционные системы вентиляции слесарных участков, работающие с постоянной производительностью и ручным управлением, не обеспечивают требуемой энергоэффективности и оперативного контроля качества воздуха. Предложенная автоматизированная система на базе программируемых контроллеров, частотного регулирования и сети датчиков позволяет адаптировать воздухообмен к реальной нагрузке участка, снижая энергопотребление на 30–50% и гарантируя соблюдение нормативов по чистоте воздуха. Внедрение такой системы способствует повышению безопасности труда, сокращению эксплуатационных расходов и созданию основы для интеграции в цифровую инфраструктуру предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 12.1.005–88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 75 с.
2. СанПиН 2.2.4.3359–16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2016. – 48 с.
3. Шумилов, Р. Н. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха: учеб. пособие / Р. Н. Шумилов, Ю. И. Толстова. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2020. – 180 с. – ISBN 978-5-7996-3012-8.
4. Смирнов, В. А. Энергоэффективность систем промышленной вентиляции / В. А. Смирнов. – М.: Энергоатомиздат, 2021. – 215 с. – ISBN 978-5-283-03456-7.
5. Козлов, Д. С. Современные подходы к управлению промышленной вентиляцией / Д. С. Козлов // Автоматизация в промышленности. – 2023. – № 3. – С. 28–32. – ISSN 1819-6588.
6. Иванов, А. П. Повышение эффективности местных отсосов в механообрабатывающих цехах / А. П. Иванов // Вестник машиностроения. – 2022. – № 5. – С. 42–45. – ISSN 0042-4633.
7. Тихомиров, Д. А. Моделирование нестационарных процессов выделения вредностей в производственных помещениях / Д. А. Тихомиров, Н. И. Селиванов // Безопасность труда в промышленности. – 2021. – № 8. – С. 24–29. – ISSN 0409-2961.
8. Елисеев, В. В. Микроклимат и производительность труда: методы оценки и оптимизации / В. В. Елисеев, Н. А. Логинова. – СПб. : Наука, 2020. – 156 с. – ISBN 978-5-02-038456-7.
9. Морозов, С. В. Интеграция систем вентиляции в автоматизированные системы управления технологическими процессами / С. В. Морозов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2022. – № 6. – С. 38–42. – ISSN 1993-1699.
10. Павлов, В. И. Надёжность оборудования автоматизации в агрессивных средах / В. И. Павлов, А. Н. Гришин. – М.: Машиностроение, 2021. – 204 с. – ISBN 978-5-94275-987-4.

Лебедев Д.Б.

Уфимский университет науки и технологий

Науч. рук. канд. техн. наук *Ишкулова А. Р.*

Уфимский университет науки и технологий

Lebedev D.B.

Ufa University of Science and Technology

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ И ЦИФРОВИЗАЦИИ

IMPROVING THE EFFICIENCY OF GAS DISTRIBUTION POINTS THROUGH COMPREHENSIVE AUTOMATION AND DIGITALIZATION

Аннотация. В статье рассматривается вопрос модернизации системы управления технологическим процессом закачки газа на станции подземного хранения газа. Проведен анализ существующей системы, выявлены её ключевые недостатки, такие как низкая точность дозирования метанола, моральный и физический износ оборудования, отсутствие интеграции в единую сеть. Предложено решение по созданию автоматизированной системы на базе современного программируемого логического контроллера, включающее замену устаревших средств измерения и применение частотно-регулируемого привода для насоса дозирования ингибитора. Разработанная трехуровневая структурная схема автоматизации позволяет повысить точность поддержания параметров, надежность системы и безопасность эксплуатации газораспределительного пункта.

Abstract. The article discusses the issue of modernizing the control system for the technological process of gas injection at an underground gas storage station. The existing system was analyzed, and its key drawbacks were identified, such as low accuracy of methanol dosing, moral and physical wear of equipment, and lack of integration into a single network. A solution was proposed to create an automated system based on a modern programmable logic controller, including the replacement of outdated measurement devices and the use of a variable frequency drive for the inhibitor dosing pump. The developed three-level automation structure allows to increase the accuracy of maintaining parameters, the reliability of the system and the safety of operation of the gas distribution point.

Ключевые слова: автоматизация, закачка газа, станция подземного хранения газа (ПХГ), регулирование расхода, дозирование метанола, программируемый логический контроллер (ПЛК), частотный преобразователь.

Keywords: automation, gas injection, underground gas storage station (UGS), flow rate control, methanol dosing, programmable logic controller (PLC), frequency converter.

Современная газовая промышленность сталкивается с проблемой неравномерности газоснабжения, особенно в пиковые периоды потребления.

Ключевую роль в решении этой проблемы играют станции подземного хранения газа (ПХГ), позволяющие создавать стратегические запасы топлива. Эффективность работы ПХГ, напрямую зависит от надежности и точности управления процессом закачки газа в пласт.

Газораспределительный пункт (ГРП) является центральным звеном в цепочке закачки, обеспечивая распределение газа по скважинам. Однако управление такими объектами сопряжено с высокими рисками, что делает невозможным их эффективную и безопасную эксплуатацию без внедрения современных средств автоматизации. Автоматизация процессов контроля, регулирования и сигнализации является основой технического прогресса, позволяя экономить ресурсы, улучшать условия труда персонала и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду.

Процесс закачки газа сталкивается с рядом серьезных проблем, требующих немедленного решения:

1. В процессе закачки давление на устье скважин изменяется в широком диапазоне (от 8,04 до 14,48 МПа), а суточная производительность падает с 3,4 до 1,6 млн м³ по мере заполнения хранилища. Такие колебания требуют постоянной и точной подстройки режимов работы оборудования.

2. Для предотвращения гидратообразования в газопроводах используется впрыск метанола. Существующая система дискретного дозирования (открыто/закрыто) не обеспечивает плавности и точности подачи реагента. Перерасход метанола ведет к неоправданным эксплуатационным затратам, а его недостаток – к риску аварий.

3. Средства контроля и управления, используемые на станции, эксплуатируются длительное время и морально устарели. Это выражается в необходимости частых подстроек, низкой надежности и отсутствии современных интерфейсов связи.

Анализ действующих систем управления выявил наиболее часто встречающиеся недостатки, оказывающие влияние на надежность и эффективность работы ГРП:

1. Системы построены по принципу одноконтурного регулирования, где большинство контуров работают изолированно. Часть параметров регулируется вручную оператором.

2. Применяемое устройство ввода ингибитора (УВИ-160-1М) осуществляет дозирование дискретно, с помощью электромагнитных клапанов, что не позволяет обеспечить плавность подачи и соблюдение точных пропорций с расходом газа (погрешность составляет $\pm 8-10\%$ при требуемой $\pm 6-8\%$).

3. Многие приборы являются показывающими, не имеют цифровых выходов. Отсутствует архивация данных и возможность передачи информации на верхний уровень управления (АСУ предприятия). Контроль параметров в таких контурах затруднен, требует постоянного присутствия оператора и не обладает необходимой объективностью.

4. Устаревшие средства измерения не интегрируются в современные системы управления, что не позволяет реализовать оптимальные алгоритмы управления процессом заправки и проводить анализ накопленных данных для планирования.

Для устранения выявленных недостатков предлагается модернизация системы управления на базе современных микропроцессорных средств и алгоритмов. Ключевые аспекты предлагаемого решения:

1. Замена и модернизация технических средств, что позволит повысить точность регулирования параметров.

2. Внедрение частотного регулирования. Ключевым улучшением является замена дискретного дозирования на непрерывное с помощью частотно-регулируемого привода. Производительность насоса метанола будет автоматически регулироваться по сигналу от датчика расхода газа, поддерживая заданное соотношение «газ-метанол» с высокой точностью и экономией реагента.

3. Построение трехуровневой структуры управления:

- Нижний уровень: датчики и исполнительные механизмы.

- Средний уровень: программируемый логический контроллер (ПЛК) с соответствующими модулями ввода/вывода, осуществляющий сбор данных, первичную обработку и автоматическое регулирование.

- Верхний уровень: автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора на базе ПК. Обеспечивает визуализацию процесса в виде мнемосхем, ведение архивов данных и событий, формирование отчетов (режимных листов) и возможность дистанционного управления.

Предлагаемая модернизация системы автоматического регулирования процессом закачки газа позволит достичь следующих результатов:

1. Повышение стабильности и точности поддержания технологических параметров закачиваемого газа за счет применения прецизионных датчиков и автоматических регуляторов.

2. Экономия ресурсов благодаря точному дозированию метанола системой «расход газа – расход ингибитора» с использованием частотно-регулируемого привода, что исключает его перерасход.

3. Повышение надежности и безопасности за счет использования современной элементной базы, диагностики оборудования и возможности быстрого реагирования на аварийные ситуации.

4. Интеграция в единую информационную среду предприятия. Передача данных на верхний уровень позволит накапливать статистику, анализировать эффективность работы и принимать обоснованные управленческие решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов Е.Г. Выбор асинхронных двигателей общего назначения: Методические рекомендации по выбору асинхронных двигателей общего назначения. М.: 2005 . – 29 с.
2. ГОСТ 9544-2005. Арматура трубопроводная. Нормы герметичности. М.: Стандартиформ, 2005. – 10 с.
3. ГОСТ 21.208-2013. Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. М.: Стандартиформ, 2013. – 27 с.
4. ГОСТ 21.408-2013. Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов. М.: Стандартиформ, 2014. – 38 с.

Морозова А. И.

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
в г. Кумертау

Федоров С. В.

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
в г. Кумертау

Morozova A. I.

Ufa University of Science and Technology Branch in Kumertau

**НОВОЕ СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ПОВЫШЕНИЯ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ МНОГОУРОВНЕВЫХ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ ПРИ ПЕРЕХОДЕ ОТ
ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫХ К ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ
НАПРЯЖЕНИЯМ УРОВНЕЙ**

**A NEW CIRCUIT DESIGN SOLUTION FOR INCREASING THE
ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF MULTILEVEL FREQUENCY
CONVERTERS DURING THE TRANSITION FROM DIFFERENTIAL TO
DIFFERENTIAL VOLTAGE LEVELS**

Аннотация: В статье рассмотрены способы повышения синусоидальности выходного напряжения многоуровневый преобразователь частоты. Данные способы основаны на увеличении числа уровней выходного напряжения за счет дифференцированных напряжений уровней. Представлены схемотехнические решения данных способов. Преимуществом данных схем является возможность их использование без широтно-импульсной модуляции. Недостатками являются сложность конструкции входного многообмоточного трансформатора и неоднородность силовых ячеек на различных уровнях. Предложен метод вычитания напряжений силовых ячеек формирующий дифференциальные напряжения уровней.

Abstract: This article discusses methods for increasing the sinusoidality of the output voltage of a multilevel frequency converter. These methods are based on increasing the number of output voltage levels by using differentiated voltage levels. Circuit designs for these methods are presented. The advantage of these circuits is their ability to be used without pulse-width modulation. Disadvantages include the complexity of the input multi-winding transformer design and the non-uniformity of the power cells at different levels. A method for subtracting the voltages of the power cells, which generates differential voltage levels, is proposed.

Ключевые слова: многоуровневые преобразователи частоты, амплитудная модуляция, коэффициент гармоник.

Keywords: multi-level frequency converters, amplitude modulation, and harmonic coefficient.

Высоковольтные электромашинные агрегаты асинхронного и синхронного типа, задействованные в системах электроприводного насосного и вентиляционного оборудования, составляют значительную долю в общем парке электродвигателей промышленного назначения. Реализация режима частотного регулирования указанных электроприводов обеспечивает существенный потенциал энергосбережения и оптимизации ресурсопотребления.

Преобразовательные устройства двухзвенной топологии получили широкое распространение в качестве средств регулирования частоты вращения электрических машин. Принцип функционирования данных устройств базируется на двухэтапном преобразовании электрической энергии питающей сети в энергию с заданными параметрами напряжения, тока и частоты.

На первичной стадии процесса посредством выпрямительного блока осуществляется трансформация переменного тока промышленной частоты (50 Гц) в постоянное напряжение. На втором этапе посредством автономных инверторных преобразователей происходит обратное преобразование постоянного напряжения в переменное с требуемыми эксплуатационными характеристиками для обеспечения оптимального режима функционирования электродвигателя.

Энергетическая эффективность двухзвенных высоковольтных преобразователей частоты достигает максимальных показателей в диапазоне до 98%, что детерминировано применением современных силовых полупроводниковых компонентов, функционирующих в режиме ключевых переключений.

Критериями эффективности функционирования высоковольтных преобразователей частоты выступают:

- Обеспечение электромагнитной совместимости с системой электроснабжения
- Реализация электромагнитной совместимости между преобразователем частоты и электродвигателем

- Возможность эксплуатации стандартных электродвигателей без существенной дератизации по мощности

Автономные инверторные устройства, являясь генераторами высших гармонических составляющих, оказывают влияние на энергетические потери в электрической машине и допустимый уровень её нагружения.

Оптимальным техническим решением для обеспечения эффективной электромагнитной совместимости инверторного преобразователя и электродвигателя при минимальной дератизации последнего выступает применение многоуровневого инвертора напряжения с импульсной модуляцией для формирования фазного напряжения. Увеличение количества уровней фазного напряжения обеспечивает приближение его формы к синусоидальному виду, что характерно для высоковольтных преобразователей частоты. Выходной ток многоуровневого инвертора напряжения с импульсной модуляцией также демонстрирует практически синусоидальный характер.

Методология увеличения количества уровней выходного напряжения в многоуровневых преобразователях частоты способствует дальнейшему совершенствованию их эксплуатационных характеристик.

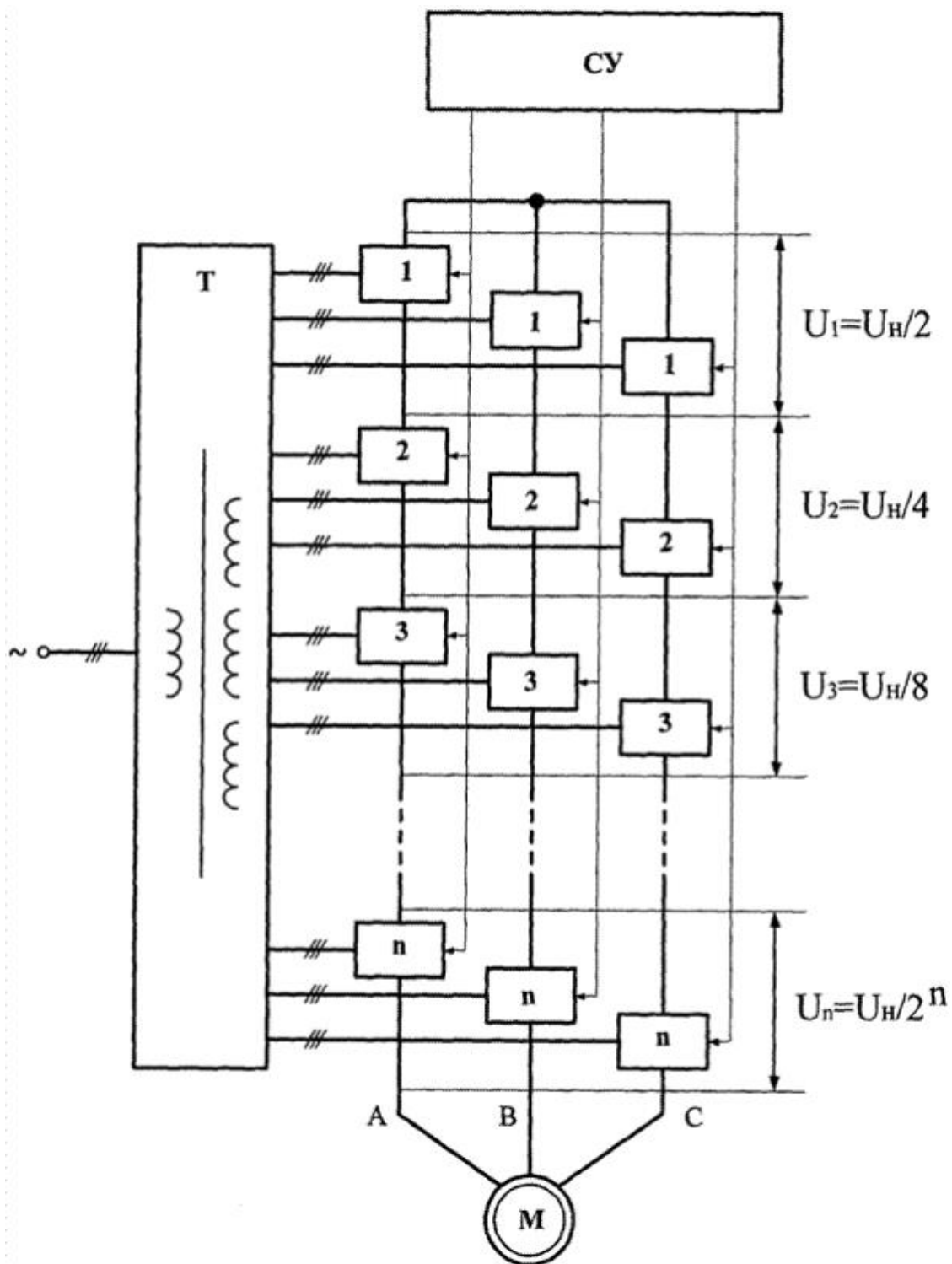


Рис. 1. Многоуровневый преобразователь частоты с дифференцированными напряжениями уровней

На рисунке 1 представлена схема многоуровневого преобразователя частоты с дифференцированными напряжениями уровней, содержащего входной многообмоточный трансформатор Т, систему управления СУ и несколько уровней силовых ячеек в каждой фазе: силовые ячейки первого уровня 1,

силовые ячейки второго уровня 2, силовые ячейки третьего уровня 3 и так далее.

Сущность предлагаемого технического решения заключается в том, что выходное напряжение ячеек первого уровня составляет половину от номинального выходного напряжения преобразователя частоты $U_1=U_H/2$, ячеек второго уровня - четвертую часть от номинального выходного напряжения $U_2=U_H/4$, ячеек третьего уровня - восьмую часть от номинального выходного напряжения $U_3=U_H/8$, ячеек четвертого уровня - шестнадцатую часть от номинального выходного напряжения $U_4=U_H/16$, выходное напряжение ячеек уровня n составляет $1/2^n$ от номинального выходного напряжения преобразователя частоты $U_n=U_H/(2^n)$.

Выходное фазное напряжение преобразователя частоты равно сумме выходных напряжений включенных силовых ячеек всех уровней от 1 до n :

$$U_{\text{вых}}=U_1+U_2+\dots+U_n$$

В зависимости от того, какие силовые ячейки включены и какие выключены, можно получить 2^n значений (уровней) выходного напряжения от $U_{\text{вых}}=U_n$ (привключенной n -й ячейке и выключенных всех других ячейках) до $U_{\text{вых}}=2^n \cdot U_n$, при всех включенных ячейках, причем ступень изменения выходного напряжения равна U_n .

Еще одним решением повышения числа уровней выходного напряжения является способ, предложенный в работе [4]. Схема данного преобразователя приведена на рисунке 2.

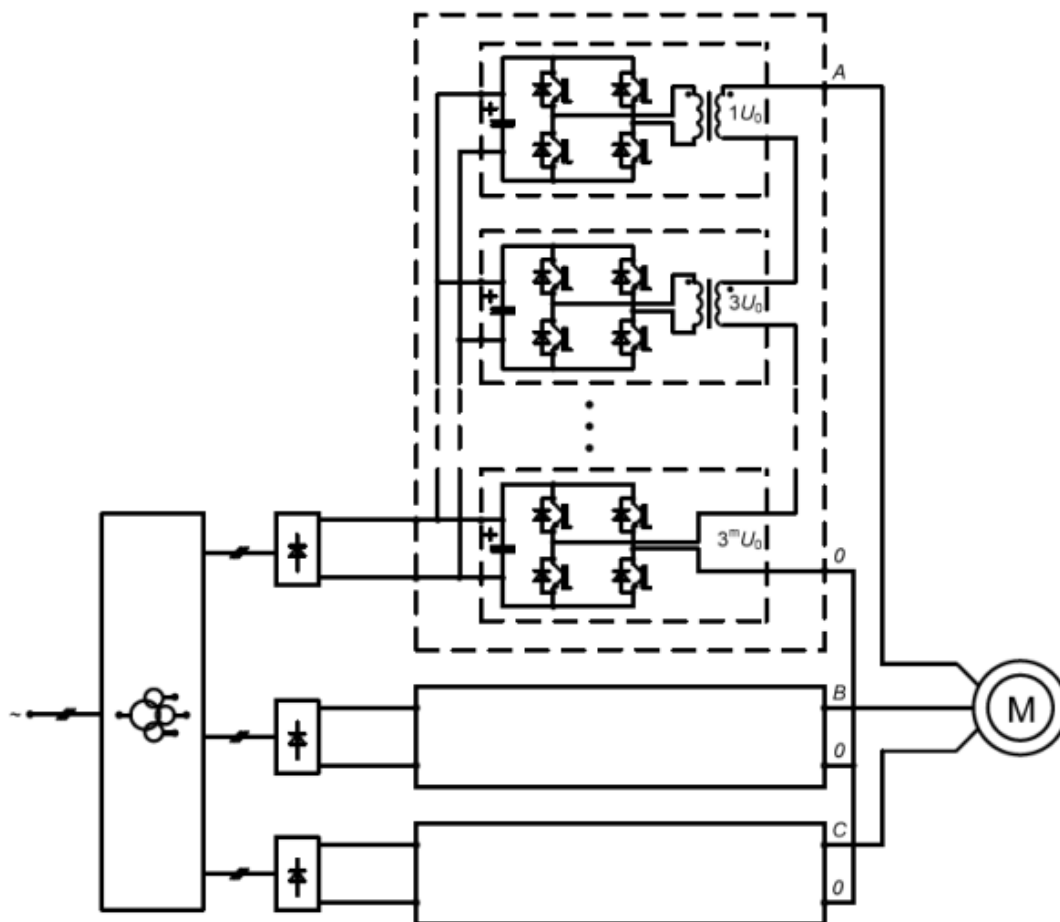


Рис. 2. Многоуровневый преобразователь частоты с дифференцированными напряжениями уровней

Алгоритм управления ключами многоуровневого инвертора организован так, что переход от ступени к ступени не превышает шага квантования ΔU . Напряжения питания ячеек одинаковы, а выходные напряжения неодинаковы и находятся в отношении $1 : 3 : 9 : 27$, образуют степенной ряд числа 3.

Если количество ячеек, последовательно включенных в фазу преобразователя равно четырем, то число уровней по напряжению равно 40 (для формирования положительного напряжения). Такое же число уровней будет при формировании отрицательного напряжения. Синусоидальное фазное напряжение, при изменении от $+U_m$ до $-U_m$, будет представлено в виде ступенчатого напряжения с общим количеством уровней $40 + 40 + 1 = 81$. Здесь единица соответствует начальному (нулевому) уровню. На рис. 2 приведены осциллограммы фазного напряжения для различных амплитудных

значений сигнала задания: $1,0 U_{\text{зад м}}$, $0,8 U_{\text{зад м}}$, ... $0,1 U_{\text{зад м}}$.

Существенными недостатками данных преобразователей частоты являются:

1. Сложность конструкции входного многообмоточного трансформатора, обусловленная необходимостью создания различного количества вторичных обмоток.

2. Неоднородность силовых ячеек на различных уровнях. Для ячеек с разными напряжениями требуется применение различных классов силовых ключей.

Для увеличения количества уровней выходного напряжения предлагается внедрить метод вычитания напряжений силовых ячеек. В этой связи в конструкцию многообмоточного силового трансформатора будут добавлены три вторичные обмотки, обладающие выходным напряжением, равным $1/3$ номинального напряжения силовой ячейки. К указанным обмоткам присоединяются три дополнительные силовые ячейки. Один из выходных выводов каждой ячейки подключается к концу одной из обмоток статора электродвигателя, в то время как все вторые выходные выводы силовых ячеек соединены в единый узел.

Тогда фазное напряжение будет реализовано в виде следующего числового ряда от номинального значения:

$$1/3; 2/3; 3/3; 4/3; 5/3; 6/3; \dots$$

Т.е. напряжение на обмотках ротора будет представлять собой разность напряжения начала и конца обмотки. Таким образом, получаем дифференциальное напряжение каждого уровня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дробкин Б.З., Пронин М.В., Ефимов А.А., Развитие устройств силовой электроники для регулируемых электроприводов // Труды V Международной (16-й Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу «АЭП - 207». СПб, 2007. С. 26-32
2. Коськин Ю.П., Пронин М.В. О необходимости учета высокочастотных электромагнитных процессов при разработке транзисторных электроприводов с ШИМ // Труды V Международной (16-й Всероссийской) конференции по автоматизированному

электроприводу «АЭП - 207».СПб, 2007. С. 122-125

3. Патент на полезную модель № 126233 U1 Российская Федерация, МПК H02M 7/527, H02M 7/483, H02M 7/53862. Многоуровневый преобразователь частоты с дифференцированными напряжениями уровней: № 2012143586/07: заявл. 11.10.2012: опубл. 20.03.2013 / В. А. Шабанов, М. И. Хакимьянов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет". – EDN EDCMYF.

4. Многоуровневый высоковольтный преобразователь частоты для электропривода / Р. Р. Храмшин, Т. Р. Храмшин, Е. А. Храмшина, Г. П. Корнилов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2010. – № 3-3. – С. 191-196. – EDN REDFAT.

Саитов Г.Г.

Уфимский университет науки и технологий

Науч. рук. канд. техн. наук *Ишкулова А. Р.*

Уфимский университет науки и технологий

Saitov G.G.

Ufa University of Science and Technology

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ ДЛЯ ПТИЦЕВОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED MICROCLIMATE CONTROL SYSTEM FOR A POULTRY FARM

Аннотация. В статье рассматривается вопрос автоматизации управления микроклиматом в птицеводческих помещениях на примере инкубатория и птичника. Проведен анализ существующих систем, выявлены их основные недостатки, такие как отсутствие плавного регулирования, низкая точность поддержания параметров и недостаточная защита оборудования. Предложено техническое решение по модернизации системы на основе программируемого логического контроллера, современных датчиков и преобразователей частоты. Разработана трехуровневая структура автоматизированной системы управления, позволяющая повысить эффективность производства и снизить эксплуатационные затраты.

Abstract. The article discusses the issue of automating the microclimate control in poultry houses using the example of an incubator and a poultry house. The existing systems are analyzed, and their main drawbacks, such as the lack of smooth control, low accuracy of parameter maintenance, and insufficient equipment protection, are identified. A technical solution for upgrading the system based on a programmable logic controller, modern sensors, and frequency converters is proposed. A three-level structure of an automated control system is developed, which allows for increased production efficiency and reduced operating costs.

Ключевые слова: микроклимат, птицеводство, автоматизация, контроллер, датчики, вентиляция, преобразователь частоты, ПЛК.

Keywords: microclimate, poultry farming, automation, controller, sensors, ventilation, frequency converter, PLC.

Современное птицеводство является высокоинтенсифицированной отраслью агропромышленного комплекса, где эффективность производства в решающей степени зависит от внедрения ресурсосберегающих технологий. Инкубаторий является «сердцем» птицеводческого комплекса, обеспечивающим постоянный поток суточного молодняка. Создание оптимального микроклимата

в птицеводстве — это основной параметр, от которого зависит ветеринарное благополучие птицы, её сохранность, а значит, и все производственные и экономические показатели в целом [1].

Продуктивность птиц на 20...30 % определяется именно условиями микроклимата. При неудовлетворительных условиях потенциальная продуктивность используется лишь на 20...30 %, а срок продуктивного использования существенно сокращается. Особенно чувствителен к параметрам среды молодняк: резкие колебания температуры, сквозняки и сырость вызывают повышенную смертность, особенно в первые недели жизни.

К важнейшим параметрам микроклимата относятся:

- температура воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- газовый состав (концентрация CO_2 , NH_3 , H_2S).

Таким образом, оптимизация и автоматическое поддержание этих параметров является первостепенной задачей, позволяющей добиться роста активности птицы, поедаемости кормов, снижения энергозатрат на вентиляцию и обогрев, а также уменьшения трудозатрат персонала.

Процесс обеспечения микроклимата в птичниках и инкубаториях сталкивается с рядом объективных проблем:

1. Молодняк требует строго определенных параметров, которые меняются с возрастом. Например, для индеек в возрасте 1 неделя требуется температура 26...28°C, к 7...9 неделям она снижается до 18 °C. Отклонения в 2...3 °C уже являются критическими.

2. Температура и скорость движения воздуха тесно связаны: воздух одной температуры ощущается как холодный при скорости более 1 м/с и как нормальный при скорости 0,2...0,25 м/с.

3. Система должна эффективно работать в условиях резкого изменения наружной температуры и влажности: от морозов зимой до жары летом.

4. Помимо температуры и влажности, необходимо контролировать концентрацию вредных газов (CO_2 не более 0,25%, NH_3 — до 15 мг/л), которые накапливаются в результате жизнедеятельности птицы.

5. Традиционные системы вентиляции и отопления часто работают неоптимально, потребляя избыточное количество электроэнергии и тепла.

Системы управления микроклиматом на большинстве птицеводческих предприятий имеют ряд критических недостатков, не позволяющих устранять вышеуказанные проблемы:

1. Оборудование (вентиляторы, ТЭНы) работает в режиме «включено/выключено». Это приводит к постоянным колебаниям параметров микроклимата на 20...30 % относительно заданных значений.

2. В существующей системе отсутствуют преобразователи частоты для управления двигателями вентиляторов, что приводит к увеличению расхода электроэнергии и не позволяет более точно регулировать температуру, влажность и скорость движения воздуха.

3. Скорость движения воздуха в птичнике не контролируется автоматически, что не позволяет обеспечивать нормативные значения (0,3...1,0 м/с). Контроль влажности осуществляется показывающими приборами без интеграции в систему автоматического регулирования.

4. Водяной калорифер не имеет защиты от замерзания. В зимний период это приводит к частым аварийным остановкам, размораживанию и выходу оборудования из строя.

5. Суточные и сезонные колебания параметров требуют постоянной ручной перенастройки оборудования, что увеличивает эксплуатационные затраты и повышает риск человеческой ошибки.

Для устранения выявленных недостатков предлагается модернизация системы управления на базе современных средств автоматизации с трехуровневой архитектурой.

Нижний уровень (полевой уровень) включает в себя современные датчики и исполнительные механизмы:

- Датчик температуры и влажности для контроля параметров в зонах птичника.

- Датчик потока воздуха (горячий пленочный анемометр) для точного измерения скорости воздуха от 0 до 20 м/с, нечувствительный к пыли и загрязнениям.

- Датчик CO₂ (NDIR-сенсор) для контроля концентрации углекислого газа до 10 000 ppm с компенсацией по температуре и давлению.

- Датчик разряжения для контроля статического давления в помещении (диапазон 0...250 Па).

- Датчик замерзания для защиты водяного калорифера.

Средний уровень (уровень контроллера) реализован на базе контроллера с набором модулей ввода/вывода, выполняющий функции сбора, первичной обработки, передачи и управления исполнительными механизмами.

Верхний уровень (уровень диспетчеризации) представлен автоматизированным рабочим местом (АРМ) оператора на базе ПК. ПО обеспечивает визуализацию процесса, регистрацию параметров, сигнализацию об авариях и возможность дистанционной настройки.

Ключевыми техническими решениями позволяющими решить вышеописанные проблемы является внедрение частотно-регулируемого привода, для плавного регулирования производительности приточных вентиляторов. А также для насоса подачи воды на калорифер, что позволяет плавно регулировать влажность и давление.

Однако, внедрение частотного регулирования не будет эффективным без верной настрой регулятора. Для определения параметров настройки ПИД-регулятора была разработана структурная и функциональная схемы системы автоматического регулирования (САР) температуры, представленная на рис. 1 а и б соответственно.

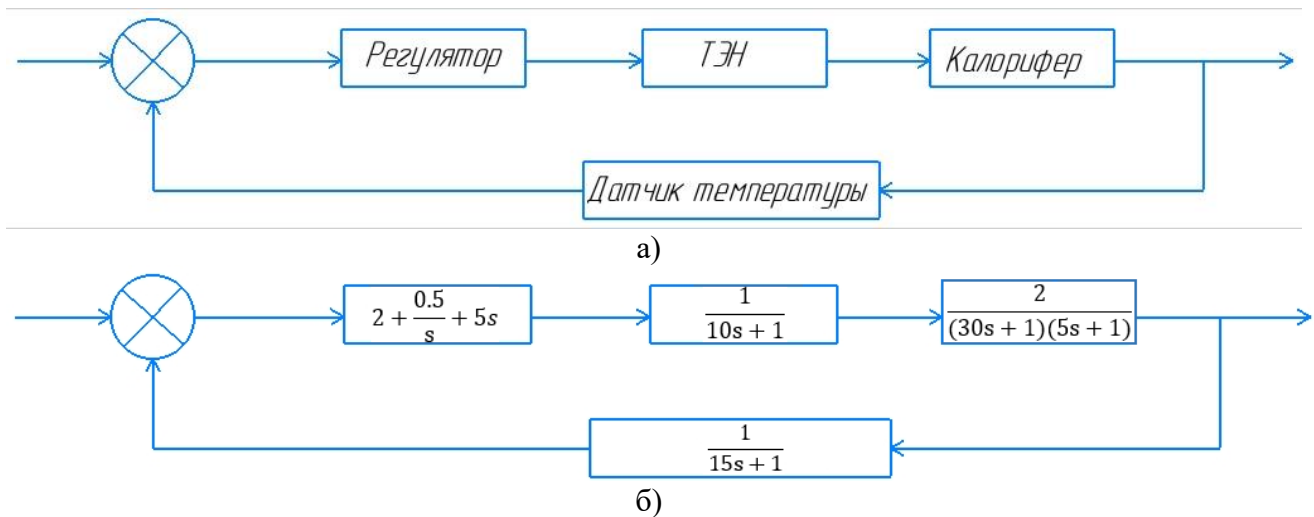


Рис. 1. Структурная и функциональная схемы системы автоматического регулирования (САР) температуры

В результате проведенного моделирования и исследования системы автоматического регулирования температуры был получен переходная характеристика, представленный на рис. 2.

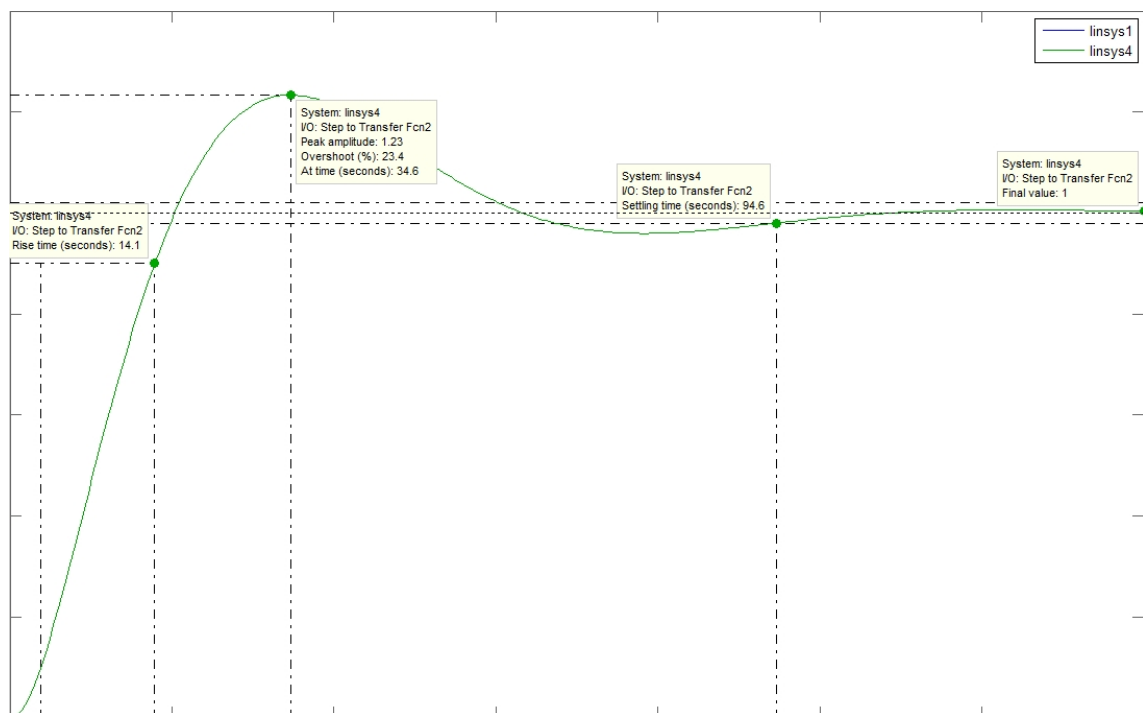


Рис. 2. Переходная характеристика процесса регулирования температуры в птичнике

Из вида переходной характеристики видно, что процесс регулирования температуры в птичнике занимает 94 секунды что для таких систем является приемлемым и позволит более точно поддерживать параметры микроклимата,

что соответственно скажется на продуктивности птицеводческого предприятия и повысить эффективность использования ресурсов.

Таким образом, разработанная система автоматического регулирования микроклиматом позволяет перейти от устаревшего позиционного регулирования к современному плавному частотно-регулируемому приводу.

Внедрение системы обеспечивает поддержание температуры с точностью до $\pm 0,25$ °С, влажности — до ± 5 %, скорости воздуха — в заданном диапазоне 0,3...1,0 м/с, что соответствует зоотехническим нормам для выращивания птицы.

Использование современных датчиков CO₂, потока воздуха и разряжения позволяет контролировать не только температуру, но и качество воздушной среды в целом, предотвращая накопление вредных газов.

Реализация защиты водяного калорифера от замерзания повышает надежность и бесперебойность работы оборудования в зимний период.

Автоматизация процесса позволяет снизить эксплуатационные затраты на электроэнергию и труд персонала, а также повысить сохранность поголовья и привесы птицы за счет исключения стрессовых колебаний параметров микроклимата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент № 2339220 РФ, МПК А01К 31/20. Устройство для создания микроклимата в птичниках / А.Г. Возмилов, В.Н. Мишагин, Л.Н. Андреев, Д.В. Астафьев, О.Ю. Харитонов; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Челябинский государственный агроинженерный университет». – № 2007111114/12; заявл. 26.03.2007; опубл. 27.11.2008.
2. ГОСТ 21.208-2013. Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. – М.: Стандартиформ, 2013. – 27 с.

Сулейманова А. Д.

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
в г. Кумертау

Федоров С. В.

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
в г. Кумертау

Suleymanova A. D.

Ufa University of Science and Technology Branch in Kumertau

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПРИНЦИПА АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИИ ДЛЯ НЕПОСРЕДСТВЕННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ

MODELING AND ANALYSIS OF THE PRINCIPLE OF AMPLITUDE MODULATION FOR DIRECT FREQUENCY CONVERTERS

Аннотация: В данной статье приведён анализ существующих способов образования кривой выходного напряжения преобразователей частоты, предназначенных для управления асинхронными двигателями. Представлен способ формирования выходного напряжения с пониженным содержанием гармонических составляющих. Показано отличие от классических способов формирования выходного напряжения. Сделаны выводы о преимуществах нового способа.

Abstract. The article centres around the analysis of ways of formation of output tension curves of different groups of converters of frequency for asynchronous machine work is given below. Introduce the way of formation of output voltage of converters of frequency with lowered by contents of harmonic components. The difference comparing with the traditional ways of formation of output voltage is described below. The advantages of the new way are underlined in the article.

Ключевые слова: напряжение, частота, аппроксимация, кривая, ток.

Keywords: voltage, frequency, approximation, curve, current.

Выходное напряжение преобразователей частоты (ПЧ) в общем случае имеет несинусоидальную форму. Степень несинусоидальности напряжения характеризуется коэффициентом гармоник по напряжению K_G . Несинусоидальность напряжения, питающего асинхронный двигатель, приводит к тому, что высшие гармоники прямой последовательности создают полезный момент, а обратной – тормозной момент, а нулевой последовательности –

пульсирующее поле. В связи с отрицательным влиянием высших гармоник на работу электрооборудования содержание их обычно регламентируется.[1]

При определении качества выходного напряжения для различных классов преобразователей частоты необходимо произвести гармонический анализ данного напряжения в диапазоне частот, требуемом для управления асинхронным двигателем. Данный анализ показал бы возможности каждого способа преобразования частоты по уменьшению K_G , а также степень данного уменьшения. Результат, полученный с помощью этих исследований, мог бы выявить новые возможности уменьшения K_G .

Выходное напряжение непосредственных преобразователей частоты (НПЧ) формируется из «вырезанных» участков синусоид входного многофазного напряжения. Выходное напряжение имеет несинусоидальную «пилообразную» форму, которую условно можно аппроксимировать синусоидой [2].

При построении кривой выходного напряжения НПЧ для гармонического анализа была использована модулирующая функция $M(t)=\arcsin[r\sin(\omega_{\text{ВЫХ}}t)]$, выраженная в радианах входной частоты и представленная как функция времени t для одного периода выходной частоты при $r=1$ и $r=0,5$. На рис. 1 показаны модулирующие функции $M(t)$ для $r=1$ и $r=0,5$. Также приведены наклонные параллельные линии $f_{11}, f_{12}, f_{13}, \dots, f_{1n}$, наложенные на модулирующие функции. Данные линии представляют собой синхронизирующие функции, определяемые следующими зависимостями [3]: для трёхфазного входного напряжения $f_{1i}=(2i\pi)/3-\omega_{\text{ВХ}}t$, $i=1, 2, \dots$; для шестифазного входного напряжения $f_{1i}=(i\pi)/3-\omega_{\text{ВХ}}t$, $i=1, 2, \dots$; для двенадцатифазного входного напряжения $f_{1i}=(i\pi)/6-\omega_{\text{ВХ}}t$, $i=1, 2, \dots$

Данные функции f_{1i} необходимы для определения точек пересечения их с модулирующей функцией $M(t)$. Значения времени в момент их пересечения будут являться временем переключения с одной фазы входного напряжения на другую, формируя, таким образом, выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}(t)$ (рис. 1).

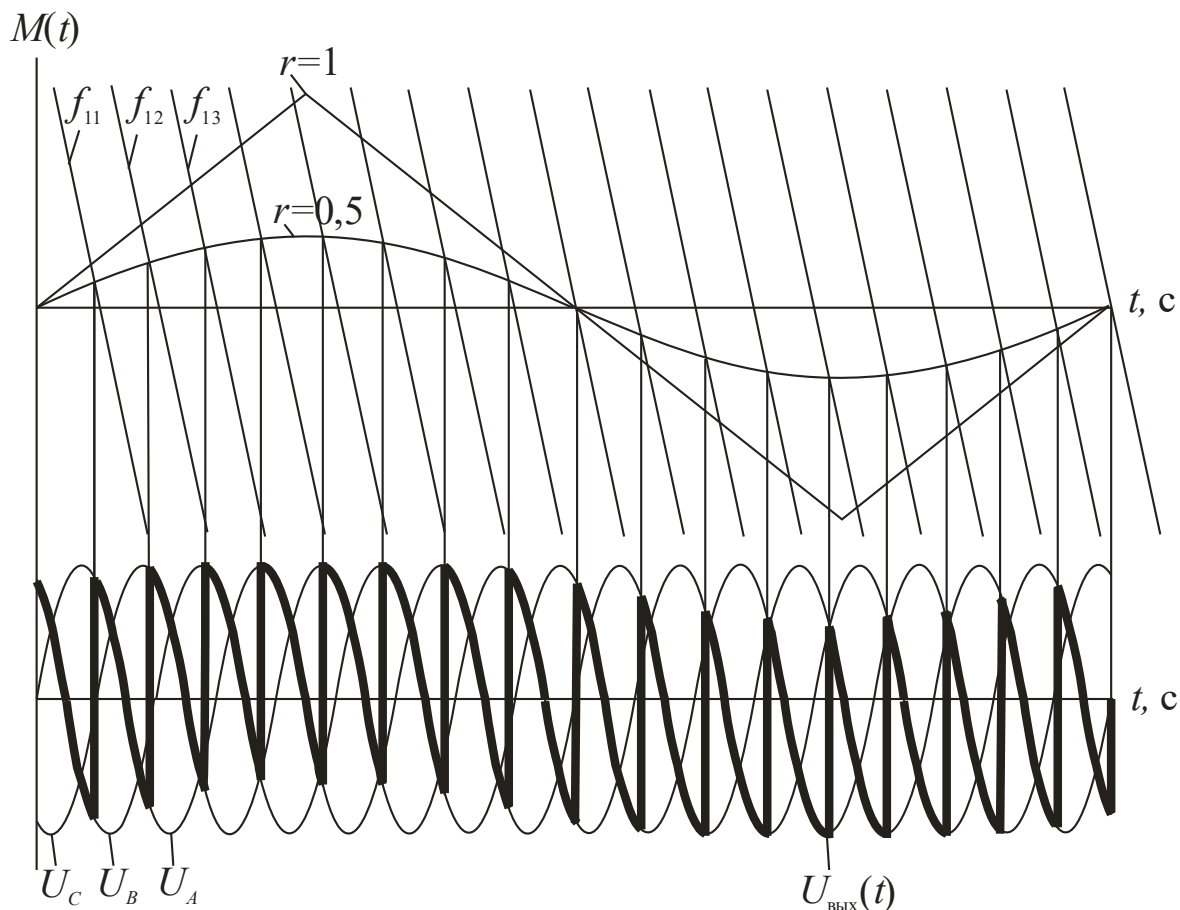


Рис. 1. Формирование кривой выходного напряжения НПЧ

У ПЧ с промежуточным звеном постоянного тока существует два варианта формирования ступенчатого напряжения. Это принцип амплитудной модуляции (АМ) по уровню и по времени. При равных приращениях на каждой ступени изменяются их длительности, либо при равной длительности ступеней изменяются приращения напряжения. Второй вариант реализуется проще.[2]

При анализе гармонического состава выходного напряжения НПЧ и ПЧ с промежуточным звеном постоянного тока был использован метод, основанный на рядах и интеграле Фурье.[4]

Для НПЧ при формировании выходного напряжения было использовано шести и двенадцатифазное входное напряжение. При этом применялась как синусоидальная модуляция ($r=0,5$), так и треугольная ($r=1$). Графики, характеризующие зависимость K_T от частоты, приведены на рис. 2, 3.

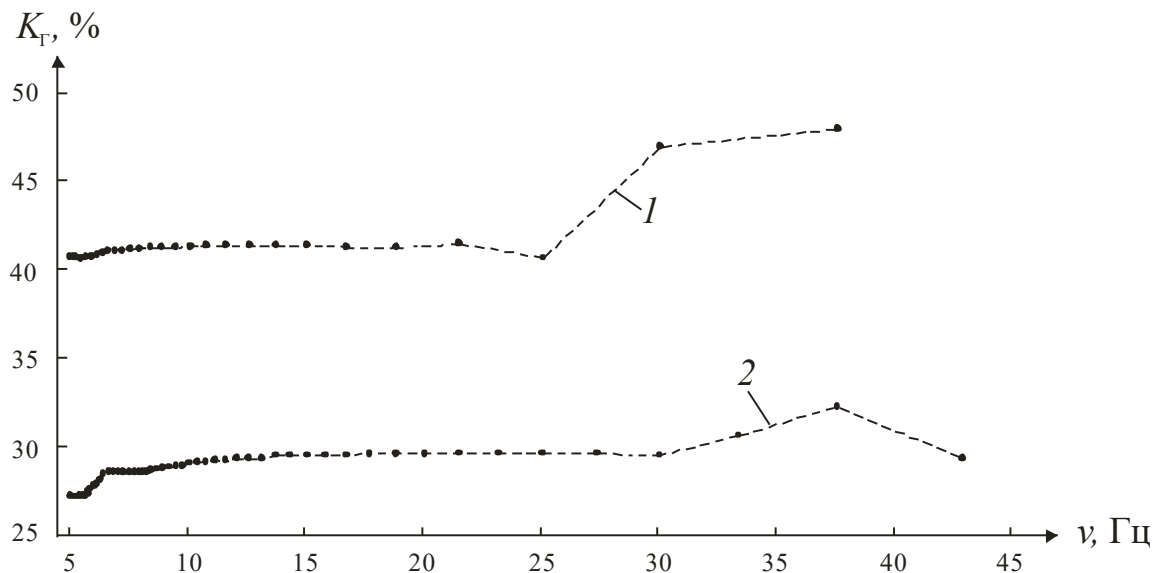


Рис. 2. Зависимость K_{Γ} от частоты при формировании выходного напряжения НПЧ с синусоидальной модуляцией ($r=0,5$): 1 - для шестифазного входного напряжения; 2 - для двенадцатифазного входного напряжения

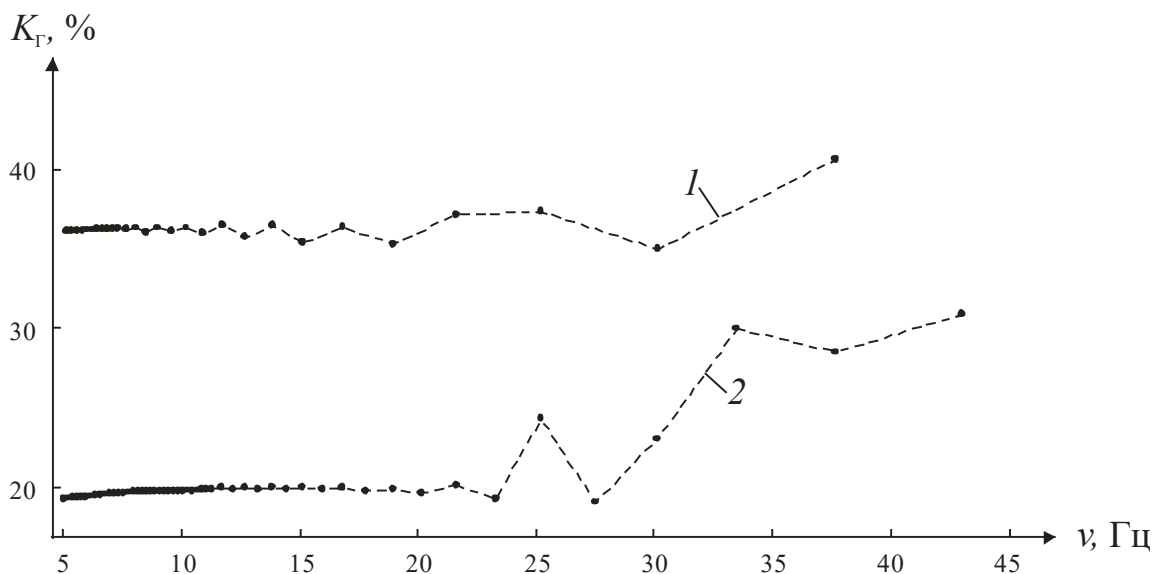


Рис. 3. Зависимость K_{Γ} от частоты при формировании выходного напряжения НПЧ с треугольной модуляцией ($r=1$): 1 - для шестифазного входного напряжения; 2 - для двенадцатифазного входного напряжения

На рис. 2 и 3 точками показаны значения K_{Γ} выходного напряжения НПЧ при различных частотах. Как видно из графиков плотность точек наиболее велика в низкочастотной области диапазона от 0 до 50 Гц. Т.е. при непосредственном преобразовании наиболее плавное изменение частоты характерно начальному участку частотного диапазона. Это свойство НПЧ является положительным при пуске асинхронных двигателей.

Среднее значение K_{Γ} для кривой 1 составляет 41,596 %, для кривой 2 – 28,342 % (рис. 2). Разность между наибольшим и наименьшим значениями для кривой 1 составляет 7,2 %, для кривой 2 – 5 %.

Среднее значение K_{Γ} для кривой 1 составляет 36,37 %, для кривой 2 – 20,498 % (рис. 3). Разность между наибольшим и наименьшим значениями для кривой 1 составляет 5,7 %, для кривой 2 – 11,7 %.

При гармоническом анализе выходного сигнала ПЧ с промежуточным звеном постоянного тока был использован принцип амплитудной модуляции по уровню и по времени. Величина K_{Γ} выходного сигнала преобразователя в данном случае зависит не от частоты ν , а от числа ступеней. Значения K_{Γ} при различном числе ступеней представлены в таблице 1.[5]

Таблица 1

Гармонический состав выходного напряжения при АМ

Число	K _Г , %				Число ступеней	K _Г , %			
	АМ по уровню		АМ по времени			АМ по уровню		АМ по времени	
	без паузы	с паузой	без паузы	с паузой		без паузы	с паузой	без паузы	с паузой
1	48,1	-	48,1	-	11	4,6	4,4	6,5	6,9
2	24,9	30,8	32,5	48,1	12	4,2	4	6	6,3
3	16,9	18,4	22,7	28,7	13	3,9	3,7	5,5	5,8
4	12,8	13,2	17,4	20,6	14	3,6	3,4	5,1	5,4
5	10,2	10,3	14,1	16,1	15	3,3	3,2	4,8	5
6	8,5	8,5	11,8	13,2	16	3,1	3	4,5	4,7
7	7,3	7,2	10,2	11,2	17	2,9	2,8	4,2	4,3
8	6,4	6,2	8,9	9,7	18	2,7	2,6	3,9	4,1
9	5,7	5,5	7,9	8,6	19	2,6	2,5	3,7	3,9
10	5,1	4,9	7,1	7,6	20	2,4	2,3	3,5	3,7

Наименьшие значения K_{Γ} получаются при модуляции синусоиды одним и тем же числом ступеней по уровню с наличием пауз между полуволнами и по времени без пауз. Это следует из сравнения значений K_{Γ} , приведённых в таблице 1. Графически зависимость K_{Γ} выходного напряжения от числа ступеней показана на рис. 4.

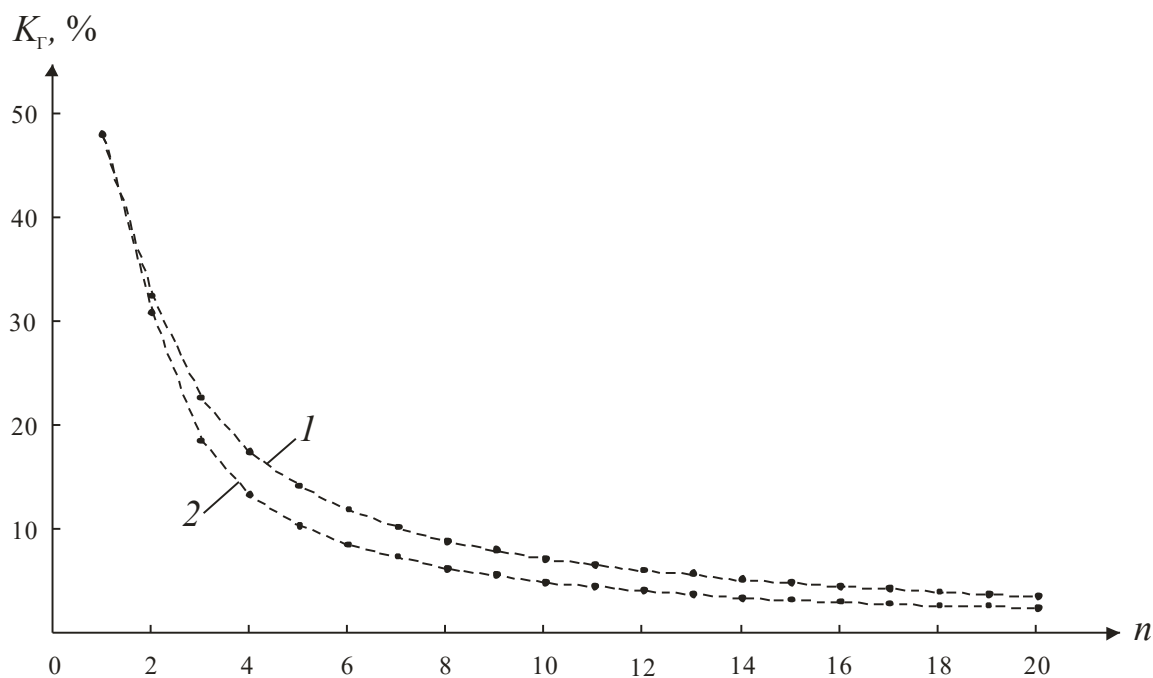


Рис. 4. Зависимость K_G от числа ступеней n при АМ: 1 - по времени без пауз в выходной кривой; 2 - по уровню с паузами в выходной кривой

Анализ способов аппроксимации выходного напряжения, рассмотренных классов преобразователей, показывает, что возможно получения любых форм выходного сигнала – прямоугольной, треугольной, синусоидальной.

При этом были рассмотрены две формы аппроксимирующих сигналов – это элементы «резанной» синусоиды и прямоугольные ступени.

Недостатки использования для аппроксимации «резанной» синусоиды заключаются в ограничении возможности уменьшения K_G выходного напряжения. Это означает, что для каждого значения частоты, получаемого на выходе синусоидального сигнала, можно путём аппроксимации его участками синусоид многофазного напряжения получить исходную кривую с определённым значением K_G . Причём дальнейшее уменьшение значения K_G для данной частоты путём изменения степени «урезанности» синусоиды не возможно. Существенным недостатком является низкое качество выходного напряжения. Так при шестифазном входном напряжении среднее значение K_G не менее 36,37 %, а при двенадцатифазном не менее 20,498 %. Ещё одним недостатком является зависимость K_G от частоты выходного напряжения.

Достоинством аппроксимации участками «резанной» синусоиды в НПЧ является возможность уменьшения K_{Γ} за счёт увеличения числа фаз входного напряжения. Однако анализ зависимостей, представленных на рис. 2, 3, показывает, что увеличение числа фаз не даёт существенного снижения K_{Γ} . Так при треугольной модуляции с увеличением числа фаз с шести до двенадцати среднее значение K_{Γ} уменьшается в 1,77 раза. При синусоидальной модуляции среднее значение K_{Γ} уменьшается в 1,468 раза. Но так как непосредственное преобразование не даёт точной аппроксимации синусоидального сигнала, то вышеуказанная степень уменьшения не является достаточной для получения качественного выходного напряжения.

Использование прямоугольных ступеней для аппроксимации более эффективно, поскольку:

1. K_{Γ} не зависит от частоты получаемого сигнала;
2. есть перспектива уменьшения K_{Γ} за счёт увеличения числа ступеней.

Недостатками этого способа являются:

1. двойное преобразование энергии, что приводит к уменьшению КПД, к увеличению установленной мощности и массы преобразователя;

2. для получения на выходе напряжения с низким содержанием гармоник требуется реализовать достаточно большое количество ступеней для более точной аппроксимации. Так для получения K_{Γ} не более 8% необходимо не менее семи ступеней [5]. При дальнейшем увеличении количества ступеней K_{Γ} начинает уменьшаться всё медленнее. При изменении числа ступеней, формирующих выходной сигнал, изменение коэффициента гармоник K_{Γ} велико (при изменении числа ступеней с 1 до 20 K_{Γ} в среднем изменяется на 45,125 %).

Приведённый анализ показал необходимость поиска способа более точной аппроксимации синусоидального сигнала в диапазоне от 0 до 50 Гц с меньшими затратами для управления асинхронными двигателями. Результат данных исследований показал бы новые возможности по уменьшению гармонического состава выходного напряжения преобразователей частоты.

Так объединение способов АМ с непосредственным преобразованием позволит использовать сразу два метода уменьшения K_{Γ} выходного напряжения. За счёт увеличения числа ступеней и числа фаз. Это позволит за счёт двойного способа аппроксимации снизить K_{Γ} по сравнению с АМ и непосредственным преобразованием. Такой комбинированный способ позволит уменьшить количество ступеней в выходной кривой и не требовать большого количества фаз входного напряжения.

Принцип работы такого преобразователя будет заключаться в аппроксимации выходного синусоидального напряжения пониженной частоты полуволнами входного трёхфазного или шестифазного напряжения (рис. 5).

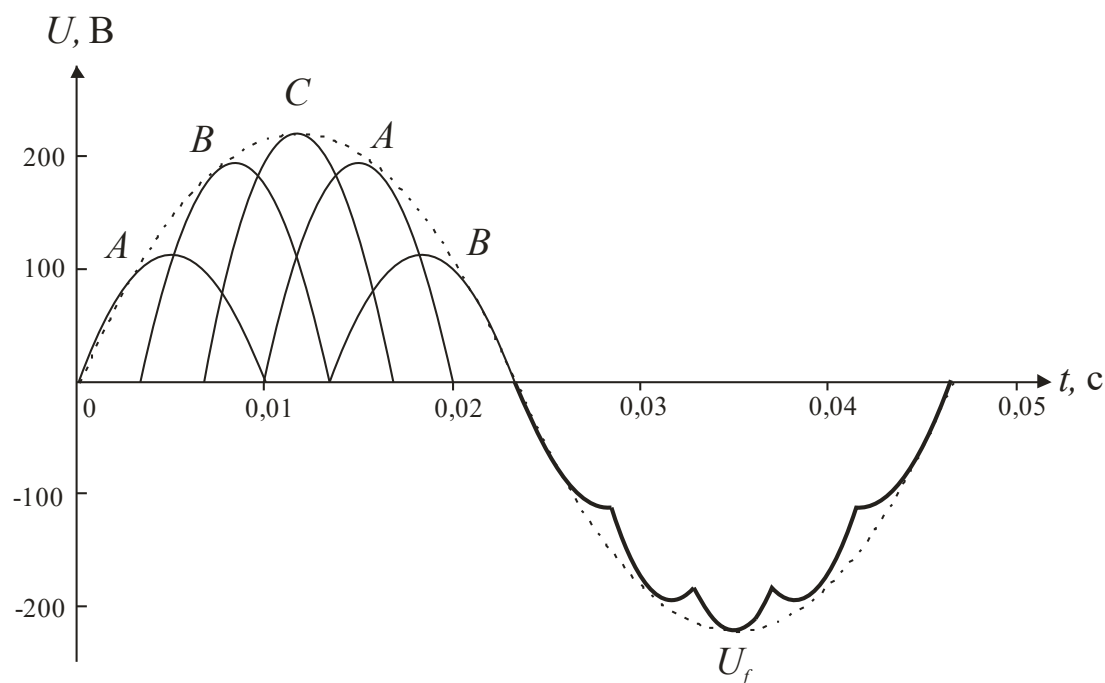


Рис. 5. Аппроксимация выходного синусоидального напряжения пониженной частоты полуволнами входного трёхфазного напряжения

На рис. 5 сплошная кривая U_f показывает как будет выглядеть выходное напряжение преобразователя с частотой 21,429 Гц при аппроксимации полупериода синусоиды пятью полуволнами трёхфазного сетевого напряжения. Полуволны, обозначенные как A , представляют собой фазу A входного напряжения ($\varphi=0$). Полуволны, обозначенные как B , представляют собой фазу B

входного напряжения ($\varphi=(2\pi)/3$). Полуволна, обозначенная как C , представляет собой фазу C входного напряжения ($\varphi=(4\pi)/3$).

Амплитудная модуляция с использованием полувольт трёхфазного или шестифазного сетевого напряжения с частотой 50 Гц позволит получить на выходе преобразователя синусоидальный сигнал (рис. 5). Значения частот ν и коэффициенты гармоник K_G этого сигнала представлены в таблице 2.[6]

Таблица 2

Гармонический состав выходного напряжения при АМ с помощью полувольт

№	Число ступеней	ν , Гц		K_G , %		№	Число ступеней	ν , Гц		K_G , %	
		3 фазы	6 фаз	3 фазы	6 фаз			3 фазы	6 фаз	3 фазы	6 фаз
1	1	50	50	0	0	21	11	6,522	11,538	4,4	1,3
2	1	37,5	42,857	11,5	5,1	22	11	6,25	11,111	4,4	1,3
3	2	30	37,5	8,9	3,7	23	12	6	10,714	4,4	1,3
4	2	25	33,333	7,6	3,2	24	12	5,769	10,345	4,4	1,2
5	3	21,429	30	6,8	2,8	25	13	5,556	10	4,4	1,2
6	3	18,75	27,273	6,2	2,5	26	13	5,357	9,677	4,4	1,2
7	4	16,667	25	5,8	2,3	27	14	5,172	9,375	4,4	1,2
8	4	15	23,077	5,6	2,1	28	14	5	9,091	4,4	1,2
9	5	13,636	21,429	5,3	2	29	15	4,839	8,824	4,3	1,2
10	5	12,5	20	5,1	1,9	30	15	4,688	8,571	4,3	1,2
11	6	11,538	18,75	5	1,8	31	16	4,545	8,333	4,3	1,1
12	6	10,714	17,647	4,9	1,7	32	16	4,412	8,108	4,3	1,1
13	7	10	16,667	4,8	1,6	33	17	4,286	7,895	4,3	1,1
14	7	9,375	15,789	4,7	1,5	34	17	4,167	7,692	4,3	1,1
15	8	8,824	15	4,7	1,5	35	18	4,054	7,5	4,3	1,1
16	8	8,333	14,286	4,6	1,4	36	18	3,947	7,317	4,3	1,1
17	9	7,895	13,636	4,6	1,4	37	19	3,846	7,143	4,3	1,1
18	9	7,5	13,043	4,5	1,4	38	19	3,75	6,977	4,3	1,1
19	10	7,143	12,5	4,5	1,3	39	20	3,659	6,818	4,3	1,1
20	10	6,818	12	4,5	1,3	40	20	3,571	6,667	4,3	1,1

При формировании выходного напряжения с параметрами, указанными в таблице 2, использовался способ наилучшей аппроксимации данного напряжения полуволнами входного трёхфазного или шестифазного. Т.е. амплитуды полувольт подбирались таким образом, чтобы K_G для данной частоты

был наименьшим. Данный диапазон частот вполне подходит для плавного пуска асинхронного электродвигателя, а также для регулирования частоты его вращения. При этом увеличение числа фаз приводит к уменьшению гармоник выходного напряжения, а также увеличение числа частот внутри диапазона, что способствует более плавному регулированию. Также применение принципа амплитудной модуляции для многофазного преобразователя позволяет получать на выходе сигналы пониженной частоты любой формы (треугольной, трапециевидной, прямоугольной, экспоненциальной, и т.д.).

Достоинством аппроксимации синусоиды полуволнами входного сетевого напряжения является возможность уменьшения K_T за счёт увеличения числа фаз входного напряжения и увеличения числа ступеней. Анализ значений, приведённых в таблице 2, показывает, что увеличение числа фаз даёт существенное снижение K_T . Так с увеличением числа фаз с трёх до шести значение K_T уменьшается от 2,255 до 3,909 раза. При изменении числа ступеней в виде полуволн входного напряжения с 1 до 20, формирующих выходной сигнал, K_T изменяется на 7,2 % для трёхфазной сети и на 3,9% для шестифазной сети.

Обычно при реализации многоступенчатых преобразователей частоты закладывается определённое число ступеней для аппроксимации выходного синусоидального напряжения.

Реализуемое количество ступеней выходного напряжения преобразователя частоты влияет на точность аппроксимации синусоидального напряжения. В свою очередь это влияет на K_T выходного напряжения.

Для гармонического анализа выходного напряжения, сформированного из полуволн входного, было взято число ступеней равное 3, 4, 5. Число фаз источника питания равно трём и шести. Результат анализа приведён на рис. 6.

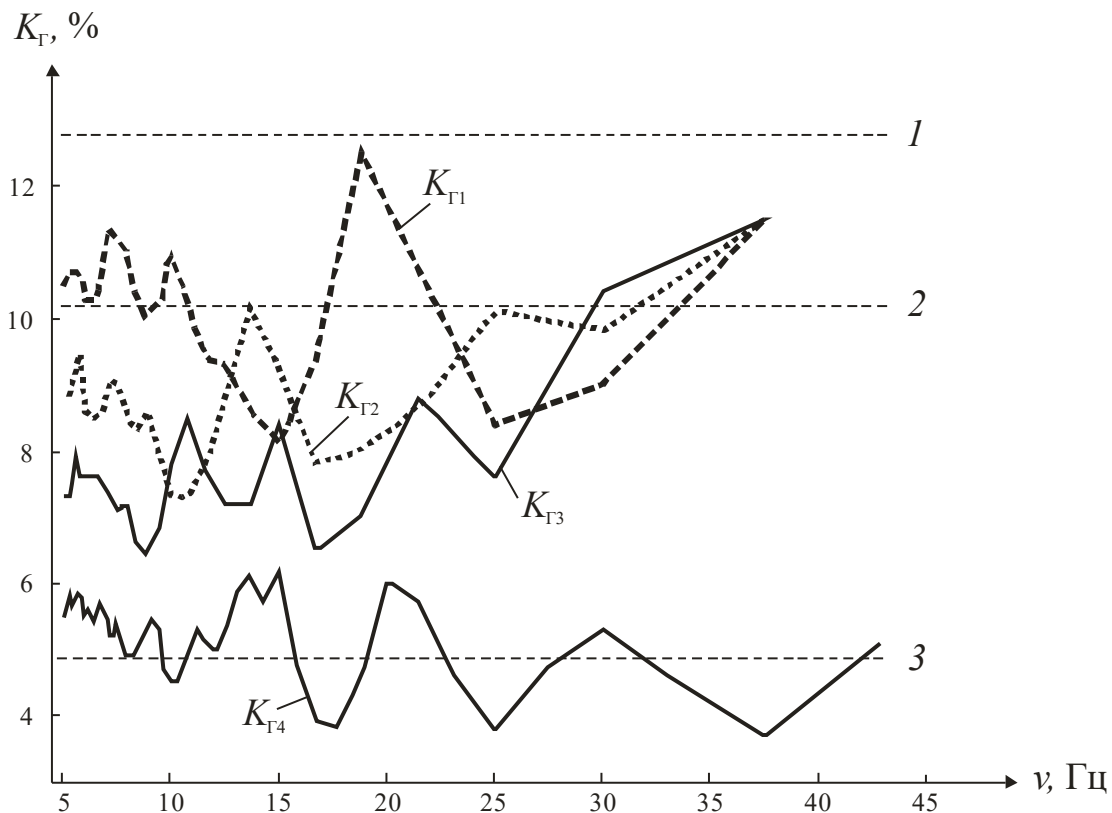


Рис. 6. Зависимость K_{Γ} от частоты выходного напряжения

На рис. 6 кривые $K_{\Gamma 1} - K_{\Gamma 4}$ показывают зависимость K_{Γ} от частоты выходного напряжения, сформированного из полуволн входного. Кривая $K_{\Gamma 1}$ определяет K_{Γ} выходного напряжения при трёхступенчатой АМ. Кривая $K_{\Gamma 2}$ определяет K_{Γ} выходного напряжения при четырёхступенчатой АМ. Кривая $K_{\Gamma 3}$ определяет K_{Γ} выходного напряжения при пятиступенчатой АМ. Число фаз источника питания для всех трёх случаев равно трём. Кривая $K_{\Gamma 4}$ определяет K_{Γ} выходного напряжения при пятиступенчатой АМ, но число фаз источника питания равно шести.

Пунктирными линиями на рис. 6 показаны значения K_{Γ} , полученные при АМ прямоугольными ступенями выходного синусоидального напряжения. Прямая 1 соответствует четырёхступенчатому напряжению, прямая 2 – пятиступенчатому. Значения K_{Γ} равны соответственно 12,8 %, 10,2 %. Прямая 3 соответствует десятиступенчатому напряжению с $K_{\Gamma} = 4,9$ %.

В результате при реализации многоступенчатого преобразователя частоты с полуволнами входного напряжения в качестве ступеней позволяет добиться

следующего: получение на выходе сигналов пониженной частоты любой формы (треугольной, трапециевидной, прямоугольной, экспоненциальной, и т.д.) которые при одном и том же количестве ступеней будут более точно аппроксимировать требуемую кривую, чем при прямоугольных ступенях. Увеличение числа фаз входного напряжения позволяет уменьшать K_{Γ} выходного напряжения, не меняя количество ступеней.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Розанов Ю.К. Основы силовой электроники. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 296 с.: ил.
2. Жемеров Г.Г. Тиристорные преобразователи частоты с непосредственной связью. М., «Энергия», 1977.
3. Джуджи Л., Пели Б. Силовые полупроводниковые преобразователи частоты: Теория, характеристики, применение. Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 400 с., ил.
4. Кугушев А.М., Голубева Н.С. Основы радиоэлектроники. (Линейные электромагнитные процессы). М., «Энергия», 1969. 880 с., 534 илл.
5. Федоров С.В. Анализ гармонического состава выходного напряжения преобразователей с АИМ// Информационные технологии в проектировании и производстве: Науч. – техн. журн./ ФГУП «ВИМИ», 2007. № 1. С. 1-107.
6. Федоров С.В. Расчёт гармонического состава многоступенчатого выходного напряжения преобразователей частоты с синусоидальной формой ступеней// Компьютерные учебные программы и инновации. – 2007. - № 10: ГОСКООРЦЕНТР, МФЮА, РУИ – с. 232.
7. Кумаков Ю.А. ИНВЕРТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ со ступенчатой модуляцией и активная фильтрация высших гармоник// Новости Электротехники. – 2005. – № 6(36).

Хасанчин Ф.Ю.

Уфимский университет науки и технологий

Науч. рук. канд. техн. наук *Ишкулова А. Р.*

Уфимский университет науки и технологий

Khasanchin F. Yu.

Ufa University of Science and Technology

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЗА СЧЁТ ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПОДВЕСНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

IMPROVING THE EFFICIENCY OF GALVANIC TREATMENT BY INTRODUCING AN AUTOMATED SUSPENDED TRANSPORT SYSTEM

Аннотация: В данной статье рассматриваются вопросы автоматизации транспортировки деталей в гальваническом производстве. Проведен анализ существующих систем, выявлены их недостатки применительно к современным требованиям гибкости производства и энергоэффективности. Сформулированы цели и задачи исследования, предложено решение на основе автоматизированной подвесной транспортной системы с индивидуальным приводом и элементами технического зрения. Представлены выводы о повышении эффективности и качества гальванической обработки.

Abstract. This article discusses the automation of parts transportation in electroplating production. It analyzes existing systems and identifies their shortcomings in relation to modern requirements for production flexibility and energy efficiency. The article formulates the goals and objectives of the research and proposes a solution based on an automated overhead transport system with individual drives and technical vision elements. The article concludes with recommendations for improving the efficiency and quality of electroplating processes.

Ключевые слова: гальваника, автоматизация, транспортировка деталей, подвесной конвейер, промышленные роботы.

Keywords: electroplating, automation, part transportation, overhead conveyor, industrial robots.

Гальваническое производство является одним из ключевых этапов в машиностроении, приборостроении и электронной промышленности, обеспечивающим защиту изделий от коррозии и придание им специальных свойств. Несмотря на высокую степень автоматизации самих процессов осаждения металлов (контроль плотности тока, температуры, состава электролита), транспортировка деталей между технологическими ваннами

зачастую остается частично механизированной или выполняется устаревшими автоматическими линейками [6].

В условиях современного рынка, характеризующегося мелкосерийным и многономенклатурным производством, возникает необходимость в гибких автоматизированных системах транспортировки (АСТ). Такие системы должны обеспечивать:

1. Точность времени выдержки (продолжительность травления, промывки, цианирования) для обеспечения заданного качества покрытия [9].
2. Исключение человеческого фактора при работе с агрессивными химическими средами и тяжелыми грузоподъемными механизмами [8].
3. Оптимизация перемещений для снижения энергопотребления оборудования [1].
4. Возможность идентификации партии деталей на каждом этапе обработки [10].

На современных гальванических производствах можно выделить три основных типа систем транспортировки:

1. Ручные тали и монорельсы. Управление тельфером с пульта производится оператором, перемещающим подвеску от ванны к ванне. Преимуществами таких систем являются дешевизна и гибкость. Недостатками, низкая производительность, влияние человеческого фактора на качество, вредные условия труда.

2. Автоматические гальванические линии (автооператоры). Представляют собой порталные или консольные роботы-автооператоры, перемещающиеся по рельсам над ваннами [6].

Преимуществами автооператоров является высокая производительность для крупносерийного производства. Недостатками жестко заданная траектория, сложность переналадки при смене номенклатуры изделий. А также, выход из строя одного автооператора, что приводит к останову всей линии. [3][5][7].

3. Роботизированные комплексы. Использование промышленных роботов-манипуляторов, установленных на подвижных платформах или стационарно,

позволяют обслуживать ванны, расположенные в радиусе действия манипулятора. Примером являются трехкоординатные транспортные роботы (экзороботы), обеспечивающие не только перемещение, но и обработку деталей паром внутри защитной кабины для минимизации выноса электролитов [1].

Преимущества роботизированных комплексов высокая гибкость, точность позиционирования.

Недостатки, высокая стоимость, ограниченная грузоподъемность для тяжелых барабанов.

При проектировании современных систем транспортировки для гальваники возникает ряд специфических проблем:

1. Агрессивная среда. Электроника и несущие элементы транспорта подвержены коррозионному воздействию паров кислот и щелочей. Требуется высокая степень защиты (IP67 и выше) и специальные материалы (кислотостойкая сталь, пластик). В связи с этим программное управление должно реализовываться по трехуровневой системе с интеграцией функций непосредственно на транспортном роботе [8].

2. Дискретность процесса. В отличие от конвейерного производства, гальванический процесс требует строго определенной последовательности погружений. Задержка на 1 секунду может привести к браку (например, «перетраву») [9].

3. Позиционирование над ванной. Необходимо точно останавливать подвеску над ванной с учетом «зеркала» электролита и возможных колебаний. Современные исследования предлагают использование индуктивных датчиков и частотных преобразователей для повышения точности остановки [2][4].

4. Интеграция с АСУ ТП ванн. Система транспортировки должна обмениваться данными с блоками питания ванн, дозаторами и системами фильтрации.

5. Гибкость маршрутов. Для мелкосерийного производства требуется возможность оперативно менять технологическую цепочку (исключать

некоторые ванны или добавлять промежуточные операции) без физического демонтажа направляющих.

Таким образом, повышение эффективности и качества гальванической обработки деталей является актуальной задачей и может быть решена путем разработки и внедрения адаптивной автоматизированной системы транспортировки.

В качестве решения предлагается разработка гибридной системы транспортировки на базе подвесного монорельсового трека с независимыми тележками (аналог системы «Multitrolley» или «SmartMover»).

Основные компоненты системы:

1. Транспортная платформа (тележка). Герметичное исполнение из полипропилена или нержавеющей стали. Оснащена индивидуальным сервоприводом с энкодером.

2. Путевая структура. Легкий монорельс с токосъемными шинами (или индукционной зарядкой) для подзарядки тележек в зонах ожидания. Рельс может иметь стрелочные переводы, что позволяет создавать разветвленные сети и обгонные пути. Это развитие идей, заложенных в ранних конструкциях подвесных конвейеров [3], но с добавлением индивидуального привода.

3. Механизм подъема (Каретка): Телескопический подъемник с сервоприводом, обеспечивающий вертикальное перемещение штанги с деталями. Оснащен датчиками усилия для защиты от зацепов за края ванны.

4. Система технического зрения: Камера высокого разрешения, установленная на тележке или стационарно над зоной загрузки. Анализирует положение подвески и корректирует траекторию захвата механизмом подъема.

5. Уровень управления (АСУ ТП): Центральный сервер с SCADA-системой, который:

- Получает заказ на обработку партии (считывание RFID метки с подвески).
- Формирует оптимальный маршрут для тележки (алгоритм планировщика задач), избегая простоев и конфликтов.
- Отслеживает время нахождения в ванне и подает команду на подъем.

- Взаимодействует с PLC ванн для синхронизации.

При поступлении партии деталей на подвеске с RFID-меткой, оператор или автоматический загрузчик вешает её на свободную тележку. Система считывает метку, определяет техпроцесс (карту маршрута) и направляет тележку к нужной ванне. Тележка позиционируется с помощью лазерной триангуляции или системы технического зрения. Происходит опускание подвески в ванну на заданное время. По истечении времени тележка поднимает детали и перемещает их к следующей ванне или на выгрузку.

1. Предлагаемая система на базе независимых тележек позволяет отказаться от жесткой привязки к последовательности ванн, свойственной традиционным автооператорам [6].

2. Использование технического зрения и RFID-идентификации минимизирует ошибки позиционирования [2] и обеспечивает полную прослеживаемость обработки каждой партии деталей.

3. Модульность конструкции повышает ремонтпригодность (вышедшую из строя тележку можно отбуксировать в ремонтную зону, не останавливая линию).

4. Система позволяет легко масштабировать производство путем добавления новых тележек и секций рельсового пути.

5. Предварительное моделирование, основанное на методиках построения циклограмм [9], показывает снижение времени межоперационных простоев на 15-20% по сравнению с традиционными двухстоечными автооператорами за счет оптимизации логистики.

Автоматизация транспортировки деталей в гальваническом производстве является критическим фактором для обеспечения конкурентоспособности продукции. Предложенное решение на основе автономных тележек с адаптивным управлением и машинным зрением позволяет преодолеть ограничения классических систем, обеспечивая высокую гибкость, надежность и качество обработки в условиях мелкосерийного и многономенклатурного производства. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку

алгоритмов машинного обучения для прогнозирования оптимальной загрузки линии и энергопотребления тележек, а также на создание цифровых двойников (Digital Twins) гальванических участков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. НПП «РОБОТЭК». Проект «ЭКОГАЛЬВАНИКА»: Трёхкоординатный транспортный робот для гальванических линий [Электронный ресурс] / Официальный сайт производителя. – Режим доступа: <http://www.robotek-m.ru/proekty/ekogalvanika> (дата обращения: 27.02.2026).
2. Mukhametzhanov, R.N. The System of Automation for the Positioning of an Auto Operator of a Galvanic Line Using Inductive Sensors and a Frequency Converter / R.N. Mukhametzhanov, S.O. Kaminsky, A.T. Galiakhmetova [et al.] // 7th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). – 2025. – P. 1-5. – DOI: 10.1109/REEPE63962.2025.10970822.
3. Авторское свидетельство СССР № 1745635 А1, МПК В 65 G 17/20. Подвесной грузонесущий конвейер / В.В. Гритчин (СССР). – № 4782063/03; заявл. 11.01.90; опубл. 07.07.92, Бюл. № 25. – 5 с.
4. Васильев, С.А. Эффективное управление скоростями движения автооператоров автоматических линий гальванопокрытий / С.А. Васильев, И.В. Милованов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2016. – № 4. – С. 1-4.
5. Авторское свидетельство СССР № 1553446 А1, МПК В 65 G 17/20. Подвесной конвейер / А.А. Бондаренко (СССР). – № 4450321/27-03; заявл. 27.06.88; опубл. 30.03.90, Бюл. № 12. – 4 с.
6. Петров, О.А. Обзор конструкций и перспективы развития автооператоров для гальванических линий / О.А. Петров, П.Е. Вайтехович, В.С. Францкевич // Создание новых и совершенствование действующих технологий и оборудования нанесения гальванических и их замещающих покрытий: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Минск: БГТУ, 2013. – С. 139-142.
7. Патент SU 1745635 А1. Подвесной грузонесущий конвейер [Электронный ресурс] / База патентов СССР. – Режим доступа: <https://patentdb.ru/patent/1745635> (дата обращения: 27.02.2026).
8. Карпович, Д.С. Модель системы управления автооператора для гальванических линий / Д.С. Карпович, В.В. Сарока, И.О. Оробей // Химическая технология и техника: материалы 87-й науч.-техн. конф. проф.-преп. состава, науч. сотрудников и аспирантов. – Минск: БГТУ, 2023. – С. 263-266.
9. Родина, А.А. Методика составления циклограммы автооператора гальванической линии / А.А. Родина, С.И. Пестрецов // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. В.А. Немтинова. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2015. – С. 147-151.
10. Коммерческое описание автоматизированной линии цинкования [Электронный ресурс] / Сьюйчжоу РИТМАН Оборудования Лтд. – Режим доступа: <https://ru.ritmangalvanizing.com/> (дата обращения: 27.02.2026).

Широков П.П.

Уфимский университет науки и технологий

Науч. рук. канд. техн. наук *Ишкулова А. Р.*

Уфимский университет науки и технологий

Shirokov P.P.

Ufa University of Science and Technology

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТВЁРДОТОПЛИВНЫХ КОТЕЛЬНЫХ КАК КЛЮЧ К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ

AUTOMATION OF SOLID FUEL BOILER PIPES AS A KEY TO INCREASING EFFICIENCY

Аннотация: Статья посвящена анализу эксплуатации угольных котельных. Актуальность темы обусловлена высокой инерционностью горения и большими физическими нагрузками при использовании. Цель работы является проанализировать уровни автоматизации угольного котла и предотвратить технологические потери, вызванные недожогом и инерционностью. Установлено, что переход к цифровому контролю позволяет исключить влияние человеческого фактора и повысить КПД котла на 4 – 7%. Автоматизация обеспечивает стабильность теплотехнических параметров и надежную защиту оборудования в реальном времени.

Abstract. The article is devoted to the analysis of the operation of coal-fired boiler houses. The relevance of the topic is due to the high inertia of combustion and heavy physical loads during use. The purpose of the work is to analyze the levels of automation of a coal-fired boiler and prevent technological losses caused by unburned fuel and inertia. It has been established that the transition to digital control allows for the elimination of the human factor influence and an increase in boiler efficiency by 4–7%. Automation ensures the stability of thermal parameters and reliable protection of equipment in real time.

Ключевые слова: твердотопливные котельные, автоматизация, энергоэффективность, ПИД-регулирование, системы управления, ПЛК, инерционность горения.

Keywords: solid-fuel boiler houses, automation, energy efficiency, PID control, control systems, PLC, combustion inertia.

Использование твердотопливных котельных остается востребованным и на сегодняшний день, что в большинстве случаев обуславливается сложным взаимодействием экономических, технологических и географических факторов. Несмотря на общемировой тренд декарбонизации и очевидное стремление к отказу от угля в ряде российских городов, данный вид топлива сохраняет свою

значимость как экономически целесообразный, технологически развивающийся и в ряде случаев безальтернативный источник тепловой и электрической энергии.

Одним из главных факторов, поддерживающих спрос на уголь, является его экономическая доступность и стабильность.

Уголь остается одним из наиболее экономически выгодных видов ископаемого топлива. Его использование позволяет снизить себестоимость производства тепловой и электрической энергии по сравнению с альтернативными видами топлива, такими как мазут или природный газ, в регионах, где отсутствует развитая газовая инфраструктура.

Для удаленных регионов или территорий, не имеющих доступа к газовым сетям, уголь представляет собой возможность обеспечения стабильного энергоснабжения без зависимости от импортных или логистически сложных видов топлива.

Однако, управление твердотопливными котлами, в отличие от газовых, или электрических котлов, требуют загрузки топлива 2 – 4 раза в сутки, регулярной чистки зольника и удаления шлака, что в отсутствии автоматических забрасывателей является физически тяжелым трудом.

Преимуществами твёрдотопливного котла является полная автономность, универсальность и простота. КПД обычного угольного котла составляет примерно 65 – 78% [3].

Но при этом всем огромной проблемой является инерционность процесса сгорания. Её можно поделить на три основных аспекта: долгое время нагрева до рабочих температур, невозможность мгновенной остановки, избыточная теплоемкость, которая может быть невостребована.

Таким образом, процесс горения угля требует постоянного контроля и поддержания баланса между тремя ключевыми параметрами: топливо, воздух и температура.

В отличие от газовых систем, где изменение подачи топлива приводит к мгновенным результатам, угольные котлы реагируют на изменения параметров, таких как увеличение тяги или подача угля, с заметной задержкой. Это усложняет

настройку пропорционально-интегрально-дифференциальных (ПИД) регуляторов и требует применения более сложных алгоритмов управления для предотвращения колебаний системы (перерегулирования).

Для достижения полного сгорания угля необходимо строго контролировать соотношение «топливо-воздух». Однако вследствие изменчивости качества угля и его фракционного состава точное регулирование массового расхода топлива и воздуха представляет значительную сложность.

Усредненные значения параметров горения угля от вида представлены в таблице 1.

Таблица 1

Усредненные значения параметров горения угля

Параметр	Уголь (Антрацит)	Топливные брикеты
Теплотворность (ккал/кг)	7000 – 8000	4500 – 5000
Длительность горения	Максимальная	Средняя
Зольность (%)	5 – 15%	0.5 – 1.5%
Влажность (%)	7 – 12%	4 – 8%

Следуя из данной таблицы, можно выделить то, что уголь (антрацит) является самым энергоэффективным топливом для твёрдотопливного котла.

Кроме того, на энергетических станциях часто сталкиваются с проблемами неточности контроля расхода угля и воздуха, что приводит к снижению коэффициента полезного действия (КПД) и увеличению выбросов загрязняющих веществ.

Исходя из вышесказанного, автоматизация управления твердотопливной котельной является сложной и актуальной задачей на сегодняшний день. Для разработки эффективной системы управления твердотопливным котлом необходимо учитывать множество факторов, таких как, характеристики котла, качество топлива (угля), разрежение воздуха в котле. Кроме того, необходимо согласовать работу системы управления котлом с системами управления подготовки топлива, топливоподачи и сетевыми насосами.

Построение эффективной системы управления невозможно без всестороннего изучения и понимания принципов работы объекта управления, которым в данном случае является твёрдотопливный котел. Стандартная вариация твердотопливного котла устроена по принципу того, что в камеру сгорания загружают топливо, оно сгорает вследствие чего получается раскаленные газы, поднимающиеся в теплообменник и нагревающие теплоноситель, далее газы попадают в дымоход и выходят наружу. Топливо располагается на колосниковой решетке, она служит для поступления воздуха и отсеивания золы. Зола и остальные продукты горения попадают в зольник откуда уже удаляются или человеком или автоматически.

Система управления твердотопливным котлом может содержать три уровня: нижний – полевой, средний – управления и верхний – диспетчеризации и сбора данных [2].

Нижний уровень можно разбить на две подсистемы: измерительную и исполнительную. Измерительная отвечает за сбор данных, без которых мы не можем построить схему взаимодействия автоматики с физическими процессами. Данная подсистема включает в себя различные датчики измеряющие теплотехнические параметры, параметры расхода и уровня, а также узконаправленные датчики, созданные для работы с горючем топливом. Под теплотехническими параметрами понимается температура, давление и разрежение. Параметры расхода и уровня включают датчики, которые получают сведения об изменении расхода пара и уровня воды. Узконаправленные датчики сконцентрированы на анализе газа, состоянии огня и сведениях о том, что происходит в бункере с топливом [4].

Исполнительная подсистема – это группа устройств, которая выполняет механические действия. Тягодутьевые устройства регулируют подачу воздуха в топку и отвод дымовых газов из неё же. Механизмы топливоподачи отвечают за то сколько и в каких промежутках будет поступать горючий материал. Запорно-регулирующая арматура это система, объединяющая функции контроля за интенсивностью подачи с помощью различных видов клапанов.

Средний уровень автоматизации базируется на программируемых логических контроллерах [1]. Данный уровень отвечает за связь между устройствами нижнего уровня, выполнение различных алгоритмов и за защиту.

Программируемый логический контролер – это цифровая электронная система, предназначенная для использования в промышленной среде, которая использует программируемую память для внутреннего хранения ориентированных на пользователя инструкций по реализации специфических функций, таких как логика, последовательность, синхронизация, подсчет и арифметические операции.

Средний уровень можно разбить на несколько ключевых направлений. Автоматическое регулирование параметров отвечает за поддержание стабильности система. Контролер подбирает оптимальное соотношение воздуха для того, чтобы топливо сгорало в полной мере, регулирует уровень воды в барабане с учетом ушедшего пара, управляет давлением в системе и выполняет остальные действия помогающие снизить инерционность системы. Контролер также отвечает за различные защиты и блокировки. Если датчик фиксирует отсутствие пламени он перекроет подачу топлива или при резком падение уровня воды или увеличение давления инициирует остановку котла. Программная логика и последовательности подразумевает то, что контролер следит за тем, чтобы все действия соблюдали свою последовательность. Это исключает человеческий фактор. Для борьбы с инертностью применяются алгоритмы пропорционально-интегрально-дифференцирующего (ПИД) регулирования. Математическая модель ПИД-регулятора описывается следующим уравнением:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

где $u(t)$ - управляющее воздействие, $e(t)$ - сигнал рассогласования, а K_p , K_i и K_d - коэффициенты пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих соответственно. Для предотвращения перегрева ПИД регулятор реагирует на изменение дифференциальной составляющей, заранее снижая

подачу воздуха или топлива. Что приводит к снижению выделения тепловой энергии. [1]

Также большой проблемой является так называемый химический недожог. При недостатке кислорода углерод окисляется не полностью, в результате чего вместо углекислого газа (CO_2) образуется токсичный угарный газ (CO). Это снижает эффективность котла и приводит к потерям энергии. Излишнее же количество кислорода не догорает полностью и приводит к затратам энергии на свой нагрев тем самым унося тепло в дымовую трубу.

Верхний уровень представляет собой программно-аппаратный комплекс для диспетчерского управления и сбора данных в реальном времени. Он отображает технологические процессы, управляет оборудованием, архивирует данные и оповещает об авариях. Оператор видит перед собой визуальную схему устройства котла, реагирующую на изменения состояния. На схеме отображаются данные, полученные с датчиков. В случае незначительных отклонений от нормы система предупреждает оператора. Сохранение данных помогает анализировать то, как работал котел и делать выводы о его состоянии. [5]

Подводя итог можно сделать вывод что современная автоматизация угольного котла – это многоуровневая интеллектуальная система. Она помогает бороться с главной проблемой угольных котлов – инертностью. За счет того, что уровень кислорода поддерживается в пределах нормы исключается фактор химического недожога, что увеличивает КПД на 4 – 7%. Таким образом переход от ручного труда к цифровому контролю лучший способ сделать из древнего малоэффективного устройства современную установку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Денисенко, В. В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В. В. Денисенко. – М.: Горячая линия-Телеком, 2013. – 606 с. – ISBN 978-5-9912-0060-8.
2. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справочное пособие / под ред. А. С. Ключева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.
3. ГОСТ 30735-2001. Котлы отопительные водогрейные теплопроизводительностью от 0,1 до 4,0 МВт. Общие технические условия. – Введен 2003-01-01. – М.: Госстандарт России, 2002.
4. Преображенский, В. П. Теплотехнические измерения и приборы: учебник для вузов / В. П. Преображенский. – 3-е изд., перераб. – М.: Энергия, 1978. – 704 с.
5. ГОСТ 21.404-85. Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Условные обозначения приборов и средств автоматизации в схемах. – Введен 1986-01-01. — М.: Государственный комитет СССР по делам строительства, 1985.

Беспалов К.А.

Институт химических технологий и инжиниринга УГНТУ в г. Стерлитамаке

Науч. рук. канд. тех. наук *Кулакова Е.С.*

Институт химических технологий и инжиниринга УГНТУ в г. Стерлитамаке

Bespalov K.A.

Institute of Chemical Technology and Engineering, Ufa State Petroleum Technical University, Sterlitamak

AI-АССИСТЕНТ В КОРПОРАТИВНОЙ СИСТЕМЕ

AI ASSISTANT IN THE CORPORATE SYSTEM

Аннотация: Рост объёмов данных и усложнение бизнес-процессов в современных корпорациях требуют перехода от традиционных интерфейсов к интеллектуальным инструментам поддержки принятия решений. Классические поисковые системы и статические отчёты демонстрируют ограниченную эффективность при работе с неструктурированными запросами, изменяющимся контекстом задач и необходимостью персонализации. В работе предложен метод построения AI-ассистента на основе больших языковых моделей, интегрируемого в корпоративную среду. Проведена идентификация типовых пользовательских сценариев, разработана архитектура гибридного агента с доступом к внутренним базам знаний и API, реализован конвейер векторной индексации документов. Моделирование показало возможность сокращения времени поиска информации при одновременном повышении точности ответов, что представляется перспективным направлением для повышения операционной эффективности.

Abstract: Growing data volumes and the increasing complexity of business processes in modern corporations require a shift from traditional interfaces to intelligent decision support tools. Classic search engines and static reports demonstrate limited effectiveness when dealing with unstructured queries, changing task contexts, and the need for personalization. This paper proposes a method for building an AI assistant based on large language models that can be integrated into a corporate environment. We identified typical user scenarios, developed a hybrid agent architecture with access to internal knowledge bases and APIs, and implemented a vector document indexing pipeline. Simulations demonstrated the potential to reduce information search time while simultaneously increasing response accuracy, which appears to be a promising approach for improving operational efficiency.

Ключевые слова: AI-ассистент, корпоративная система, большие языковые модели, RAG, векторная база данных, интеграция, поддержка принятия решений.

Keywords: AI assistant, enterprise system, large language models, RAG, vector database, integration, decision support.

Современный бизнес функционирует в условиях противоречивых требований: с одной стороны, необходимо обеспечивать высокую скорость обработки запросов сотрудников, с другой — минимизировать риски, связанные

с потерей контекста и доступом к неактуальным данным. Корпоративная среда, включающая десятки информационных систем и гетерогенные источники знаний, характеризуется сложной взаимосвязью между регламентами, транзакционными данными и пользовательскими ролями. Именно эта многомерность делает задачу внедрения универсального AI-ассистента нетривиальной для классических поисковых решений.

Целью настоящего исследования стала разработка интеллектуального агента, способного на основе корпоративных данных интерпретировать естественно-языковые запросы, извлекать релевантную информацию из различных источников и формировать структурированный ответ с указанием степени достоверности. Для её достижения потребовалось решить ряд взаимосвязанных задач: от идентификации ключевых сценариев использования до создания работающего программного прототипа с интеграционными интерфейсами.

Первый этап работы был посвящён систематизации параметров, влияющих на эффективность AI-ассистента. Объём корпоративной документации (от 10 до 100 тыс. страниц), количество одновременных сессий (до 500), среднее время ожидания ответа (не более 3 с) и точность семантического поиска (целевое значение >85%) были выделены как основные управляющие характеристики. Интересно отметить, что даже незначительное изменение формулировки запроса (на уровне 2–3 слов) может привести к существенному смещению релевантности, что подтверждает необходимость использования высокого разрешения.

Предварительная обработка данных, без которой невозможно эффективное функционирование модели, включала несколько критически важных шагов. Архивные документы в форматах Word, PDF и Excel подвергались очистке от служебной разметки, извлечению текста и сегментации на семантические фрагменты, после чего применялось построение векторных представлений с использованием мультязычных моделей. Такой подход, хотя и является стандартным в практике NLP, в контексте корпоративных данных приобретает

особое значение: разнородные источники (регламенты, инструкции, переписка) приводятся к единому семантическому пространству, что обеспечивает единообразие поиска.

Архитектура AI-ассистента была выбрана исходя из компромисса между выразительной способностью модели и требованиями информационной безопасности. Гибридный агент (RAG — Retrieval-Augmented Generation) с векторным индексом на базе Qdrant, базовой языковой моделью с открытым кодом (Llama 3 70B) и слоем фильтрации прав доступа продемонстрировал устойчивую работу на корпоративных данных. В качестве механизма ранжирования использовалась комбинация косинусной близости и метаданных (департамент, тип документа, дата). Стоит отметить, что первоначальные эксперименты с простыми поисковыми индексами приводили к систематическому пропуску контекстно-зависимых запросов, что потребовало внедрения многопроходного семантического поиска.

Обучение модели выполнялось на размеченном корпусе из 15 тыс. пар «вопрос—ответ» с вариационным разделением 20%. Динамика метрики на обучающей выборках свидетельствовала об отсутствии выраженного переобучения: расхождение между значениями к концу цикла не превышало 2%. Это позволяет с определённой долей уверенности говорить о способности системы к генерализации на новые тематики, хотя вопрос о её устойчивости при резком изменении корпоративной терминологии остаётся открытым и требует дополнительных исследований.

Практическая реализация системы выполнена на языке Python с использованием библиотек LangChain, Qdrant-client, FastAPI и React. Веб-интерфейс позволяет сотруднику формулировать запрос на естественном языке, инициировать процесс поиска и визуализировать результаты в виде структурированного ответа со ссылками на исходные документы. Особое внимание уделено возможности интеграции через REST API с корпоративными порталами и Active Directory, что обеспечивает бесшовное внедрение в существующую ИТ-инфраструктуру предприятия.

Результаты тестирования, полученные на контрольной группе из 50 сотрудников, демонстрируют потенциал предложенного подхода. Среднее время поиска информации сократилось с 12 минут до 45 секунд, доля успешных ответов с первой попытки достигла 82%. Одновременно фиксируется снижение нагрузки на службу поддержки на уровне 15–20% за счёт автоматизации типовых запросов. Разумеется, эти цифры получены в условиях пилотной эксплуатации, и их масштабирование на всю корпоративную среду потребует дополнительной настройки политик безопасности и окончания обучения модели на специфичных доменах.

Перспективы развития работы видятся в нескольких направлениях. Во-первых, представляет интерес адаптация агента для работы в режиме мульти систем, с распределением запросов между специализированными модулями. Во-вторых, заслуживает внимания исследование методов калибровки уверенности модели для критических сценариев принятия решений. Наконец, интеграция разработанного ассистента с RPA-роботами могла бы стать следующим шагом на пути к созданию полностью автономного помощника, выполняющего не только поиск, но и транзакционные операции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зеленков Ю. А. Управление знаниями организации и большие языковые модели // Российский журнал менеджмента. – 2024. – Т. 22, № 3. – С. 573–601.
2. Столяров А. Д., Абрамов А. В., Абрамов В. И. Генеративный искусственный интеллект для инноваций бизнес-моделей: возможности и ограничения // Beneficium. – 024. – № 3. – С. 43–51.
3. Калиужный А. А., Алексанян С. А., Семенов Р. А. Исследование использования RAG в корпоративном сегменте в сфере документооборота // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2025. – Т. 21, № 3. – URL: <http://sitito.cs.msu.ru/index.php/SITITO/article/view/1241> (дата обращения: 27.03.2026).
4. Курбатов, Э. В. Разработка автоматизированной системы управления узлом компримирования незаполимеризовавшегося винилхлорида / Э. В. Курбатов, Е. А. Муравьева // Актуальные проблемы и направления развития технологий органического и неорганического синтеза: Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции, Стерлитамак, 14–15 мая 2024 года. – Уфа: ООО «Информреклама», 2024. – С. 127-128. – EDN UKOYEA.
5. Муравьева, Е. А. Разработка нейронной сети для управления процессом пиролиза дихлорэтана с целью повышения эффективности процесса / Е. А. Муравьева, А. И. Николаева // Системная инженерия и информационные технологии. – 2024. – Т. 6, № 4(19). – С. 69-76. – DOI 10.54708/2658-5014-SIIT-2024-no4-p69. – EDN BJQURV.

6. Муравьева, Е. А. Разработка НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЩЕЛОЧНОЙ ОТМЫВКИ ИЗОПЕНТАН- ИЗОПРЕН-ТОЛУОЛЬНОЙ ФРАКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА / Е. А. Муравьева, Р. В. Казанцев, Д. В. Подлесский // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2022. – № 2. – С. 120-137. – DOI 10.15593/2224-9400/2022.2.09. – EDN VBWNEW.

Гайдукова А.Д.

Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Стерлитамак

Науч. рук. док. техн. наук *Муравьева Е.А.*

Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Стерлитамак

Gaidukova A.D.

Ufa State Petroleum Technological University, Sterlitamak

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ НЕЙРОННОЙ СЕТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ВХОДА В РЕАКТОР ХЛОРИРОВАНИЯ РЕЦИКЛОВОГО ДИХЛОРЭТАНА

DEVELOPMENT OF A NEURAL NETWORK SYSTEM FOR CONTROLLING PROCESS PARAMETERS AT THE INLET OF A RECYCLE DICHLOROETHANE CHLORINATION REACTOR

Аннотация: Статья посвящена разработке системы нейросетевого регулирования технологическими параметрами процесса хлорирования рециклового дихлорэтана. Рассмотрена роль данного процесса в производстве винилхлорида и поливинилхлорида (ПВХ). В качестве альтернативного подхода к оценке трудноизмеряемых параметров предложено использование виртуальных анализаторов (ВА) на базе алгоритмов виртуального измерения. Представлена структурная схема виртуального анализатора, а также его реализация в среде Simulink MATLAB, позволяющая с высокой точностью вычислять показатели селективности и конверсии дихлорэтана. Показано, что интеграция виртуального анализатора с системой управления процессом хлорирования способствует оптимизации условий реакции, повышению качества и безопасности производства.

Abstract: This article is devoted to the development of a neural network system for controlling process parameters of a recycled dichloroethane chlorination process. The role of this process in the production of vinyl chloride and polyvinyl chloride (PVC) is examined. The use of virtual analyzers (VAs) based on virtual measurement algorithms is proposed as an alternative approach to assessing difficult-to-measure parameters. The block diagram of a virtual analyzer is presented, along with its implementation in the Simulink MATLAB environment, enabling highly accurate calculation of dichloroethane selectivity and conversion parameters. Integration of the virtual analyzer with the chlorination process control system is shown to optimize reaction conditions, improving production quality and safety.

Ключевые слова: нейронная сеть, виртуальный анализатор, хлорирование, дихлорэтан, рецикловый дихлорэтан.

Keywords: neural network, virtual analyzer, chlorination, dichloroethane, recycled dichloroethane.

Хлорирование рециклового дихлорэтана играет ключевую роль в химической промышленности, особенно в производстве полимеров и пластиков. Дихлорэтан, также известный как этилендихлорид, часто используется как промежуточное вещество для синтеза винилхлорида, который в свою очередь является основным компонентом для производства поливинилхлорида (ПВХ). Процесс хлорирования рециклового дихлорэтана позволяет получать ценные хлорированные углеводороды, такие как трихлорэтилен и перхлорэтилен, которые используются в качестве растворителей в промышленной очистке и сухой чистке. Таким образом, эффективность этого процесса напрямую влияет на качество и доступность широкого спектра промышленных товаров.

В качестве альтернативного подхода для оценки значений трудноизмеримых параметров технологического процесса предлагается использовать алгоритмы виртуального измерения, на базе которых реализуются так называемые виртуальные анализаторы (ВА).

На рисунке 1 приведена структурная схема виртуального анализатора. Данная схема иллюстрирует ключевые компоненты системы и их взаимодействие для обеспечения точного расчета селективности и конверсии дихлорэтана.

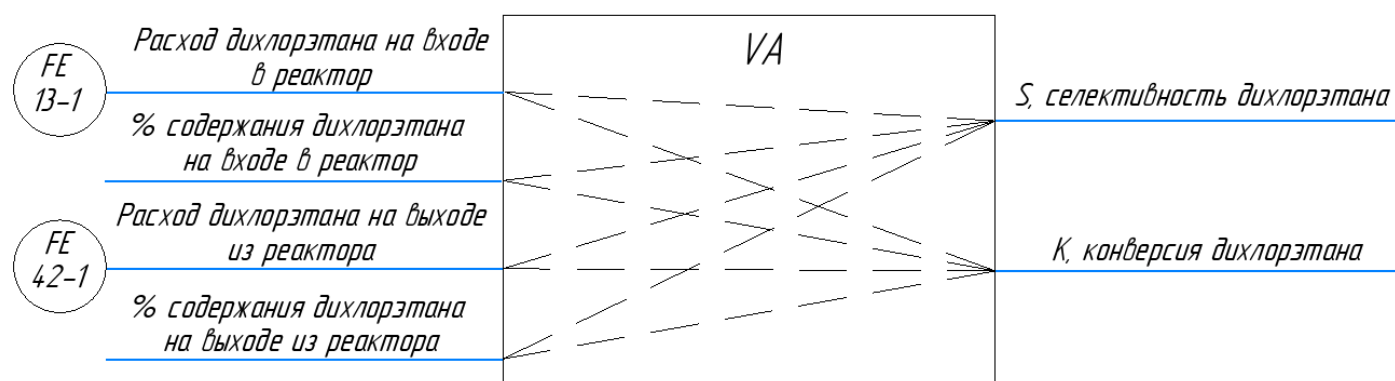


Рис. 1. Структурная схема виртуального анализатора

Рисунок 2 представляет собой визуализацию виртуального анализатора, выполненную в среде Simulink MATLAB.

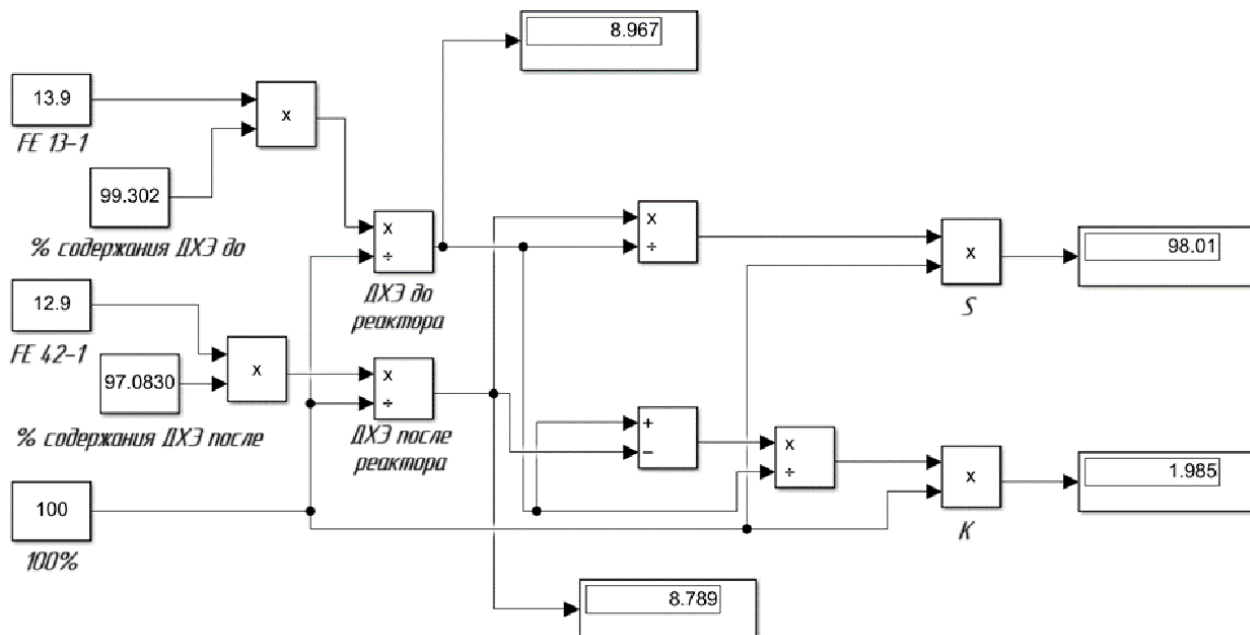


Рис. 2. Виртуальный анализатор, разработанный в среде MatLab

Этот анализатор был разработан для вычисления параметров селективности и конверсии дихлорэтана, обеспечивая высокую точность и надежность получаемых данных. Интеграция виртуального анализатора с системой управления процессом хлорирования позволяет оптимизировать условия реакции, тем самым повышая качество и безопасность производственного процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Муравьева, Е. А. Разработка автоматизированной системы для определения углеродного следа предприятий / Е. А. Муравьева, Е. С. Кулакова // Экологические системы и приборы. – 2023. – № 9. – С. 46-54. – DOI 10.25791/esip.9.2023.1398. – EDN ZWLLXB.
2. Муравьева, Е. А. Разработка системы диагностики личного углеродного следа с автоматическим расчетом и сбором данных / Е. А. Муравьева, Е. С. Кулакова // Экологические системы и приборы. – 2023. – № 8. – С. 12-24. – DOI 10.25791/esip.8.2023.1389. – EDN WJFPQO.
3. Kulakova, E. Technical Solution for Monitoring Climatically Active Gases Using the Turbulent Pulsation Method / E. Kulakova, E. Muravyova // Sensors. – 2023. – Vol. 23, No. 20. – P. 8645. – DOI 10.3390/s23208645. – EDN SUGOAM.
4. Пат. RU№2021244C1 Способ получения 1,2- дихлорэтана и установка для получения 1,2-дихлорэтана/ Кадыров М.У.; Косачев И.П.; Романов Г.В.; Риянов А.М.; Галимов Р.А. (RU)-№ 95107260/04, заявл 04.05.1995, опубл: 10.01.1998.
5. Пат. RU№2384556C2 способ получения дихлорэтана/ Аветьян М.Г. Сони́на Л.Л. Кришта́ль Н.Ф. Зайдман О.А. Емельянов В.И. Мубараков Р.Г. Перевалов А.Ф. Попов В.Е. Рожков В.И. Трегер Ю.А. Харитонов В.И. Николаев Е.С. Флид М.Р. -№ 5035685/04, заявл 1991.12.16, опубл: 1996.01.10.

6. Пат. RU№2186759C2 способ получения 1,2-дихлорэтана/ Шишкин З.А. Самсонов В.В. Мубараков Р.Г. Кузнецов А.М. Харитонов В.И. Медведев Ю.И. Пуляевский Н.Л.-№ 2000123451/04, заявил 2000.09.11, опубл: 2002.08.10.

УДК: 004.9

Кутлугалямова О.В.

Институт химических технологий и инжиниринга УГНТУ в г. Стерлитамаке

Науч. рук. канд. тех. наук *Кулакова Е.С.*

Институт химических технологий и инжиниринга УГНТУ в г. Стерлитамаке

Kutlugalyamova O.V.

Institute of Chemical Technology and Engineering, Ufa State Petroleum Technical University, Sterlitamak

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ

INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS IN ELECTRIC SUPPLY

Аннотация: Статья посвящена интеллектуальным системам управления электроснабжением и концепции Smart Grid. Рассмотрены цифровые распределительные сети, интеллектуальные счетчики и цифровые подстанции. Проанализирована реализация Smart Grid в России, включая законодательные изменения и практические результаты к 2025 году. Описаны механизмы управления спросом (Demand Response): ценозависимое снижение потребления и агрегированное управление. Показан экономический эффект от участия потребителей в управлении спросом (снижение цен в пиковые часы). Приведены данные об экономии потребителей (около 1 млрд рублей). Обозначены перспективы совершенствования механизмов DR с использованием холонических структур.

Abstract: The article is devoted to intelligent power supply management systems and the Smart Grid concept. Digital distribution networks, smart meters and digital substations are considered. The implementation of Smart Grid in Russia is analyzed, including legislative changes and practical results by 2025. Demand Response mechanisms are described: price-dependent reduction of consumption and aggregated management. The economic effect of consumer participation in demand management (price reduction during peak hours) is shown. The data on consumer savings (about 1 billion rubles) are presented. The prospects for improving DR mechanisms using holonic structures are outlined.

Ключевые слова: интеллектуальные системы управления, интеллектуальные счетчики, агрегатор.

Keywords: intelligent control systems, intelligent meters, aggregator.

Современный мир движется в сторону автоматизации, стабильности и эффективности. Сегодня традиционные подходы к проектированию и эксплуатации электроснабжения заменяются интеллектуальными системами управления (ИСУ).

Под *интеллектуальными системами управления* подразумеваются программно-аппаратные комплексы, которые помогают автоматизировать и оптимизировать процессы проектирования, мониторинга и эксплуатации систем электроснабжения. Эти системы объединяют в себе достижения в области искусственного интеллекта (ИИ), анализа данных и автоматизации. Главная цель — обеспечить более точное управление энергией, минимизировать риски аварийных ситуаций и снижать эксплуатационные расходы.

Smart Grid («умные» сети) — *это концепция*, использующая информацию и технологии связи вместе с электрическими сетями, модернизированная электроэнергетическая сеть, в которой применяются цифровые технологии и системы связи для сбора и анализа данных об энергоснабжении и потреблении.

При распределении цифровые распределительные сети с автоматическими устройствами управления (разъединителями, реклоузерами) и датчиками по линиям 6–10–35 кВ позволяют в реальном времени отслеживать состояние сети, быстро локализовать повреждения и самовосстанавливаться за счет автоматического переключения схем питания при авариях.

Установка на уровне потребления интеллектуальных счетчиков у конечных потребителей, которые автоматически передают показания, позволяют внедрять многотарифный учет, дистанционное подключение/отключение, выявление хищений электроэнергии и т.д. Потребители также могут получать информацию о своем энергопотреблении в реальном времени и участвовать в управлении спросом, экономя средства за счет перераспределения нагрузки.

Интеллектуальная сеть отправляет электроэнергию от поставщиков к потребителям, используя двунаправленную цифровую технологию для управления потребностями потребителей. Это помогает сэкономить электроэнергию, снизить затраты, повысить удобство использования и прозрачность.

В российской электроэнергетике концепция Smart Grid реализуется через ряд направлений технологической модернизации.

Цифровая подстанция – это подстанция, отличительными чертами которой являются применение современных микропроцессорных устройств РЗА и АСУ ТП с поддержкой стандарта IEC 61850; использование электронных измерительных приборов вместо традиционных электромеханических; минимизация аналоговых соединений; удаленное управление.

Интеллектуальные счетчики – один из самых заметных для потребителей элементов Smart Grid. Они заменяют традиционные электросчетчики и обладают встроенным модулем связи и вычислителем. В России переход на «умные» счетчики закреплён законодательно: с января 2022 года энергетические компании обязаны устанавливать только счетчики нового поколения. Такие приборы автоматизированно передают показания в энергосбытовые и сетевые организации, а также способны фиксировать аномальные ситуации (скачки напряжения, попытки несанкционированного вмешательства) и даже удаленно ограничивать потребление у неплательщиков. Подключение нового счетчика сопровождается интеграцией его в интеллектуальную систему учета (ИСУ), о чем потребителю поступает уведомление.

Технология Smart Grid в 2025 году из разряда концепций перешла в плоскость практической реализации в России. Уже доказана ее эффективность на ряде проектов – от снижения потерь и предотвращения блэкаутов до оптимизации работы персонала.

Системы управления спросом на электроэнергию, известные как *Demand Response* (DR), представляют собой комплекс мер, направленных на изменение профиля потребления электроэнергии конечными потребителями в ответ на сигналы от энергосистемы.

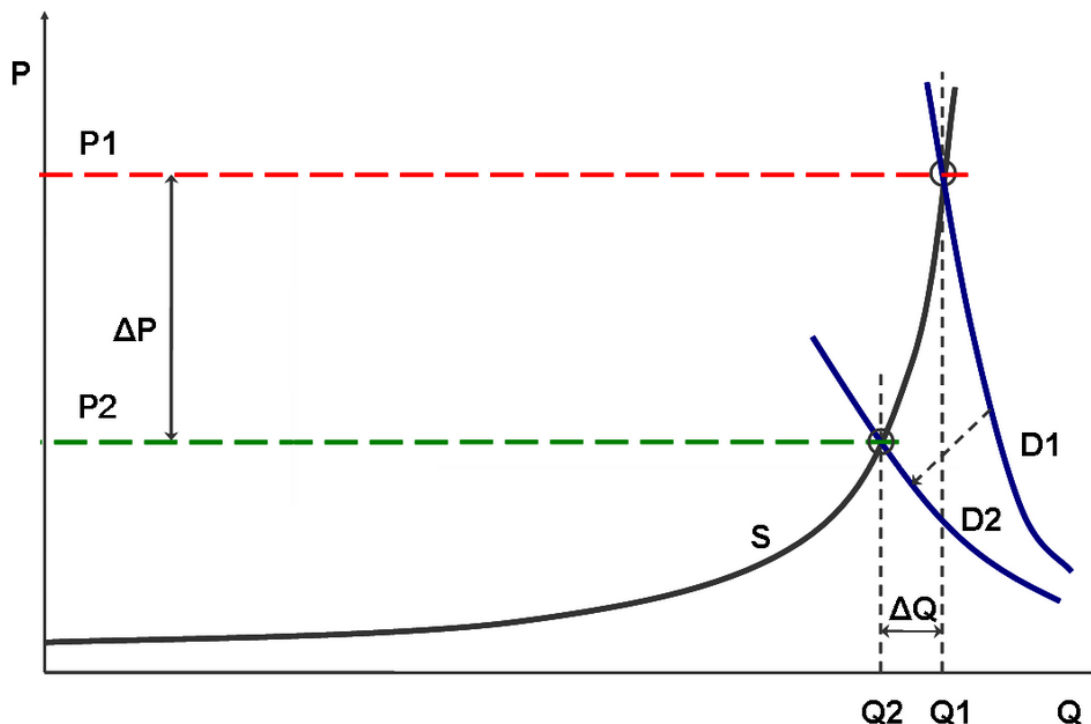


Рис. 1. Изменение потребления электроэнергии конечными потребителями относительно их нормального профиля нагрузки в ответ на изменение цен на электроэнергию во времени.

Объяснение эффекта от участия потребителей в управлении спросом (рисунок 1) состоит в следующем. Плавный рост кривой предложения S сменяется резким ростом в замыкающей части, что соответствует использованию наиболее дорогих генераторов. Снижение потребления в пиковые часы с величины Q_1 до величины Q_2 приводит к превращению кривой спроса D_1 в кривую D_2 и снижению цены на электроэнергию на величину ΔP .

В настоящее время в ЕЭС России реализуется два механизма экономического управления спросом — ценозависимое снижение потребления на оптовом рынке (ЦЗСП) и пилотный проект агрегированного управления спросом на электроэнергию потребителей розничного рынка.

Агрегатор в реализации технологии ЦЗСП (ценозависимого снижения потребления) на розничном рынке — это организация, которая координирует способность группы конечных потребителей управлять своей нагрузкой и конвертирует её в товары и услуги на рынках электроэнергии, мощности и системных услуг.

По данным на октябрь 2025 года, механизм управления спросом демонстрирует ощутимые результаты. С момента запуска целевой модели (3-й квартал 2024 года) совокупная экономия потребителей от снижения цен на РСВ составила около 1 млрд рублей.

Механизм DR постоянно совершенствуется. Исследователи предлагают различные пути оптимизации, например, для более эффективного учета ресурса управления спросом при конкурентном отборе на сутки вперед. Также изучаются возможности применения новых подходов, таких как холонические структуры управления, которые позволят сделать работу агрегаторов более гибкой и отказоустойчивой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балашова Е.С., Майорова К.С. Цифровая трансформация сектора энергетики. Международный опыт. Российская перспектива // Санкт-Петербургский государственный морской технический университет – 2021. – 3 (255), – С. 66-75
2. Армашова-Тельник Г.С., Соколова П.Н. Концепция повышения надежности и развития энергетической отрасли России //Актуальные проблемы экономики и управления. – 2020. – №. 1. – С. 72-77
3. Концепция долгосрочного социально- экономического развития Российской Федерации. МЭРТ России, // www.economy.gov.ru.
4. Технология Smart Grid: суть и внедрение в России в 2025 году. <https://marketelectro.ru/>
5. Курбатов, Э. В. Разработка автоматизированной системы управления узлом компримирования незаполимеризовавшегося винилхлорида / Э. В. Курбатов, Е. А. Муравьева // Актуальные проблемы и направления развития технологий органического и неорганического синтеза : Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции, Стерлитамак, 14–15 мая 2024 года. – Уфа: ООО «Информреклама», 2024. – С. 127-128. – EDN UKOYEA.
6. Муравьева, Е. А. Разработка нейронной сети для управления процессом пиролиза дихлорэтана с целью повышения эффективности процесса / Е. А. Муравьева, А. И. Николаева // Системная инженерия и информационные технологии. – 2024. – Т. 6, № 4(19). – С. 69-76. – DOI 10.54708/2658-5014-SИТ-2024-no4-p69. – EDN BJQURV.
7. Муравьева, Е. А. Разработка НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЩЕЛОЧНОЙ ОТМЫВКИ ИЗОПЕНТАН- ИЗОПРЕН-ТОЛУОЛЬНОЙ ФРАКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА / Е. А. Муравьева, Р. В. Казанцев, Д. В. Подлесский // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2022. – № 2. – С. 120-137. – DOI 10.15593/2224-9400/2022.2.09. – EDN VBWNEW.

Лабеев М.Н.

Институт химических технологий и инжиниринга УГНТУ в г. Стерлитамаке

Науч. рук. канд. тех. наук *Кулакова Е.С.*

Институт химических технологий и инжиниринга УГНТУ в г. Стерлитамаке

Labeev M.N.

Institute of Chemical Technology and Engineering, Ufa State Petroleum Technical University, Sterlitamak

РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ БПЛА В УСЛОВИЯХ ОТСУТСТВИЯ СИГНАЛА GPS

DEVELOPMENT OF AN AUTONOMOUS UAV POSITIONING SYSTEM IN GPS-DENIED ENVIRONMENTS

Аннотация: работа посвящена разработке автономной системы навигации беспилотных летательных аппаратов в условиях отсутствия или нестабильности спутниковых сигналов. Рассматривается комплексный подход, основанный на интеграции данных инерциальных датчиков, камер, лидаров и других сенсоров с применением алгоритмов SLAM и визуально-инерциальной одометрии. Особое внимание уделяется использованию нейросетевых моделей для повышения точности локализации, распознавания ориентиров и компенсации накопленных ошибок. Предложенная гибридная архитектура сочетает классические методы фильтрации и машинное обучение, обеспечивая устойчивую и точную навигацию в сложных средах.

Научная новизна работы заключается в разработке метода адаптивного слияния разнородных сенсорных данных с учётом текущих условий окружающей среды и уровня неопределённости измерений, а также в интеграции нейросетевой модели в контур навигационной фильтрации для динамической коррекции дрейфа и повышения устойчивости локализации в длительных автономных миссиях.

Практическая значимость решения заключается в расширении возможностей применения БПЛА при выполнении задач в условиях ограниченной доступности спутниковой навигации.

Abstract: This work is devoted to the development of an autonomous navigation system for unmanned aerial vehicles operating in conditions of absent or unstable satellite signals. A comprehensive approach is considered, based on the integration of data from inertial sensors, cameras, LiDARs, and other sensors using SLAM algorithms and visual-inertial odometry. Particular attention is given to the use of neural network models to improve localization accuracy, recognize landmarks, and compensate for accumulated errors. The proposed hybrid architecture combines classical filtering methods with machine learning, ensuring robust and accurate navigation in complex environments.

The scientific novelty of the work lies in the development of a method for adaptive fusion of heterogeneous sensor data, taking into account current environmental conditions and measurement uncertainty, as well as in the integration of a neural network model into the navigation filtering loop

for dynamic drift correction and improved localization stability during long-term autonomous missions.

The practical significance of the solution lies in expanding the capabilities of UAV applications when performing tasks under limited availability of satellite navigation.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, автономная навигация, позиционирование без GPS, SLAM, визуально-инерциальная одометрия, слияние сенсорных данных, нейронные сети, машинное обучение, локализация, инерциальные измерительные модули

Keywords: unmanned aerial vehicles (UAV), autonomous navigation, GPS-denied positioning, SLAM, visual-inertial odometry, sensor fusion, neural networks, machine learning, localization, inertial measurement units (IMU)

Использование беспилотных летательных аппаратов требует стабильной навигации в самых разных условиях. Спутниковая навигация часто оказывается недоступна – в плотной городской застройке, в лесах, при высоком радиоэлектронном излучении, внутри зданий или при целенаправленном подавлении сигнала. В таких ситуациях требуется система, способная поддерживать точное позиционирование за счёт локальных источников информации и интеллектуальной обработки данных.

Автономная система опирается на сочетание аппаратных решений: инерциальные измерительные модули (ИМУ) для оценки ускорений и угловых скоростей, камеры для визуальной одометрики, лидары и датчики для измерения расстояний до объектов окружения, а также вспомогательные радиометки или ультразвук там, где это возможно. Каждому типу датчиков присущи свои преимущества и ограничения – высокая частота отклика у ИМУ, точность пространственного сканирования у лидаров, способность распознавать визуальные ориентиры у камер. Системная архитектура должна обеспечивать адекватное слияние потоков данных и управлять их приоритетом в зависимости от условий полёта.

Ключевая программная составляющая – это алгоритмы одновременного построения карты местности и локализации в пространстве и методы визуально-инерциальной одометрии. Они позволяют одновременно строить карту местности и определять положение аппарата в ней. Для объединения показаний разных сенсоров применяются фильтры Калмана и их нелинейные аналоги, а также вероятностные байесовские подходы при учёте неопределённостей.

Машинное обучение применяется для распознавания ориентиров и коррекции накопившегося дрейфа в длительных миссиях.

Нейросетевая часть системы реализуется в виде специализированной модели глубокого обучения, интегрированной в общий навигационный контур. Основная задача нейросети – анализ визуальных и сенсорных данных для выделения устойчивых ориентиров среды, оценки относительного перемещения аппарата и обнаружения потенциальных ошибок в оценке положения. В качестве архитектуры может использоваться сверточная нейронная сеть (CNN) для обработки изображений с камер, дополненная рекуррентными или трансформерными слоями, способными учитывать временную последовательность кадров и динамику движения.

Обучение нейросети производится на предварительно собранных наборах данных, включающих синхронизированные записи с камер, ИМУ и лидаров, а также эталонные траектории движения, полученные в контролируемых условиях. В процессе обучения модель учится выявлять характерные особенности окружения, оценивать смещение между последовательными кадрами и корректировать ошибки инерциальной навигации. После этапа офлайн-обучения модель оптимизируется для работы на бортовом вычислительном модуле с ограниченными ресурсами.

Во время полёта нейросеть функционирует как дополнительный источник оценок, который интегрируется с классическими алгоритмами фильтрации. Результаты её работы поступают в систему слияния данных, где объединяются с измерениями ИМУ, лидаров и других датчиков. Такой гибридный подход позволяет использовать сильные стороны как классических вероятностных методов, так и нейросетевых моделей: алгоритмы фильтрации обеспечивают устойчивость и физическую интерпретируемость, а нейросеть повышает точность распознавания ориентиров и снижает накопление ошибки при длительной автономной навигации.

Практическая ценность таких решений проявляется в стабильности выполнения задач в сложной среде. Дроны сохраняют работоспособность при

обследовании подземных сооружений, внутренних пространств зданий, узких долин и густых насаждений. Автономная навигация снижает зависимость от постоянного вмешательства оператора: аппарат сам корректирует маршрут, оценивает качество собственных оценок положения и принимает решения о смене режима миссии – снижении скорости, возврате к опорной точке или переключении на аварийную посадку при достижении критического уровня неопределённости.

Внедрение автономных систем позиционирования расширяет область применения БПЛА: инспекция инфраструктуры в сложных условиях, операции поиска и спасения в труднодоступных местах, доставка грузов в плотной городской застройке, обследование промышленных помещений. Успешная реализация повышает надёжность и автономность БПЛА, снижает операционные риски и расширяет спектр операций, которые аппарат способен выполнять при отсутствии спутниковой навигации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Е. С. Кулакова, А. М. Сафаров, Издательство УГНТУ – 2023. – 296 с. // Основы метрологического обеспечения
2. Николаев, Е. В. Введение в компьютерное зрение: алгоритмы и приложения. – Екатеринбург: Издательство УрФУ, 2019. — 350 с.
3. Гровс П. Д. Принципы интеграции навигационных систем: спутниковые, инерциальные и сенсорные системы. – М.: Техносфера, 2017. – 528 с.
4. Курбатов, Э. В. Разработка автоматизированной системы управления узлом компримирования незаполимеризовавшегося винилхлорида / Э. В. Курбатов, Е. А. Муравьева // Актуальные проблемы и направления развития технологий органического и неорганического синтеза : Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции, Стерлитамак, 14–15 мая 2024 года. – Уфа: ООО «Информреклама», 2024. – С. 127-128. – EDN UKOYEA.
5. Муравьева, Е. А. Разработка нейронной сети для управления процессом пиролиза дихлорэтана с целью повышения эффективности процесса / Е. А. Муравьева, А. И. Николаева // Системная инженерия и информационные технологии. – 2024. – Т. 6, № 4(19). – С. 69-76. – DOI 10.54708/2658-5014-SIIT-2024-no4-p69. – EDN BJQURV.
6. Муравьева, Е. А. Разработка НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЩЕЛОЧНОЙ ОТМЫВКИ ИЗОПЕНТАН- ИЗОПРЕН-ТОЛУОЛЬНОЙ ФРАКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА / Е. А. Муравьева, Р. В. Казанцев, Д. В. Подлесский // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2022. – № 2. – С. 120-137. – DOI 10.15593/2224-9400/2022.2.09. – EDN VBWNEW.
7. Патент № 2782565 С1 Российская Федерация, МПК G01N 1/10. Система усредненного отбора пробы воды из контрольного створа для автоматизированного контроля качества

поверхностных водотоков: № 2021135386: заявл. 01.12.2021: опубл. 31.10.2022 / А. М. Сафаров, Е. С. Кулакова; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет". – EDN QSDZTI.

Мамлеев М.Д.

ИХТИ УГНТУ в г. Стерлитамаке

Заведующая кафедрой АТИС *Муравьева Е.А.*

ИХТИ УГНТУ в г. Стерлитамаке

Mamleev M.D.

Ihti UGNTU in Sterlitamak

СОЗДАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ СОДОВОЙ ПЕЧИ

CREATING AN INTELLIGENT CONTROL SYSTEM USING A SODIUM CARBONATE OVEN AS AN EXAMPLE.

Анотация: В работе рассматривается содовая печь как ключевой технологический агрегат производства кальцинированной соды, в котором осуществляется термическая обработка сырья с целью удаления влаги и формирования требуемых свойств продукта. Описаны основные этапы технологического процесса, включая подачу материала, его перемещение по зонам с различными температурными режимами и равномерный нагрев.

Особое внимание уделено значению поддержания стабильных технологических параметров (температуры, давления, расхода топлива и воздуха), от которых зависит эффективность работы оборудования и качество продукции. Рассмотрены вопросы автоматизации управления процессом с использованием современных систем, включая SCADA-платформу TRACE Mode 7, обеспечивающих мониторинг и регулирование в реальном времени.

Abstract: The paper discusses the soda furnace as a key technological unit in the production of soda ash, where the raw material is thermally processed to remove moisture and achieve the desired product properties. The main stages of the technological process are described, including the feeding of the material, its movement through zones with different temperature regimes, and uniform heating. Special attention is given to the importance of maintaining stable technological parameters (temperature, pressure, fuel consumption, and air flow), which directly affect the efficiency of the equipment and the quality of the product. The article discusses the automation of process control using modern systems, including the TRACE Mode 7 SCADA platform, which provides real-time monitoring and control.

Ключевые слова: нейронные сети, автоматизация, управление.

Keywords: neural networks, automation, and control.

Содовая печь является одним из основных технологических агрегатов в производстве кальцинированной соды. В данном оборудовании осуществляется термическая обработка исходного сырья, в ходе которой происходит удаление влаги и формирование требуемых физико-химических свойств конечного

продукта. Эффективность функционирования содовой печи оказывает существенное влияние на производительность предприятия, а именно качество получаемой продукции.

Технологический процесс работы содовой печи начинается с подачи исходного сырья в рабочее пространство агрегата. Процесс сушки осуществляется за счёт тепловой энергии горячих газов, циркулирующих внутри печи. По мере продвижения материала через печь он постепенно перемещается в зоны с более высокой температурой, где происходит его дальнейшая термическая обработка.

В процессе перемещения по рабочим зонам печи материал подвергается равномерному нагреву до требуемых температур. Поддержание стабильного температурного режима является одним из важнейших условий эффективного протекания технологического процесса. Нарушение температурного режима может привести к снижению качества продукции, снижению эффективности работы оборудования.

Содовая печь относится к категории сложных технологических объектов, функционирование которых определяется большим количеством взаимосвязанных параметров. К основным из них относятся температура в различных зонах печи, давление, расход топлива и воздуха, параметры газовой среды, а также режим подачи и перемещения материала. Поддержание оптимальных значений данных параметров является необходимым условием обеспечения устойчивого и безопасного функционирования технологического процесса.

В современных условиях особое значение приобретает совершенствование систем автоматического управления технологическими процессами. Применение современных средств автоматизации позволяет обеспечить непрерывный контроль параметров работы оборудования, повысить точность регулирования и снизить влияние человеческого фактора на процесс управления.

Для решения данных задач используются системы автоматизированного управления, объединяющие данные, поступающие от датчиков, измерительных

приборов и программируемых логических контроллеров. Обработка и визуализация информации осуществляется с использованием SCADA систем, одной из которых является платформа TRACE Mode 7. Применение подобных систем позволяет оператору контролировать состояние технологического процесса в режиме реального времени, оперативно реагировать на возникающие отклонения и поддерживать заданные режимы работы оборудования.

Внедрение современных интеллектуальных алгоритмов регулирования способствует повышению эффективности функционирования технологического оборудования. Использование таких решений позволяет оптимизировать работу содовой печи, снизить энергетические затраты, повысить стабильность технологического процесса и обеспечить получение продукции требуемого качества.

Кроме того, внедрение интеллектуальной системы управления на основе нейросетевых алгоритмов позволяет осуществлять анализ значительных объёмов технологической информации, поступающей от различных источников. Это создаёт возможность своевременного выявления отклонений в работе оборудования, что способствует повышению надёжности функционирования технологической системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. SCADA Trace Mode 7 [Электронный ресурс]. – <https://tracemode.ru>.
2. Иванов И. И., Петров С. В. Интеллектуальные системы управления производственными процессами // *Автоматизация и управление*. – 2022. – № 3. – С. 15–25.
3. Кузнецова Е. В., Лебедев И. И. Современные методы оптимизации технологических процессов // *Химическая промышленность*. – 2021. – № 3. – С. 12–20.
4. Курбатов, Э. В. Разработка автоматизированной системы управления узлом компримирования незаполимеризовавшегося винилхлорида / Э. В. Курбатов, Е. А. Муравьева // Актуальные проблемы и направления развития технологий органического и неорганического синтеза: Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции, Стерлитамак, 14–15 мая 2024 года. – Уфа: ООО «Информреклама», 2024. – С. 127-128. – EDN UKOYEA.
5. Муравьева, Е. А. Разработка нейронной сети для управления процессом пиролиза дихлорэтана с целью повышения эффективности процесса / Е. А. Муравьева, А. И. Николаева // Системная инженерия и информационные технологии. – 2024. – Т. 6, № 4(19). – С. 69-76. – DOI 10.54708/2658-5014-SIPT-2024-no4-p69. – EDN BJQURV.
6. Муравьева, Е. А. Разработка НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЩЕЛОЧНОЙ ОТМЫВКИ ИЗОПЕНТАН- ИЗОПРЕН-ТОЛУОЛЬНОЙ ФРАКЦИИ С

- ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА / Е. А. Муравьева, Р. В. Казанцев, Д. В. Подлесский // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2022. – № 2. – С. 120-137. – DOI 10.15593/2224-9400/2022.2.09. – EDN VBWNEW.
7. Муравьева, Е. А. Разработка автоматизированной системы для определения углеродного следа предприятий / Е. А. Муравьева, Е. С. Кулакова // Экологические системы и приборы. – 2023. – № 9. – С. 46-54. – DOI 10.25791/esip.9.2023.1398. – EDN ZWLLXB.
8. Норенков И.П. Автоматизированное проектирование: Учебник / И.П. Норенков. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана
9. Романенко В. А. Интеллектуальные системы управления в промышленности: монография. – Москва: Наука, 2018. – 256 с.
10. Смирнов А. В., Ковалев Д. П. Моделирование технологических процессов с использованием искусственного интеллекта // *Технологии и автоматизация*. – 2021. – Т. 12, № 2. – С. 78–89.

Никитин А.А.

Институт химических технологий и инжиниринга УГНТУ в г. Стерлитамаке

Науч. рук. канд. техн. наук *Кулакова Е.С.*

Институт химических технологий и инжиниринга УГНТУ в г. Стерлитамаке

Nikitin A.A.

Institute of Chemical Technology and Engineering, Ufa State Petroleum Technical University, Sterlitamak

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АВТОПИЛОТИРОВАНИЯ БПЛА ПРИ ОБЛЕТЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ (НЕФТЕПРОВОДОВ)

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT AUTOPILOT SYSTEM FOR UAVS DURING FLIGHTS OVER MAIN PIPELINES (OIL PIPELINES)

Аннотация: В работе рассматривается задача повышения эффективности мониторинга магистральных нефтепроводов за счёт применения беспилотных летательных аппаратов с интеллектуальными системами управления. Отмечается, что традиционные методы контроля обладают рядом существенных недостатков, включая высокую стоимость, низкую оперативность и ограниченную точность, что особенно критично при большой протяжённости трубопроводных систем.

Предлагается подход, основанный на использовании БПЛА, оснащённых нейросетевым алгоритмом анализа изображений. В качестве ключевого инструмента применяется сверточная нейронная сеть, способная выявлять визуальные признаки утечек и других аномалий по данным с бортовой камеры. Алгоритм интегрируется в систему автопилотирования, что позволяет не только выполнять полёт по заданному маршруту, но и адаптировать траекторию в реальном времени при обнаружении подозрительных участков.

Научная новизна работы заключается в разработке специализированного алгоритма автопилота для облёта протяжённых линейных объектов и в интеграции методов компьютерного зрения в контур управления БПЛА. Практическая значимость связана с возможностью снижения затрат на обслуживание трубопроводов, ускорения выявления аварийных ситуаций и уменьшения экологических рисков.

Предложенное решение может быть применено не только в нефтегазовой отрасли, но и для мониторинга других объектов протяжённой инфраструктуры.

Abstract: This paper examines the problem of increasing the efficiency of monitoring trunk oil pipelines through the use of unmanned aerial vehicles with intelligent control systems. It is noted that traditional monitoring methods have a number of significant drawbacks, including high cost, low operational efficiency, and limited accuracy, which is particularly critical for long pipeline systems. We propose an approach based on the use of UAVs equipped with a neural network image analysis algorithm. The key tool used is a convolutional neural network capable of detecting visual signs of leaks and other anomalies based on onboard camera data. The algorithm is integrated into the

autopilot system, enabling not only flight along a predetermined route but also trajectory adaptation in real time upon detection of suspicious areas.

The scientific novelty of this paper lies in the development of a specialized autopilot algorithm for flying over long linear objects and the integration of computer vision methods into the UAV control system. The practical significance lies in the potential to reduce pipeline maintenance costs, accelerate the detection of emergency situations, and mitigate environmental risks.

The proposed solution can be applied not only in the oil and gas industry but also for monitoring other long-distance infrastructure facilities.

Ключевые слова: магистральные нефтепроводы, мониторинг трубопроводов, беспилотные летательные аппараты, БПЛА, автопилотирование, нейронные сети, сверточные нейронные сети, компьютерное зрение, анализ изображений, обнаружение утечек.

Keywords: main oil pipelines, pipeline monitoring, unmanned aerial vehicles, UAVs, autopilot, neural networks, convolutional neural networks, computer vision, image analysis, leak detection.

Магистральные нефтепроводы, являются важнейшими элементами топливно-энергетического комплекса и обеспечивают транспортировку углеводородов на значительные расстояния. Состояние трубопроводов напрямую влияет не только на экономическую эффективность отрасли, но и на уровень промышленной и экологической безопасности. Даже незначительные утечки могут привести к существенным финансовым потерям, загрязнению окружающей среды и аварийным ситуациям. В связи с этим актуальной задачей является разработка современных методов мониторинга и диагностики состояния трубопроводной инфраструктуры.

Традиционные подходы к контролю состояния трубопроводов, такие как наземные обходы, применение стационарных датчиков или использование пилотируемой авиации, обладают существенными недостатками. К ним относятся высокая стоимость эксплуатации, ограниченная оперативность получения информации и низкая пространственная детализация. В условиях протяжённости нефтепроводов (сотни и тысячи километров) обеспечение своевременного и точного контроля требует внедрения новых технологических решений.

Одним из перспективных направлений является использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), оснащённых интеллектуальными системами автопилотирования и анализа данных. Такие системы позволяют автоматизировать процесс облета трубопровода, минимизировать влияние человеческого фактора и оперативно выявлять потенциальные утечки. При этом

дрон может лететь вдоль трассы нефтепровода, фиксировать состояние поверхности земли и растительности, а также проводить поиск признаков разгерметизации труб.

В рамках данной работы предполагается использование нейросетевого алгоритма анализа изображений, который будет интегрирован в систему управления БПЛА. Основой решения является сверточная нейронная сеть (CNN), предназначенная для обработки визуальных данных, получаемых с бортовой камеры дрона. Нейросеть обучается на заранее подготовленном наборе изображений, содержащем как нормальные участки трубопроводной трассы, так и примеры различных аномалий — пятна нефти на поверхности почвы или воды, изменения цвета растительности, следы утечек и другие характерные признаки повреждений. В процессе обучения модель выявляет устойчивые визуальные признаки таких аномалий и формирует внутренние представления, позволяющие автоматически классифицировать наблюдаемые участки местности.

Обработка данных происходит следующим образом: изображения, полученные с камеры БПЛА, передаются в модуль предварительной обработки, где выполняется нормализация, масштабирование и фильтрация шума. После этого данные поступают в нейронную сеть, которая выполняет анализ и определяет вероятность наличия аномалии на текущем участке. При обнаружении подозрительных признаков система формирует сигнал для автопилота, который может скорректировать траекторию полета, снизить скорость или выполнить дополнительный облёт участка для более детального анализа.

Научная новизна исследования заключается в разработке специализированного алгоритма автопилотирования, ориентированного именно на задачу облета протяжённых линейных объектов, а также в интеграции методов анализа изображений в контур управления БПЛА. Такой подход позволяет не только выполнять полёт по заданному маршруту, но и в реальном времени реагировать на обнаруженные аномалии, повышая эффективность мониторинга.

Практическая значимость работы обусловлена возможностью внедрения разработанной системы в нефтегазовую отрасль. Использование интеллектуальных беспилотных комплексов позволит существенно снизить затраты на обслуживание трубопроводов, ускорить процесс обнаружения аварийных ситуаций и минимизировать риски экологического ущерба. Кроме того, подобные технологии могут быть адаптированы для мониторинга газопроводов, линий электропередач и других протяжённых объектов инфраструктуры.

Таким образом, разработка интеллектуальной системы автопилотирования БПЛА для облёта магистральных трубопроводов является актуальной научно-практической задачей. Предлагаемый подход сочетает в себе методы робототехники, искусственного интеллекта и обработки изображений, обеспечивая комплексное решение проблемы мониторинга протяжённых объектов. Реализация проекта может способствовать повышению эффективности эксплуатации нефтегазовой инфраструктуры и переходу к новым стандартам промышленной безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаев, Е. В. Введение в компьютерное зрение: алгоритмы и приложения. – Екатеринбург: Издательство УрФУ, 2019. – 350 с.
2. Головкин В.А. От многослойных перцептронов к нейронным сетям глубокого доверия: парадигмы обучения и применение // XVII Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием, 2015
3. Смирнов, Д. Ю. Беспилотные летательные аппараты в экологическом мониторинге. – Новосибирск: Издательство НГУ, 2018. – 240 с.
4. Shoreline Detection using Optical Remote Sensing: A Review // Электронный ресурс. URL: https://www.researchgate.net/publication/330906021_Shoreline_Detection_using_Optical_Remote_Sensing_A_Review
5. Общие виды и характеристики беспилотных летательных аппаратов: справ, пособие / А.Г. Гребеников, А.К. Мялица, В.В. Парфенюк и др. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т "Харьк. авиац. ин-т", 2008. 377 с.
6. Semantic Image Segmentation using CNN (Convolutional Neural Network) based Technique // Electronic Электронный ресурс.: https://www.researchgate.net/publication/362936033_Semantic_Image_Segmentation_using_CNN_Convolutional_Neural_Network_based_Technique.
7. Курбатов, Э. В. Разработка автоматизированной системы управления узлом компримирования незаполимеризовавшегося винилхлорида / Э. В. Курбатов, Е. А. Муравьева // Актуальные проблемы и направления развития технологий органического и

неорганического синтеза: Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции, Стерлитамак, 14–15 мая 2024 года. – Уфа: ООО «Информреклама», 2024. – С. 127-128. – EDN UKOYEA.

8. Муравьева, Е. А. Разработка нейронной сети для управления процессом пиролиза дихлорэтана с целью повышения эффективности процесса / Е. А. Муравьева, А. И. Николаева // Системная инженерия и информационные технологии. – 2024. – Т. 6, № 4(19). – С. 69-76. – DOI 10.54708/2658-5014-SИТ-2024-но4-р69. – EDN BJQURV.

9. Муравьева, Е. А. Разработка НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЩЕЛОЧНОЙ ОТМЫВКИ ИЗОПЕНТАН- ИЗОПРЕН-ТОЛУОЛЬНОЙ ФРАКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА / Е. А. Муравьева, Р. В. Казанцев, Д. В. Подлесский // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2022. – № 2. – С. 120-137. – DOI 10.15593/2224-9400/2022.2.09. – EDN VBWNEW.

10. Патент № 2782565 С1 Российская Федерация, МПК G01N 1/10. Система усредненного отбора пробы воды из контрольного створа для автоматизированного контроля качества поверхностных водотоков: № 2021135386: заявл. 01.12.2021: опубл. 31.10.2022 / А. М. Сафаров, Е. С. Кулакова; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет". – EDN QSDZTI.

Сидорочева А.А.

Институт химических технологий и инжиниринга УГНТУ в г. Стерлитамаке

Науч. рук. доцент канд. тех. наук. *Кулакова Е.С.*

Институт химических технологий и инжиниринга УГНТУ в г. Стерлитамаке

Sidorocheva A.A.

Institute of Chemical Technology and Engineering, Ufa State Petroleum Technical University, Sterlitamak

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КРИОГЕННОЙ УСТАНОВКОЙ

INTELLIGENT CONTROL SYSTEM FOR A CRYOGENIC UNIT

Аннотация: В работе рассмотрены вопросы повышения эффективности и безопасности эксплуатации криогенных воздухоразделительных установок (ВРУ), являющихся основой для производства кислорода, азота, аргона и других промышленных газов. Обоснована актуальность совершенствования систем управления в связи с высокой потенциальной опасностью производства (взрывопожароопасность, криогенные температуры, высокие давления) и необходимостью обеспечения бесперебойного снабжения потребителей. Проанализирована технологическая схема типовой ВРУ, включающая стадии: компримирования, очистки, осушки, предварительного охлаждения, двухколонной ректификации с турбодетандерами и последующей газификации продуктов. Выявлены ключевые узлы, требующие приоритетного контроля: ректификационные колонны с конденсатором-испарителем (риск накопления взрывоопасных примесей), турбодетандеры (вибрация, состояние подшипников), пластинчато-ребристые теплообменники и криогенные насосы.

Abstract. The paper discusses the issues of improving the efficiency and safety of cryogenic air separation units (ASUs), which are the basis for the production of oxygen, nitrogen, argon, and other industrial gases. The relevance of improving control systems is justified due to the high potential danger of production (explosive and fire hazards, cryogenic temperatures, and high pressures) and the need to ensure uninterrupted supply to consumers. The technological scheme of a typical VRU, including the stages of compression, purification, drying, pre-cooling, two-column rectification with turbo-expander, and subsequent gasification of products, has been analyzed. Key components that require priority control have been identified, including rectification columns with a condenser-evaporator (risk of accumulation of explosive impurities), turbo-expander (vibration and bearing condition), plate-fin heat exchangers, and cryogenic pumps.

Ключевые слова: воздухоразделительная установка (ВРУ), криогенные технологии, интеллектуальная система управления, промышленная безопасность, предиктивная аналитика, ректификация, кислород, азот, автоматизация, мониторинг.

Keywords: air separation unit (ASU), cryogenic technologies, intelligent control system, industrial safety, predictive analytics, rectification, oxygen, nitrogen, automation, and monitoring.

Научно-технический прогресс и развитие многих важнейших отраслей промышленности связаны с возрастающим применением кислорода, азот, аргона и других газов, получаемых из атмосферного воздуха. Атмосферный воздух является сырьем для получения многих промышленных газов (кислород, азот, аргон, неон, криптон, ксенон). Для этого используются различные воздухоразделительные установки. В России и странах СНГ создана широкая сеть воздухоразделительных установок (ВРУ) различной производительности. Опыт производства и применения продуктов разделения воздуха показал их высокую потенциальную опасность, связанную с многочисленными специфическими факторами. Поэтому одновременно с развитием и совершенствованием техники низкотемпературного разделения воздуха и расширением сфер применения полученных продуктов отрабатываются научные основы и технологические приемы, обеспечивающие безопасность работ.

Аварийные ситуации могут возникнуть, при недостаточном контроле за содержаниями опасных примесей в жидком кислороде или ошибки операторов, их неспособность проводить полный мониторинг и оперативно принимать решения. Мониторинг необходимо проводить по всем примесям, указанным в технической документации на поставку ВРУ (типовые примеси), и другим взрывоопасным примесям, специфичным для промышленного района, в котором располагается установка. К штатным относятся ситуации, связанные с поломкой оборудования и отклонением технологических параметров от нормы.

Для своевременного выявления и предотвращения штатных аварийных ситуаций необходимо проводить мониторинг основных узлов ВРУ. Функции мониторинга и контроля штатных ситуаций реализованы в интеллектуальных системах управления, которая обеспечивает в плане безопасности следующее:

- контроль и регистрацию технологических параметров, отображение графиков их изменения;

- автоматическое регулирование технологических параметров;

- технологическую и аварийную сигнализацию и требуемые защитные блокировки.

Технологическая цепочка является комплексной и включает последовательные стадии: подготовка и охлаждение воды, компримирование, очистка, осушка, предварительное охлаждение, ректификационное разделение и последующее компримирование/газификация продуктов.

Эффективность достигается за счет рекуперации холода в многочисленных теплообменных аппаратах (основные теплообменники, переохладители).

Разделение осуществляется в двухколонном аппарате (нижняя и верхняя колонны) с конденсатором-испарителем. В нижней колонне происходит предварительное разделение на кубовую жидкость (обогащенную кислородом), «грязную» азотную флегму и чистый жидкий азот. Окончательное разделение на товарный кислород и азот происходит в верхней колонне.

Криогенные температуры создаются за счет изоэнтропического расширения воздуха в турбодетандерах (ТДКА). Энергия расширения рекуперируется для привода компрессорной ступени самого ТДКА, что повышает энергоэффективность. Установка использует два ТДКА (рабочий, резервный) для надежности.

Установка позволяет производить продукцию, как в газообразном, так и в жидком виде. Для получения жидких продуктов часть воздуха подвергается дополнительному сжатию в дожимном компрессоре до 2.8 МПа. Продукционный жидкий кислород откачивается криогенными насосами высокого давления.

Применение пластинчато-ребристых теплообменников (основных, переохладителей), отличающихся высокой эффективностью теплообмена и компактностью. Использование перлитовой изоляции для минимизации теплопритоков извне. Осушенный воздух используется для работы пневмоарматуры КИПиА по всей установке. Ключевое оборудование, такое как турбодетандеры и насосы жидкого кислорода, продублировано (рабочий и резервный агрегат).

Системы смазки и уплотнения критических агрегатов оснащены собственными системами контроля и управления (например, система смазки ТДКА с подогревом и охлаждением масла).

Технологический процесс характеризуется высоким уровнем автоматизации и контроля ключевых параметров (расход, давление, температура, состав).

Предусмотрена многоуровневая система сигнализации и автоматических блокировок для защиты оборудования (компрессоров, ТДКА, насосов) при отклонении параметров от нормы.

Особое внимание уделено контролю вибрации и температуры (компрессоры, ТДКА).

Применение интеллектуальных систем управления позволяет сократить численность обслуживающего персонала, исключив дополнительные преобразователи, снизить аварийность установки за счет внедрения современных регулирующих клапанов и улучшить условия ее обслуживания. Сокращения количества аварий оборудования, объема ремонтных работ и, следовательно, повышения бесперебойности снабжения потребителей продукцией. Эта система позволит оптимизировать анализ больших объемов данных, поступающих от различных датчиков, контроллеров и других источников информации. Они также могут помочь в прогнозировании и предотвращении сбоев и отказов оборудования, что может существенно сократить время простоя и затраты на ремонт

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулакова, Е. С. Система автоматизированного отбора пробы атмосферного воздуха / Е. С. Кулакова, А. М. Сафаров, В. И. Сафарова // Экология и промышленность России. – 2024. – Т. 28, № 3. – С. 16-21. – DOI 10.18412/1816-0395-2024-3-16-21. – EDN RSAYLK.
2. Муравьева, Е. А. Разработка системы диагностики личного углеродного следа с автоматическим расчетом и сбором данных / Е. А. Муравьева, Е. С. Кулакова // Экологические системы и приборы. – 2023. – № 8. – С. 12-24. – DOI 10.25791/esip.8.2023.1389. – EDN WJFRQO.
3. Кулакова, Е. С. Бензол и его гомологи в атмосферном воздухе города Бельской мегавпадины Предуральяского прогиба восточно-Европейской равнины / Е. С. Кулакова // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. – 2022. – № 4. – С. 115-124. – DOI 10.25558/VOSTNII.2022.20.31.013. – EDN ENDASU.

4. Кулакова, Е. С. Статистическая обработка массива данных изменения содержания озона в атмосферном воздухе Г.Стерлитамака Республики Башкортостан / Е. С. Кулакова, А. М. Сафаров // Техносферная безопасность. Современные реалии : Сборник материалов I Всероссийской научно-практической конференции, Махачкала, 21–22 ноября 2019 года / Под редакцией Н.Х. Месрбян. – Махачкала: Дагестанский государственный технический университет, 2020. – С. 106-110. – EDN KKPGAN.
5. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022623757 Российская Федерация. Российские приборы контроля климатически активных газов : № 2022623516 : заявл. 07.12.2022 : опубл. 30.12.2022 / Е. А. Муравьева, Е. С. Кулакова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет». – EDN EKWNEED.
6. Патент № 2782565 C1 Российская Федерация, МПК G01N 1/10. Система усредненного отбора пробы воды из контрольного створа для автоматизированного контроля качества поверхностных водотоков : № 2021135386 : заявл. 01.12.2021 : опубл. 31.10.2022 / А. М. Сафаров, Е. С. Кулакова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет". – EDN QSDZTI.
7. Патент № 2813228 C1 Российская Федерация, МПК G01N 27/27. Многокомпонентный газоанализатор для климатических исследований : № 2023120157 : заявл. 31.07.2023 : опубл. 08.02.2024 / Е. А. Муравьева, Е. С. Кулакова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет". – EDN DVRAGP.
8. Муравьева, Е. А. Система диагностики личного углеродного следа / Е. А. Муравьева, Е. С. Кулакова // Экологические системы и приборы. – 2024. – № 2. – С. 9-23. – DOI 10.25791/esip.2.2024.1429. – EDN GBBFSP.
9. Муравьева, Е. А. Разработка автоматизированной системы для определения углеродного следа предприятий / Е. А. Муравьева, Е. С. Кулакова // Экологические системы и приборы. – 2023. – № 9. – С. 46-54. – DOI 10.25791/esip.9.2023.1398. – EDN ZWLLXB.
10. Отаров, А. А. Цифровая обработка сигналов вихревого расходомера / А. А. Отаров, Е. С. Кулакова // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2023. – № 5. – С. 124-144. – DOI 10.17122/ogbus-2023-5-124-144. – EDN YFRMDA.
11. Kulakova, E. Technical Solution for Monitoring Climatically Active Gases Using the Turbulent Pulsation Method / E. Kulakova, E. Muravyova // Sensors. – 2023. – Vol. 23, No. 20. – P. 8645. – DOI 10.3390/s23208645. – EDN SUGOAM.

УДК: 681.5

Скрипник М.В.

ИХТИ УГНТУ в г. Стерлитамаке

Заведующая кафедрой АТИС Муравьева Е.А.

ИХТИ УГНТУ в г. Стерлитамаке

Skripnik M.V.

Ihti UGNTU in Sterlitamak

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОЗИРОВАНИЕМ ФЛОКУЛЯНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ.

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT FLOCCULANT DOSING CONTROL SYSTEM USING NEURAL NETWORK MODELS FOR BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT FACILITIES.

Анотация: В работе рассматривается разработка интеллектуальной системы дозирования флокулянта для биологических очистных сооружений на основе нейросетевых моделей. Обоснована актуальность задачи, связанная с высокой вариабельностью состава сточных вод и недостаточной эффективностью традиционных методов расчёта дозы реагента. Предложен подход, основанный на использовании искусственных нейронных сетей для определения оптимальной дозы флокулянта в режиме реального времени с учётом параметров сточной воды и состояния активного ила. Описана структура системы, включающая подсистемы сбора и обработки данных, нейросетевой модуль и интерфейс взаимодействия с системой управления. Показано, что применение нейросетевых моделей позволяет учитывать нелинейные зависимости технологического процесса, повышать точность дозирования, снижать расход реагента и обеспечивать стабильное качество очистки. Рассмотрена возможность использования гибридного подхода, сочетающего методы машинного обучения и классического регулирования.

Abstract: The paper discusses the development of an intelligent flocculant dosing system for biological wastewater treatment facilities based on neural network models. The relevance of the task is justified by the high variability of wastewater composition and the insufficient efficiency of traditional methods for calculating the dose of the reagent. An approach based on the use of artificial neural networks is proposed for determining the optimal flocculant dose in real time, taking into account the parameters of wastewater and the state of activated sludge. The system structure is described, including data collection and processing subsystems, a neural network module, and an interface for interaction with the control system. It is shown that the use of neural network models allows to take into account nonlinear dependencies of the technological process, increase the accuracy of dosing, reduce the consumption of the reagent and ensure stable quality of purification. The possibility of using a hybrid approach combining machine learning methods and classical

Ключевые слова: нейронные сети, автоматизация, управление.

Keywords: neural networks, automation, and control.

В современных условиях эксплуатации биологических очистных сооружений важной задачей является обеспечение эффективной доочистки сточных вод. Одним из ключевых этапов данного процесса является флокуляция, позволяющая удалять остаточные взвешенные вещества после биологической очистки. Качество данного процесса напрямую зависит от точности расчёта дозы флокулянта.

Особенностью биологических очистных сооружений является значительная вариабельность состава сточных вод, обусловленная изменениями гидравлической нагрузки, характеристиками активного ила и режимами работы технологического оборудования. В этих условиях использование фиксированных значений дозы реагента или простых алгоритмов регулирования не обеспечивает требуемой точности. Это приводит либо к перерасходу флокулянта, либо к снижению эффективности очистки.

В связи с этим актуальной является разработка интеллектуальной системы, способной осуществлять расчёт оптимальной дозы флокулянта в реальном времени с учётом текущих параметров сточной воды. В качестве основы такой системы предлагается использовать методы машинного обучения, в частности искусственные нейронные сети.

Предлагаемый подход основан на построении нейросетевой модели, которая устанавливает зависимость между параметрами сточной воды и требуемой дозой флокулянта. В качестве входных данных используются такие параметры, как мутность, концентрация взвешенных веществ, уровень pH, температура, расход сточных вод, а также показатели состояния активного ила. Выходным параметром является расчётная доза флокулянта, выраженная в мг/л или кг/ч.

Разрабатываемая система включает в себя подсистему сбора данных, обеспечивающую получение информации с технологических датчиков, модуль предварительной обработки данных, нейросетевой модуль расчёта дозы, а также

интерфейс взаимодействия с системой автоматизированного управления. Расчёт дозы флокулянта осуществляется в режиме реального времени и может использоваться как для автоматического управления, так и в качестве рекомендательного значения для оператора.

Применение нейросетевых моделей позволяет учитывать нелинейные зависимости и сложные взаимосвязи между параметрами процесса, что существенно повышает точность расчёта дозы по сравнению с традиционными методами. Кроме того, система обладает способностью к обучению на новых данных, что обеспечивает её адаптацию к изменяющимся условиям эксплуатации.

Одним из ключевых преимуществ предлагаемого решения является снижение расхода флокулянта за счёт более точного расчёта его количества. Это позволяет уменьшить эксплуатационные затраты и повысить экономическую эффективность работы очистных сооружений. Также обеспечивается стабильное качество очищенной воды и снижается вероятность нарушения технологического режима.

Дополнительно возможно применение гибридного подхода, при котором нейросетевая модель используется для расчёта базовой дозы флокулянта, а корректировка осуществляется с помощью классических методов регулирования. Это позволяет обеспечить надёжность работы системы и её устойчивость к возможным отклонениям.

Таким образом, разработка интеллектуальной системы расчёта дозы флокулянта на основе нейросетевых моделей является перспективным направлением развития автоматизации биологических очистных сооружений. Реализация данного подхода позволяет повысить точность расчёта реагентов, снизить их расход и обеспечить стабильную работу технологических процессов в условиях неопределённости и изменчивости состава сточных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. – М.: Вильямс, 2019. – С. 45–78.
2. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. – MIT Press, 2016. – С. 135–180.
3. Кузнецова Е. В., Лебедев И. И. Современные методы оптимизации технологических процессов // *Химическая промышленность*. – 2021. – № 3. – С. 12–20.
4. Курбатов, Э. В. Разработка автоматизированной системы управления узлом компримирования незаполимеризовавшегося винилхлорида / Э. В. Курбатов, Е. А. Муравьева // Актуальные проблемы и направления развития технологий органического и неорганического синтеза: сборник трудов IV Международной научно-практической конференции, Стерлитамак, 14–15 мая 2024 года. – Уфа: ООО «Информреклама», 2024. – С. 127-128. – EDN UKOYEA.
5. Муравьева, Е. А. Разработка нейронной сети для управления процессом пиролиза дихлорэтана с целью повышения эффективности процесса / Е. А. Муравьева, А. И. Николаева // Системная инженерия и информационные технологии. – 2024. – Т. 6, № 4(19). – С. 69-76. – DOI 10.54708/2658-5014-SИТ-2024-no4-p69. – EDN BJQURV.
6. Муравьева, Е. А. Разработка НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЩЕЛОЧНОЙ ОТМЫВКИ ИЗОПЕНТАН- ИЗОПРЕН-ТОЛУОЛЬНОЙ ФРАКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА / Е. А. Муравьева, Р. В. Казанцев, Д. В. Подлесский // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2022. – № 2. – С. 120-137. – DOI 10.15593/2224-9400/2022.2.09. – EDN VBWNEW.
7. Муравьева, Е. А. Разработка автоматизированной системы для определения углеродного следа предприятий / Е. А. Муравьева, Е. С. Кулакова // Экологические системы и приборы. – 2023. – № 9. – С. 46-54. – DOI 10.25791/esip.9.2023.1398. – EDN ZWLLXB.

Тимофеев И.Е.

Институт химических технологий и инжиниринга УГНТУ в г. Стерлитамаке

Заведующая кафедрой АТИС *Муравьева Е.А.*

ИХТИ УГНТУ в г. Стерлитамаке

Timofeev I. E.

Institute of Chemical Technologies and Engineering of USTU in Sterlitamak

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ УСТАНОВКИ ГИДРООЧИСТКИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

INTELLIGENT SYSTEM FOR OPTIMIZING THE OPERATION OF A DIESEL FUEL HYDROTREATING UNIT

Аннотация: В работе рассмотрена проблема повышения эффективности процесса гидроочистки дизельного топлива в условиях ужесточения экологических стандартов. Предложен подход к оптимизации процесса на основе искусственных нейронных сетей. Проведена идентификация рабочих параметров, разработана архитектура модели глубокого обучения. Результаты моделирования демонстрируют возможность снижения содержания серы в продукте до нормативных значений (<10 ppm) и оптимизации расхода водорода.

Abstract: The paper considers the problem of improving the efficiency of the diesel fuel hydrotreating process in the context of tightening environmental standards. An approach to process optimization based on artificial neural networks is proposed. Working parameters have been identified, and a deep learning model architecture has been developed. Modeling results demonstrate the possibility of reducing the sulfur content in the product to standard values (<10 ppm) and optimizing hydrogen consumption.

Ключевые слова: гидроочистка дизельного топлива, нейронная сеть, оптимизация процесса, машинное обучение, содержание серы, расход водорода.

Keywords: diesel fuel hydrotreating, neural network, process optimization, machine learning, sulfur content, hydrogen consumption.

Современная нефтепереработка функционирует в условиях противоречивых требований: с одной стороны, необходимо обеспечивать глубокую очистку топлив от гетероатомных соединений, с другой — минимизировать энергозатраты и расход дорогостоящего водорода. Процесс гидроочистки дизельных фракций, являющийся гетерогенным каталитическим процессом, характеризуется сложной взаимосвязью температурных, давленческих и гидродинамических параметров. Именно эта многомерность

делает задачу поиска оптимального режима нетривиальной для классических методов автоматического регулирования.

Целью настоящего исследования стала разработка интеллектуальной системы, способной на основе исторических данных прогнозировать и корректировать технологические параметры установки гидроочистки для достижения целевых показателей качества при минимальных эксплуатационных затратах. Для её достижения потребовалось решить ряд взаимосвязанных задач: от идентификации значимых переменных процесса до создания работающего программного прототипа с графическим интерфейсом.

Первый этап работы был посвящён систематизации параметров, влияющих на эффективность десульфуризации. Температурный режим реактора (340–380 °C), давление в системе (40–60 кгс/см²), объёмная скорость подачи сырья (1,0–2,0 ч⁻¹) и кратность циркуляции водородсодержащего газа (300–500 нм³/м³) были выделены как основные управляющие переменные. Интересно отметить, что даже незначительное отклонение температуры в зоне реакции на 5–7 °C может привести к существенному изменению глубины удаления сернистых соединений, что подтверждает необходимость прецизионного контроля.

Предварительная обработка данных, без которой невозможно эффективное обучение модели, включала несколько критически важных шагов. Архивные показания датчиков, экспортируемые из файлов Excel, подвергались очистке от артефактов (специальных символов, нечисловых записей), после чего применялось масштабирование признаков к диапазону [0; 1] с использованием MinMaxScaler. Такой подход, хотя и является стандартным в практике машинного обучения, в контексте технологических данных приобретает особое значение: разнородные физические величины (температура, давление, концентрация) приводятся к сопоставимому масштабу, что ускоряет сходимость градиентного спуска.

Архитектура нейронной сети была выбрана исходя из компромисса между выразительной способностью модели и риском переобучения. Последовательная модель (Sequential) с четырьмя полносвязными скрытыми слоями (128–128–64–

64 нейронов), функцией активации ReLU и регуляризацией Dropout (коэффициент 0,2) продемонстрировала устойчивое обучение на данных установки. В качестве функции потерь использовалась среднеквадратичная ошибка (MSE), оптимизация проводилась алгоритмом Adam с адаптивной скоростью обучения. Стоит отметить, что первоначальные эксперименты с более простыми архитектурами приводили к систематическому занижению прогноза содержания серы, что потребовало увеличения ёмкости модели.

Обучение модели осуществлялось в течение 300 эпох с размером пакета 64 и валидационным разделением 20%. Динамика функции потерь на обучающей и валидационной выборках свидетельствует об отсутствии выраженного переобучения: расхождение между `train_loss` и `val_loss` к концу обучения не превышало 0,01. Это позволяет с определённой долей уверенности говорить о способности модели к обобщению на новых данных, хотя вопрос о её устойчивости при резких изменениях состава сырья остаётся открытым и требует дополнительных исследований.

Практическая реализация системы выполнена на языке Python с использованием библиотек TensorFlow, Keras, Pandas и Tkinter. Графический интерфейс позволяет оператору загружать актуальные данные, инициировать процесс оптимизации и визуализировать результаты в виде графиков зависимости целевых показателей от управляющих переменных. Особое внимание уделено возможности сохранения отчётов в форматах Word и Excel, а также выгрузки результатов в базу данных MySQL, что облегчает интеграцию решения в существующую ИТ-инфраструктуру предприятия.

Результаты моделирования, полученные на тестовой выборке, демонстрируют потенциал предложенного подхода. Прогнозируемые оптимальные параметры позволяют снизить содержание серы в дизельном топливе с 45 ppm до 8,5 ppm, что не только соответствует требованиям Евро-5, но и создаёт резерв по качеству. Одновременно достигается экономия водородсодержащего газа на уровне 4–6% за счёт более точного дозирования. Разумеется, эти цифры получены в условиях имитационного моделирования, и

их верификация на реальном объекте потребует проведения промышленного эксперимента.

Перспективы развития работы видятся в нескольких направлениях. Во-первых, представляет интерес адаптация модели для работы в режиме онлайн, с непрерывным обновлением весов по мере поступления новых данных. Во-вторых, заслуживает внимания исследование ансамблевых методов, которые потенциально способны повысить робастность прогнозов. Наконец, интеграция разработанной системы с SCADA-платформой предприятия могла бы стать следующим шагом на пути к созданию полноценной интеллектуальной системы поддержки принятия решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рутковская Д. и др. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечёткие системы. – М.: Горячая линия-Телеком, 2006.
2. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. М.: Вильямс, 2006.
3. ГОСТ Р 58702-2019. Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению.
4. TensorFlow Documentation. URL: <https://www.tensorflow.org/> (дата обращения: 09.03.2026).
5. Курбатов, Э. В. Разработка автоматизированной системы управления узлом компримирования незаполимеризовавшегося винилхлорида / Э. В. Курбатов, Е. А. Муравьева // Актуальные проблемы и направления развития технологий органического и неорганического синтеза: сборник трудов IV Международной научно-практической конференции, Стерлитамак, 14–15 мая 2024 года. – Уфа: ООО «Информреклама», 2024. – С. 127-128. – EDN UKOUEA.
6. Муравьева, Е. А. Разработка нейронной сети для управления процессом пиролиза дихлорэтана с целью повышения эффективности процесса / Е. А. Муравьева, А. И. Николаева // Системная инженерия и информационные технологии. – 2024. – Т. 6, № 4(19). – С. 69-76. – DOI 10.54708/2658-5014-SИТ-2024-no4-p69. – EDN BJQURV.
7. Муравьева, Е. А. Разработка НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЩЕЛОЧНОЙ ОТМЫВКИ ИЗОПЕНТАН- ИЗОПРЕН-ТОЛУОЛЬНОЙ ФРАКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА / Е. А. Муравьева, Р. В. Казанцев, Д. В. Подлесский // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2022. – № 2. – С. 120-137. – DOI 10.15593/2224-9400/2022.2.09. – EDN VBWNEW.

Шокурова Е.А.

Институт химических технологий и инжиниринга УГНТУ в г. Стерлитамаке

Науч. рук. канд. тех. наук *Кулакова Е.С.*

Институт химических технологий и инжиниринга УГНТУ в г. Стерлитамаке

Shokurova E.A.

Institute of Chemical Technology and Engineering, Ufa State Petroleum Technical University, Sterlitamak

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ВОДЫ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ И ФОРМИРОВАНИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ СУДОХОДСТВА

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT SYSTEM FOR MONITORING THE WATER QUALITY OF MARINE WATERS AND FORMING MANAGEMENT DECISIONS FOR SHIPPING

Аннотация: В статье предложена интеллектуальная система управления качеством воды морских акваторий, основанная на нечеткой логике. Актуальность работы связана с ростом антропогенной нагрузки, необходимостью оперативного выявления загрязнений и принятия решений в условиях неопределенности. Система включает сеть автономных буйковых станций с датчиками нефтепродуктов, температуры, электропроводности, мутности, растворенного кислорода, а также параметров ветра и течения. Передача данных осуществляется по гибриднему каналу связи. В качестве интеллектуального ядра используется экспертная система нечеткого вывода Мамдани, которая оценивает уровень угрозы по совокупности гидрометеорологических и навигационных факторов, включая данные AIS. Результатом работы системы являются рекомендации оператору по реагированию на загрязнение и предотвращению его распространения.

Abstract: This article proposes an intelligent marine water quality management system based on fuzzy logic. The relevance of this work is due to the increasing anthropogenic load, the need for rapid pollution detection, and decision-making under uncertainty. The system includes a network of autonomous buoy stations with sensors measuring oil products, temperature, electrical conductivity, turbidity, dissolved oxygen, as well as wind and current parameters. Data is transmitted via a hybrid communication channel. The intelligent core is the Mamdani fuzzy inference expert system, which assesses the threat level based on a combination of hydrometeorological and navigational factors, including AIS data. The system outputs recommendations to the operator on how to respond to pollution and prevent its spread..

Ключевые слова: интеллектуальная система; мониторинг качества воды; нечеткая логика; нефтяное загрязнение; буйковая станция.

Keywords: intelligent system; water quality monitoring; fuzzy logic; oil pollution; buoy station.

В условиях интенсификации промышленного освоения шельфа, роста грузопотоков и повышения антропогенной нагрузки на прибрежные экосистемы возрастает потребность в создании интеллектуальных систем, способных не только фиксировать изменения качества морской воды, но и прогнозировать развитие неблагоприятных ситуаций, а также формировать управляющие рекомендации для служб реагирования и судоходства.

Традиционные методы экологического мониторинга, основанные на дискретных пробоотборах и последующем лабораторном анализе, обладают высокой точностью, однако не обеспечивают необходимой оперативности и не позволяют своевременно реагировать на динамично развивающиеся аварийные процессы. В связи с этим актуальной является разработка экспертной системы нечеткого вывода, объединяющей сеть автономных буйковых станций, методы интеллектуального анализа данных и механизмы поддержки принятия решений.

Предлагаемая система основана на использовании пяти буйковых станций, расположенных по схеме, обеспечивающей пространственную избыточность измерений и отказоустойчивость комплекса. Такая конфигурация позволяет не только повышать надежность мониторинга, но и восстанавливать двумерное поле распределения загрязняющих веществ в акватории. Размещение буёв с шагом около 1000 метров обеспечивает возможность оценки пространственных градиентов концентрации и построения интерполяционных карт загрязнения. Каждый буй оснащается комплексом датчиков, включающим флуориметрический датчик нефтепродуктов, термометр, датчик электропроводности, датчик мутности, датчик растворённого кислорода, а также измерители скорости ветра и течения. Передача данных осуществляется по гибриднему каналу, что обеспечивает устойчивую связь даже в удалённых морских районах.

Центральным звеном системы является экспертная подсистема, построенная на базе нечеткой логики типа Мамдани. Такой подход выбран ввиду высокой неопределённости морской среды и изменчивости гидрометеорологических условий. Входными лингвистическими переменными

выступают концентрация нефтепродуктов, градиент концентрации, расстояние до критически важных объектов, направление и скорость течения, ветер, а также параметры судообстановки, получаемые через интеграцию с автоматической идентификационной системой AIS. На основе 15–20 производственных правил, сформулированных совместно с экспертами в области гидрологии, экологии и управления судоходством, система вычисляет интегральный уровень угрозы и формирует структурированные рекомендации для оператора.

Выходные решения представлены в виде текстовых сообщений, отражающих конкретные управляющие воздействия. Например, система может рекомендовать связаться с судном по радиоканалу VHF, предложить изменить курс, объявить временную зону ограничения плавания или активировать силы быстрого реагирования. При этом критические действия, связанные с остановкой технологических процессов или ограничением судоходства, подлежат обязательному подтверждению диспетчером, что обеспечивает соответствие существующим регламентам службы управления движением судов. Интеграция с AIS позволяет в реальном времени отслеживать координаты, курс и скорость судов в зоне ответственности, вычислять время до возможного входа в зону загрязнения и учитывать тип судна, что особенно важно для портовых и шельфовых акваторий.

Преимуществом разрабатываемой системы является переход от пассивного мониторинга к активному управлению экологической ситуацией. Система не только обнаруживает загрязнение, но и помогает принимать решения, направленные на предотвращение его распространения и снижение ущерба. Моделирование работы системы на тестовых сценариях, включающих аварийные разливы нефти и различные гидрометеорологические условия, показало высокую точность детектирования загрязнения и малое время отклика от момента превышения пороговой концентрации до формирования рекомендации. Это подтверждает перспективность применения экспертной системы в составе интеллектуальных комплексов экологической безопасности.

Перспективы дальнейшего развития системы связаны с адаптацией базы нечётких правил к сезонным и региональным условиям, накоплением статистических данных для повышения точности прогнозов, а также интеграцией с автономными средствами ликвидации разливов. Разработанное решение может быть применено в портовых акваториях, на шельфовых нефтегазовых месторождениях и в составе государственных систем экологического мониторинга, обеспечивая новый уровень безопасности мореплавания и сохранности морских экосистем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулакова, Е. С. Система автоматизированного отбора проб воды для экологического мониторинга / Е. С. Кулакова, А. М. Сафаров // Экология и промышленность России. – 2024. – Т. 28, № 4. – С. 24–29.
2. Муравьева, Е. А. Интеллектуальные системы мониторинга водных объектов / Е. А. Муравьева, Е. С. Кулакова // Экологические системы и приборы. – 2023. – № 9. – С. 15–28.
3. Петров, И. В. Современные методы экологического мониторинга морских акваторий / И. В. Петров, С. К. Иванова // Водные ресурсы. – 2023. – Т. 50, № 2. – С. 45–53.
4. Сидоров, А. Н. Цифровые технологии в контроле качества водной среды / А. Н. Сидоров, М. П. Козлова // Экология и промышленность России. – 2022. – № 12. – С. 18–25.
5. Коваленко, С. В. Интернет вещей в экологическом мониторинге / С. В. Коваленко // Датчики и системы. – 2023. – № 5. – С. 67–72.
6. Белова, Т. И. Дистанционные методы контроля морской среды / Т. И. Белова, П. А. Федоров // Океанология. – 2023. – Т. 63, № 4. – С. 112–120.
7. Курбатов, Э. В. Разработка автоматизированной системы управления узлом компримирования незаполимеризовавшегося винилхлорида / Э. В. Курбатов, Е. А. Муравьева // Актуальные проблемы и направления развития технологий органического и неорганического синтеза: сборник трудов IV Международной научно-практической конференции, Стерлитамак, 14–15 мая 2024 года. – Уфа: ООО «Информреклама», 2024. – С. 127–128. – EDN UKOYEA.

Биткулов В.В.

Институт химической технологии и инжиниринга в г.Стерлитамаке

Профессор технических наук *Муравьева Е.А.*

Институт химической технологии и инжиниринга в г.Стерлитамаке

Bitkulov V.V.

Institute of Chemical Technology and Engineering in Sterlitamak

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ГЕЛИЯ ИЗ АЗОТНО-ГЕЛИЕВОЙ СМЕСИ

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT CONTROL SYSTEM FOR THE PROCESS OF HELIUM EXTRACTION FROM A NITROGEN-HELIUM MIXTURE

Аннотация: Процесс извлечения гелия из азотно-гелиевой смеси характеризуется сложной нелинейной динамикой, взаимным влиянием технологических параметров, наличием ограничений по давлению, температуре и расходам, а также воздействием внешних и внутренних возмущений. Традиционные методы автоматического управления, основанные на классических регуляторах, как правило, не обеспечивают требуемого качества управления в условиях изменяющихся режимов работы и неопределённости параметров объекта.

Abstract. The process of extracting helium from a nitrogen-helium mixture is characterized by sequential nonlinear dynamics, the interaction of process parameters, the presence of pressure, temperature, and flow rate limitations, as well as external and internal changes. Traditional automatic control methods based on classic regulators generally do not require the required control quality under changing operating conditions and uncertainties in the plant's parameters.

Ключевые слова: интеллектуальная система управления, процесс извлечения гелия.

Key words: intelligent control system, helium extraction process.

Гелий является стратегически важным ресурсом, широко применяемым в криогенной технике, медицине, электронике, ядерной энергетике и научных исследованиях. Ограниченность природных источников гелия и высокая стоимость его добычи обуславливают необходимость повышения эффективности процессов его извлечения и очистки из газовых смесей. На практике гелий часто извлекается из азотно-гелиевых смесей, образующихся в результате переработки природных и технологических газов, что требует

применения высокоточных и энергоэффективных методов управления соответствующими технологическими процессами.

Процесс извлечения гелия из азотно-гелиевой смеси характеризуется сложной нелинейной динамикой, взаимным влиянием технологических параметров, наличием ограничений по давлению, температуре и расходам, а также воздействием внешних и внутренних возмущений.

На установке осуществляется выделение гелия из азотно-гелиевой смеси, его тонкая очистка от водорода, азота и прочих примесей. Очистка от водорода и метана производится окислением последних кислородом воздуха на катализаторе. Очищенный от водорода и метана гелий осушается от влаги и очищается от двуокси углерода на синтетических цеолитах (Рисунок 1). Очищенный гелий сжижается и подается на заполнение транспортных сосудов для дальнейшей отправки потребителю.

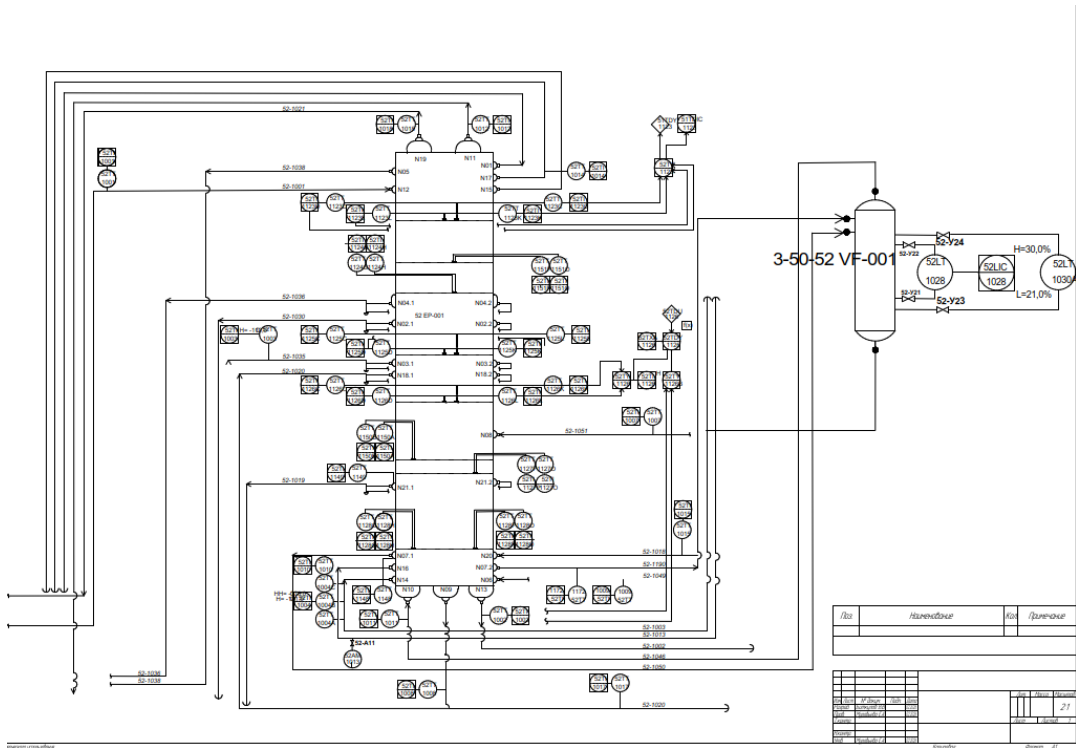


Рис. 1. Технологическая схема

В настоящее время в научной литературе отсутствуют исследования, направленные на разработку комплексной интеллектуальной системы

управления процессом извлечения гелия из азотно-гелиевой смеси, объединяющей функции прогнозирования и автоматического регулирования технологических параметров. Данный пробел определяет научную новизну настоящей работы.

В качестве основы интеллектуальной системы предлагается использование гибридного подхода, объединяющего искусственные нейронные сети (ANN) и предиктивное управление (MPC).

ANN выполняет функцию интеллектуальной модели процесса, способной адаптироваться к изменению режима работы установки и состава смеси.

Model Predictive Control (MPC) использует прогноз, полученный от ANN, для расчёта оптимальных управляющих воздействий с учётом технологических ограничений (предельные давления, допустимые расходы, энергопотребление).

Таким образом, формируется единая интеллектуальная система, которая: прогнозирует будущее состояние процесса извлечения гелия, на основе прогноза рассчитывает оптимальные управляющие воздействия, автоматически регулирует параметры установки в реальном времени, обеспечивает максимальную степень извлечения гелия при минимальных потерях и энергозатратах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курбатов, Э. В. Разработка автоматизированной системы управления узлом компримирования незаполимеризовавшегося винилхлорида / Э. В. Курбатов, Е. А. Муравьева // Актуальные проблемы и направления развития технологий органического и неорганического синтеза: сборник трудов IV Международной научно-практической конференции, Стерлитамак, 14–15 мая 2024 года. – Уфа: ООО «Информреклама», 2024. – С. 127-128. – EDN UKOYEA.
2. Муравьева, Е. А. Разработка нейронной сети для управления процессом пиролиза дихлорэтана с целью повышения эффективности процесса / Е. А. Муравьева, А. И. Николаева // Системная инженерия и информационные технологии. – 2024. – Т. 6, № 4(19). – С. 69-76. – DOI 10.54708/2658-5014-SIPT-2024-no4-p69. – EDN BJQURV.
3. Муравьева, Е. А. Разработка НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЩЕЛОЧНОЙ ОТМЫВКИ ИЗОПЕНТАН- ИЗОПРЕН-ТОЛУОЛЬНОЙ ФРАКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА / Е. А. Муравьева, Р. В. Казанцев, Д. В. Подлесский // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2022. – № 2. – С. 120-137. – DOI 10.15593/2224-9400/2022.2.09. – EDN VBWNEW.

4. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В.В.Денисенко. – М.:Горячая линия – Телеком, 2009. – 608 с.
5. Ильина И.Л. Проектирование автоматизированных систем: Учебное пособие: в 3-х ч. / И.Л. Ильина. – Ангарск: АГТА, 2005.
6. Нестеров А.Л. Проектирование АСУТП: Методическое пособие. Книга 1 / А.Л. Нестеров. – СПб.: Издательство ДЕАН, 2006. – 552 с.
7. Патент № 2782565 С1 Российская Федерация, МПК G01N 1/10. Система усредненного отбора пробы воды из контрольного створа для автоматизированного контроля качества поверхностных водотоков: № 2021135386: заявл. 01.12.2021: опубл. 31.10.2022 / А. М. Сафаров, Е. С. Кулакова; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет". – EDN QSDZTI.

Биткулова Ю.Р.

Институт химической технологии и инжиниринга в г.Стерлитамаке

Профессор технических наук *Муравьева Е.А.*

Институт химической технологии и инжиниринга в г.Стерлитамаке

Bitkulova Y.R.

Institute of Chemical Technology and Engineering in Sterlitamak

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ УДАЛЕНИЯ ВОДОРОДА ИЗ АЗОТНО-ГЕЛИЕВОЙ СМЕСИ

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT CONTROL SYSTEM FOR THE PROCESS OF HYDROGEN REMOVAL FROM A NITROGEN-HELIUM MIXTURE

Аннотация: Традиционные системы автоматического управления, как правило, используют линейные регуляторы, в частности ПИД-регуляторы, эффективность которых существенно снижается при наличии параметрической неопределённости и нелинейных свойств объекта управления. В таких условиях возникает необходимость внедрения более гибких и адаптивных методов управления, способных учитывать сложный характер технологического процесса и изменяющиеся условия его протекания.

Abstract: Traditional automatic control systems typically use linear controllers, particularly PID controllers, whose effectiveness is significantly reduced by parametric uncertainty and nonlinear properties of the controlled object. Under these conditions, the need arises to implement more flexible and adaptive control methods capable of accounting for the complex nature of the technological process and its changing conditions.

Ключевые слова: интеллектуальная система управления, процесс извлечения гелия.

Key words: intelligent control system, helium extraction process.

Процесс удаления водорода из азотно-гелиевой (Рисунок 1) смеси часто требует высокой точности поддержания технологических параметров, ручное или простое автоматическое управление не всегда обеспечивает стабильность и эффективность процесса. Интеллектуальные системы позволяют минимизировать затраты энергии и ресурсов, улучшая общую экономику процесса. Исключение водорода из смеси – ключевой фактор для

предотвращения взрывов. Интеллектуальная система управления способна оперативно реагировать на критические отклонения и предотвращать аварии.

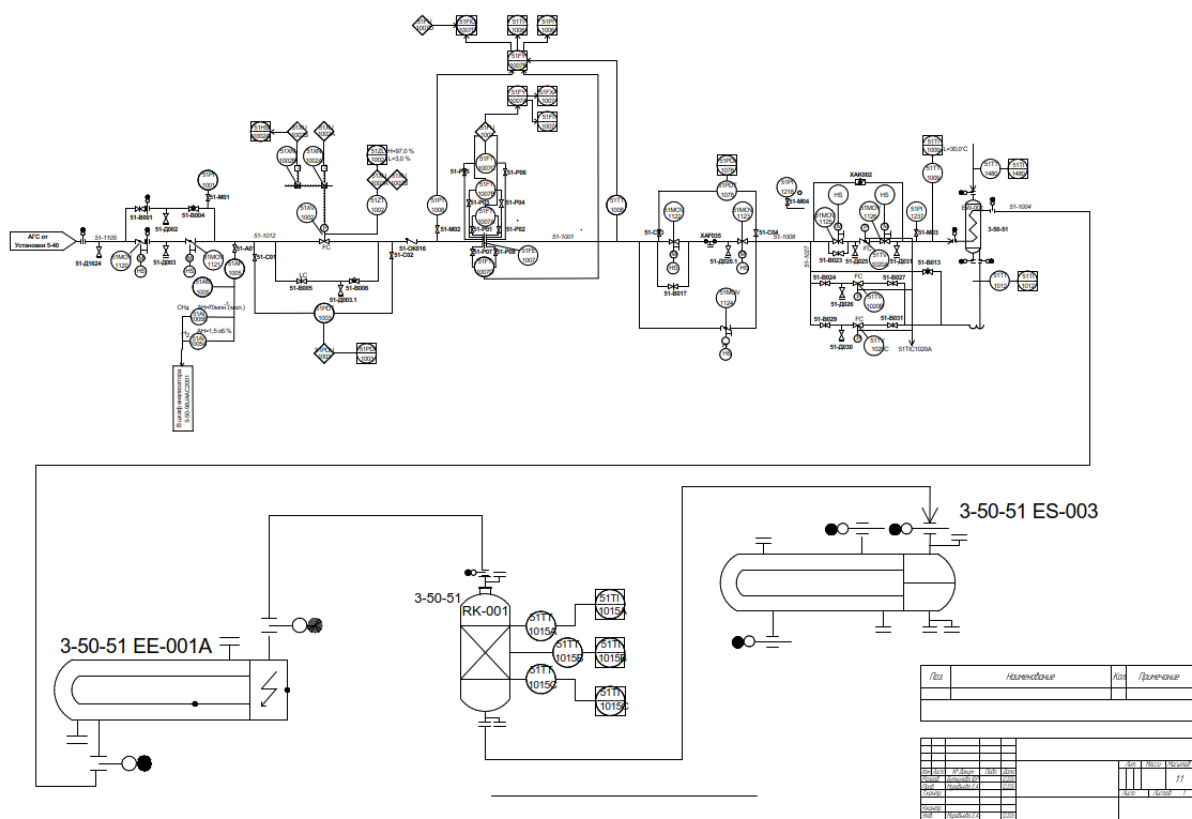


Рис. 1. Технологическая схема

Применение нейронных сетей в системах управления процессами газоочистки открывает возможности для прогнозирования выходных параметров процесса, повышения качества регулирования и снижения влияния возмущающих факторов. Нейросетевая модель может быть использована в качестве интеллектуального идентификатора и предиктора объекта управления, обеспечивая формирование управляющих воздействий с упреждением и тем самым повышая эффективность работы всей системы управления.

Процесс удаления водорода из азотно-гелиевой смеси является сложным и нелинейным: концентрации компонентов, давление и поток газа постоянно изменяются, а превышение концентрации водорода может привести к взрывоопасной ситуации. Для эффективного управления необходима система, способная не только предсказывать будущие состояния, но и автоматически регулировать параметры процесса в реальном времени.

Использование искусственных нейронных сетей (ANN) позволяет интеллектуальной системе моделировать нелинейную динамику процесса на основе данных, учитывать изменения состава смеси и внешние возмущения, формируя прогноз концентрации водорода и других параметров. MPC (Model Predictive Control) в этой же системе использует прогноз ANN для расчёта оптимальных управляющих воздействий, обеспечивая точное поддержание безопасных и эффективных условий работы установки.

В связи с изложенным разработка интеллектуальной системы управления процессом удаления водорода из азотно-гелиевой смеси на основе искусственной нейронной сети является актуальной научно-технической задачей, имеющей практическую значимость для современных газоразделительных и газоочистных технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курбатов, Э. В. Разработка автоматизированной системы управления узлом компримирования незаполимеризовавшегося винилхлорида / Э. В. Курбатов, Е. А. Муравьева // Актуальные проблемы и направления развития технологий органического и неорганического синтеза: сборник трудов IV Международной научно-практической конференции, Стерлитамак, 14–15 мая 2024 года. – Уфа: ООО «Информреклама», 2024. – С. 127-128. – EDN UKOUEA.
2. Муравьева, Е. А. Разработка нейронной сети для управления процессом пиролиза дихлорэтана с целью повышения эффективности процесса / Е. А. Муравьева, А. И. Николаева // Системная инженерия и информационные технологии. – 2024. – Т. 6, № 4(19). – С. 69-76. – DOI 10.54708/2658-5014-SIIT-2024-no4-p69. – EDN BJQURV.
3. Муравьева, Е. А. Разработка НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЩЕЛОЧНОЙ ОТМЫВКИ ИЗОПЕНТАН- ИЗОПРЕН-ТОЛУОЛЬНОЙ ФРАКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА / Е. А. Муравьева, Р. В. Казанцев, Д. В. Подлесский // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2022. – № 2. – С. 120-137. – DOI 10.15593/2224-9400/2022.2.09. – EDN VBWNEW.
4. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В.В.Денисенко. – М.:Горячая линия – Телеком, 2009. – 608 с.
5. Патент № 2782565 С1 Российская Федерация, МПК G01N 1/10. Система усредненного отбора пробы воды из контрольного створа для автоматизированного контроля качества поверхностных водотоков: № 2021135386: заявл. 01.12.2021: опубл. 31.10.2022 / А. М. Сафаров, Е. С. Кулакова; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет". – EDN QSDZTI.
6. Ильина И.Л. Проектирование автоматизированных систем: учебное пособие: в 3-х ч. / И.Л. Ильина. – Ангарск: АГТА, 2005.

Дунюшкин М.С.

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
ИХТИ в г. Стерлитамаке

Заведующая кафедрой АТИС *Муравьева Е.А.*

ИХТИ УГНТУ в г. Стерлитамаке

Dunyushkin M.S.

Ufa State Petroleum Technology University, Institute of Chemical Technology
(Sterlitamak branch)

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ КАРБОНИЗАЦИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ КАЛЬЦИНИРОВАННОЙ СОДЫ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

ADAPTIVE MANAGEMENT OF THE CARBONIZATION PROCESS IN SODA ASH PRODUCTION BASED ON MACHINE LEARNING

Аннотация: В работе обоснован подход к созданию адаптивной трехуровневой системы управления карбонизацией на основе Random Forest для виртуального анализа известкового молока, XGBoost для краткосрочного прогноза и rule-based логики верхнего уровня. Система интегрируется в Honeywell Experion PKS в advisory-режиме с fallback на fuzzy logic, обеспечивая проактивную стабилизацию режима при вариативности качества сырья. Предложенное решение использует SCADA-данные и соответствует задачам цифровизации содового производства Башкирской содовой компании.

Abstract: The paper justifies an adaptive three-level control system for carbonization based on Random Forest for virtual lime milk analysis, XGBoost for short-term forecasting, and upper-level rule-based logic. The system integrates into Honeywell Experion PKS in advisory mode with fuzzy logic fallback, providing proactive regime stabilization amid raw material quality variability. The proposed solution utilizes SCADA data and aligns with Bashkir Soda Company's digitalization objectives for soda production.

Ключевые слова: карбонизация, содовое производство, Random Forest, XGBoost, виртуальный анализ, известковое молоко, SCADA, Honeywell Experion PKS, soft sensor, управление режимами

Keywords: carbonization, soda production, Random Forest, XGBoost, virtual analysis, lime milk, SCADA, Honeywell Experion PKS, soft sensor, process control

Производство кальцинированной соды аммиачным способом относится к числу базовых процессов химической промышленности, а стадия карбонизации определяет устойчивость режима, качество промежуточного продукта и

эффективность последующих стадий фильтрации и кальцинации. Для АО «Башкирская содовая компания» проблема устойчивости карбонизации в последние годы обострилась вследствие роста вариативности качества известкового молока, используемого в цикле регенерации аммиака. Изменение сырьевых условий приводит к смещению оптимальных режимов, росту неопределенности и повышению риска неблагоприятных состояний колонны. Дополнительную сложность создает то, что часть важных показателей определяется с запаздыванием лабораторного контроля, тогда как оператору необходимо принимать решения в текущем времени по косвенным признакам.

Цель работы состоит в обосновании подхода к построению адаптивной системы управления процессом карбонизации на основе архивных и текущих данных SCADA и методов машинного обучения. В НИР-1 была выполнена постановка задачи и проанализированы ограничения традиционного реактивного управления. В НИР-2 разработана архитектура трехуровневой системы, в которой первый уровень представлен виртуальным анализатором качества известкового молока, второй уровень реализует краткосрочный прогноз развития технологической ситуации, а третий уровень формирует корректирующие управляющие воздействия верхнего уровня в пределах производственных ограничений.

В качестве основного метода виртуального анализа выбран алгоритм Random Forest. Его применение целесообразно для оценки скрытых характеристик сырья по косвенным технологическим параметрам, поскольку процесс карбонизации характеризуется нелинейными зависимостями, шумом измерений и разнородностью режимов работы оборудования. Для краткосрочного прогноза развития режима выбран алгоритм XGBoost, позволяющий учитывать лаговые признаки, скользящие характеристики и взаимосвязь между расходами газа, температурами, уровнями и состоянием жидкой фазы. Такое сочетание методов позволяет одновременно оценивать текущее состояние процесса и заранее выявлять риск перехода колонны в неблагоприятный режим.

При построении системы особое внимание уделено промышленной реализуемости. В качестве исходной среды используется действующая АСУ ТП Honeywell Experion PKS, а формирование логики верхнего уровня предлагается вести без прямого вмешательства в штатные ПИД- и каскадные контуры на пилотном этапе. Интеллектуальный модуль первоначально работает в режиме операторского подтверждения: модель оценивает состояние режима, формирует прогноз и выдает оператору корректирующее воздействие, которое затем реализуется в допустимых пределах. Такой подход снижает производственный риск и обеспечивает поэтапный переход от реактивного управления к проактивной поддержке режима.

Для практической постановки задачи использованы данные производственной инструкции участка карбонизации, архивные параметры SCADA и экспертные признаки, применяемые технологическим персоналом. В качестве ключевых контролируемых параметров рассматриваются температуры по характерным зонам колонны, уровень жидкости, расходы газа первого и второго вводов, содержание диоксида углерода в газовой фазе, параметры аммонизированного рассола и косвенные показатели состояния суспензии. Формализация типовых производственных ситуаций, включая образование мелкокристаллического осадка и «подвисание» колонны, позволяет использовать rule-based и case-based логику как основу верхнего уровня адаптивной системы. Предложенный подход соответствует задачам цифровизации производственных отраслей и может рассматриваться как основа для дальнейшей пилотной апробации интеллектуального контура в содовом производстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Афанасенко А.Г. Управление процессом карбонизации в производстве кальцинированной соды по показателям качества продукции: дис. ... канд. техн. наук, 05.13.06. Уфа: УГАТУ, 2008. 132 с.
2. Шатов А.А. Производство кальцинированной соды – от прошлого к новым технологиям // Научный обзор. 2013. № 8.

3. Дунюшкин М.С. Разработка адаптивной системы управления карбонизацией на основе ML-моделей // НИР-1. Стерлитамак: ИХТИ УГНТУ, 2026. 57 с.
4. Патент RU 2258034 С1. Способ карбонизации аммонизированного рассола в производстве кальцинированной соды / Афанасенко А.Г. и др. Заявка 2004115404/15, опубл. 20.08.2005.
5. Чернов В.Ф. Производство кальцинированной соды. М.: Госхимиздат, 1956. 286 с.
6. Пинаев А.И. Технология содовых продуктов: учеб. пособие. Брянск: БГТУ, 2015.
7. Патент № 2782565 С1 Российская Федерация, МПК G01N 1/10. Система усредненного отбора пробы воды из контрольного створа для автоматизированного контроля качества поверхностных водотоков: № 2021135386: заявл. 01.12.2021: опубл. 31.10.2022 / А. М. Сафаров, Е. С. Кулакова; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет". – EDN QSDZTI.
8. Курбатов, Э. В. Разработка автоматизированной системы управления узлом компримирования незаполимеризовавшегося винилхлорида / Э. В. Курбатов, Е. А. Муравьева // Актуальные проблемы и направления развития технологий органического и неорганического синтеза: сборник трудов IV Международной научно-практической конференции, Стерлитамак, 14–15 мая 2024 года. – Уфа: ООО «Информреклама», 2024. – С. 127-128. – EDN UKOYEA.
9. Муравьева, Е. А. Разработка нейронной сети для управления процессом пиролиза дихлорэтана с целью повышения эффективности процесса / Е. А. Муравьева, А. И. Николаева // Системная инженерия и информационные технологии. – 2024. – Т. 6, № 4(19). – С. 69-76. – DOI 10.54708/2658-5014-SIIT-2024-no4-p69. – EDN BJQURV.
10. Муравьева, Е. А. Разработка НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЩЕЛОЧНОЙ ОТМЫВКИ ИЗОПЕНТАН- ИЗОПРЕН-ТОЛУОЛЬНОЙ ФРАКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА / Е. А. Муравьева, Р. В. Казанцев, Д. В. Подлесский // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2022. – № 2. – С. 120-137. – DOI 10.15593/2224-9400/2022.2.09. – EDN VBWNEW.

Мусин А.Р.

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
ИХТИ в г. Стерлитамаке

Доктор технических наук, профессор *Муравьева Е.А.*

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
ИХТИ в г. Стерлитамаке

Musin A.R.

Ufa State Petroleum Technology University, Institute of Chemical Technology
(Sterlitamak branch)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ИШИМБАЙСКИМИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СЕТЯМИ

INTELLIGENT CONTROL SYSTEM FOR ISHIMBAY DISTRIBUTION POWER GRIDS

Аннотация: В статье представлена концепция интеллектуальной системы управления (ИСУ) распределительными электрическими сетями г. Ишимбая. Обоснована актуальность внедрения цифровых решений в условиях высокого износа оборудования (>60%) и низкой автоматизации сетей. Разработана трёхуровневая архитектура ИСУ на базе IoT-сенсоров, центра обработки данных и гибридного алгоритма искусственного интеллекта (градиентный бустинг XGBoost/LightGBM+ экспертная система). Предложен комплекс мероприятий по внедрению, включая модернизацию инфраструктуры, обучение персонала и обеспечение кибербезопасности. Оценка эффективности показывает снижение потерь электроэнергии на 15–20% и сокращение времени восстановления питания до 30–40 минут. Результаты работы могут быть масштабированы на другие регионы Республики Башкортостан и РФ в рамках цифровизации энергетики.

Abstract: The article presents a concept of an intelligent control system (ICS) for the distribution power grids of Ishimbay. The relevance of implementing digital solutions is substantiated given the high equipment wear (>60%) and low automation level of the grids. A three-level ICS architecture has been developed based on IoT sensors, a data processing center, and a hybrid artificial intelligence algorithm (gradient boosting XGBoost/LightGBM combined with an expert system). A set of implementation measures is proposed, including infrastructure modernization, personnel training, and cybersecurity assurance. The efficiency assessment demonstrates a 15–20% reduction in power losses and a decrease in power restoration time to 30–40 minutes. The results can be scaled to other regions of the Republic of Bashkortostan and the Russian Federation as part of the digitalization of the energy sector.

Ключевые слова: интеллектуальная система управления, распределительные электрические сети, искусственный интеллект, градиентный бустинг, цифровизация энергетики, IoT, SCADA, надёжность энергоснабжения, Ишимбай.

Keywords: intelligent control system, distribution power grids, artificial intelligence, gradient boosting, energy digitalization, IoT, SCADA, power supply reliability, Ishimbay.

Введение:

Актуальность исследования обусловлена износом и низкой автоматизацией электросетей Ишимбая, снижающими надежность энергоснабжения региона [1]. Цель работы — разработка концепции интеллектуальной системы управления (ИСУ) на базе цифровизации и ИИ [2]. Задачи: анализ проблем, выбор методов ИИ, проектирование архитектуры ИСУ и оценка эффективности внедрения.

Тезис 1: Диагностика проблем

Анализ сетей Ишимбая выявил износ оборудования (>60% сверх норматива), хроническую перегрузку, низкую автоматизацию и высокие потери электроэнергии [1]. Эти факторы снижают надежность энергоснабжения и обуславливают необходимость внедрения интеллектуальных систем управления.

Тезис 2: Архитектура ИСУ

Разработана трехуровневая архитектура ИСУ: сбор данных (IoT-датчики, телеметрия), обработка (центр данных) и принятие решений (алгоритмы ИИ) [2]. Система обеспечивает мониторинг в реальном времени, авто-локализацию аварий и реконфигурацию сети для ускорения восстановления питания.

Тезис 3: Выбор метода ИИ

Выбран гибридный метод ИИ: градиентный бустинг (XGBoost/LightGBM) и экспертная система [3]. Обоснование: эффективность при ограниченных данных, объяснимость решений для систем жизнеобеспечения и возможность интеграции с SCADA без замены инфраструктуры.

Тезис 4: Мероприятия внедрения

Определен комплекс мер: модернизация оборудования, оснащение датчиками и телеметрией, развитие ИТ-инфраструктуры и обучение персонала [3]. Обеспечение кибербезопасности (шифрование, авторизация, аудит) гарантирует устойчивую работу ИСУ.

Тезис 5: Эффективность проекта

Внедрение ИСУ обеспечит снижение потерь электроэнергии на 15–20% и сокращение времени восстановления питания до 30–40 минут [1,2]. Система повышает надежность энергоснабжения и обладает потенциалом масштабирования на другие регионы Башкортостана и РФ.

Заключение

Разработана концепция ИСУ для сетей Ишимбая на базе гибридного ИИ (градиентный бустинг + экспертная система), решающая проблемы износа, потерь и низкой автоматизации [2,3].

Внедрение требует модернизации оборудования, обучения персонала и обеспечения информационной безопасности. Система рекомендована к пилотному внедрению и масштабированию в рамках цифровизации энергетики РФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов А.Н., Колотов А.В. Современные тенденции развития распределительных электрических сетей в городах России // Электроэнергетика глазами молодежи. 2021. № 2. С. 11-18.
2. Воробьев В.В., Герасимчук В.А. Современные концепции и технологии интеллектуальных сетей энергоснабжения // Техника и физика низких температур. 2023. № 1. С. 33-41.
3. Николаевский В.Н., Сидоренко А.А. Современные технологии мониторинга и управления распределительными сетями // Известия вузов. Электроника. 2022. № 3. С. 35-43.
4. Курбатов, Э. В. Разработка автоматизированной системы управления узлом компримирования незаполимеризовавшегося винилхлорида / Э. В. Курбатов, Е. А. Муравьева // Актуальные проблемы и направления развития технологий органического и неорганического синтеза: сборник трудов IV Международной научно-практической конференции, Стерлитамак, 14–15 мая 2024 года. – Уфа: ООО «Информреклама», 2024. – С. 127-128. – EDN UKOYEA.
5. Муравьева, Е. А. Разработка нейронной сети для управления процессом пиролиза дихлорэтана с целью повышения эффективности процесса / Е. А. Муравьева, А. И. Николаева // Системная инженерия и информационные технологии. – 2024. – Т. 6, № 4(19). – С. 69-76. – DOI 10.54708/2658-5014-SIIT-2024-no4-p69. – EDN BJQURV.

Осипов Д.В.

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
ИХТИ в г. Стерлитамаке

Доктор технических наук, профессор *Муравьева Е.А.*

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
ИХТИ в г. Стерлитамаке

Osipov D.V

Ufa State Petroleum Technology University, Institute of Chemical Technology
(Sterlitamak branch)

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT AIR POLLUTION MONITORING SYSTEM FOR INDUSTRIAL ENTERPRISES

Аннотация: В статье представлена архитектура интеллектуальной системы мониторинга (ИСМ) загрязнения воздуха для промышленных предприятий. Обоснована актуальность цифровой трансформации экологического контроля в условиях разрозненности данных и низкой автоматизации существующих систем. Разработана трёхуровневая архитектура ИСМ на базе IoT-газоанализаторов, edge-шлюзов и гибридного алгоритма ИИ (детерминированные модели атмосферного переноса + ансамблевое обучение XGBoost/LSTM ассимиляция данных). Предложен комплекс мер по внедрению, включая калибровку сенсорной сети, интеграцию с АСУ ТП и обеспечение кибербезопасности. Оценка эффективности показывает сокращение времени обработки данных на 70–90%, точность локализации источника >85% и время отклика <5 секунд. Система масштабируема для других промышленных регионов РФ.

Abstract: The article presents an architecture of an intelligent monitoring system (IMS) for air pollution at industrial enterprises. The relevance of digital transformation in environmental control is substantiated given the data fragmentation and low automation level of existing systems. A three-level IMS architecture has been developed based on IoT gas analyzers, edge gateways, and a hybrid AI algorithm (deterministic atmospheric transport models combined with ensemble learning XGBoost/LSTM and data assimilation). A set of implementation measures is proposed, including sensor network calibration, integration with industrial control systems via API, and cybersecurity assurance. The efficiency assessment demonstrates a 70–90% reduction in data processing time, source localization accuracy >85%, and a response time of <5 seconds. The system is scalable for other industrial regions of the Russian Federation.

Ключевые слова: интеллектуальная система мониторинга, загрязнение воздуха, IoT-сенсоры, искусственный интеллект, промышленные предприятия, машинное обучение, экологический контроль, цифровая трансформация.

Keywords: intelligent monitoring system, air pollution, IoT sensors, artificial intelligence, industrial enterprises, machine learning, environmental control, digital transformation.

Введение:

Актуальность исследования обусловлена необходимостью цифровой трансформации систем экологического контроля [3]. Цель работы — разработка архитектуры интеллектуальной системы мониторинга (ИСМ) на базе IoT-сенсоров и гибридных алгоритмов ИИ [5]. Задачи: проектирование сенсорной сети, выбор методов машинного обучения, интеграция с АСУ, оценка производительности.

Тезис 1: Диагностика проблем

Анализ существующих систем выявил разрозненность данных, низкую автоматизацию и отсутствие единого информационного пространства [3]. Задержки в обнаружении выбросов снижают эффективность реагирования. Эти факторы обуславливают необходимость внедрения масштабируемых интеллектуальных решений реального времени.

Тезис 2: Архитектура ИСМ

Разработана трёхуровневая архитектура ИСМ: сбор данных (IoT-газоанализаторы, MQTT/LoRaWAN), обработка (edge-шлюзы, облачное хранилище) и принятие решений (микросервисы аналитики) [2]. Реализованная концепция «сенсорной плоскости» обеспечивает пространственную локализацию источников выбросов и реконструкцию полей концентрации загрязняющих веществ [1].

Тезис 3: Выбор метода ИИ

Выбран гибридный метод ИИ: детерминированные модели атмосферного переноса + ансамблевое обучение (XGBoost, LSTM) + ассимиляция данных [5]. Решение повышает точность прогноза при неполноте данных, обеспечивает адаптивность к метеоусловиям и детектирование аномалий в реальном времени.

Тезис 4: Мероприятия внедрения

Определён комплекс мер: калибровка сенсорной сети, интеграция с АСУ ТП через API, развитие ИТ-инфраструктуры [3].

Обеспечение кибербезопасности (TLS-шифрование, двухфакторная аутентификация, аудит) гарантирует достоверность данных и устойчивость работы системы в соответствии с требованиями законодательства [4].

Тезис 5: Эффективность проекта

Внедрение ИСМ обеспечит сокращение времени обработки данных на 70–90%, точность локализации источника >85% и время отклика <5 секунд [1,2].

Экономический эффект — снижение операционных затрат на мониторинг на 30–50%. Система масштабируема для других промышленных регионов.

Заключение

Разработана архитектура интеллектуальной системы мониторинга загрязнения воздуха на базе IoT-инфраструктуры и гибридного ИИ, решающая проблемы низкой оперативности и точности контроля выбросов [5].

Внедрение требует модернизации сенсорной сети, обучения персонала и обеспечения информационной безопасности. Система рекомендована к пилотному внедрению и масштабированию в рамках цифровой трансформации промышленных предприятий РФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балак Г.М., Мишина О.А., Волгин С.Н. Оперативная идентификация источников углеводородных загрязнений окружающей среды. 2020.
2. Леоненко И.И. и др. Методы определения нефтепродуктов и углеводородов в объектах окружающей среды (обзор) // Аналитика и контроль. 2018.
3. Маркин В.Н., Шабанов В.В. Некоторые вопросы организации мониторинга окружающей среды в современных условиях // Вестник экологии. 2020.
4. Федеральный закон № 7-ФЗ от 10.01.2002 г. «Об охране окружающей среды».
5. Веницианов Е.В. Проблемы управления качеством окружающей среды и атмосферного воздуха // Экология и промышленность. 2021.
6. Патент № 2782565 С1 Российская Федерация, МПК G01N 1/10. Система усредненного отбора пробы воды из контрольного створа для автоматизированного контроля качества поверхностных водотоков : № 2021135386 : заявл. 01.12.2021 : опубл. 31.10.2022 / А. М. Сафаров, Е. С. Кулакова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет". – EDN QSDZTI.

7. Курбатов, Э. В. Разработка автоматизированной системы управления узлом компримирования незаполимеризовавшегося винилхлорида / Э. В. Курбатов, Е. А. Муравьева // Актуальные проблемы и направления развития технологий органического и неорганического синтеза : Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции, Стерлитамак, 14–15 мая 2024 года. – Уфа: ООО «Информреклама», 2024. – С. 127-128. – EDN UKOYEA.
8. Муравьева, Е. А. Разработка нейронной сети для управления процессом пиролиза дихлорэтана с целью повышения эффективности процесса / Е. А. Муравьева, А. И. Николаева // Системная инженерия и информационные технологии. – 2024. – Т. 6, № 4(19). – С. 69-76. – DOI 10.54708/2658-5014-SИТ-2024-no4-p69. – EDN BJQURV.
9. Муравьева, Е. А. Разработка НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЩЕЛОЧНОЙ ОТМЫВКИ ИЗОПЕНТАН- ИЗОПРЕН-ТОЛУОЛЬНОЙ ФРАКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА / Е. А. Муравьева, Р. В. Казанцев, Д. В. Подлесский // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2022. – № 2. – С. 120-137. – DOI 10.15593/2224-9400/2022.2.09. – EDN VBWNEW.

Азылгареева А. А.

ИХТИ УГНТУ в г. Стерлитамак

К.т.н, доцент Кулакова Е.С.

ИХТИ УГНТУ в г. Стерлитамак

Azylgareeva A. A.

Ihti UGNTU in Sterlitamak

РАЗРАБОТКА НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

DEVELOPMENT OF A NEURAL NETWORK FOR IDENTIFYING POLLUTION OF SURFACE WATER BODIES

Аннотация. В настоящее время проблема чистой воды для обеспечения жизни населения, фауны является очень распространенной. Мониторинг поверхностных вод – система последовательных наблюдений, сбора и обработки данных о состоянии водных объектов, а также прогноза их изменений и разработки научно-обоснованных рекомендаций для принятия управленческих решений по улучшению состояния вод.

Abstract. Currently, the problem of clean water for ensuring the population's and fauna's life is very widespread. Surface water monitoring is a system of consistent observations, data collection, and processing on the state of water bodies, as well as forecasting their changes and developing scientifically based recommendations for making management decisions to improve the state of water.

Ключевые слова: поверхностные водные объекты, идентификация, методы идентификации, нейронная сеть

Keywords: surface water bodies, identification, identification methods, neural network

В рамках данной работы для решения задачи сегментации загрязнений на поверхности воды использовалась модель YOLOv8 с сегментационной головой (YOLOv8-seg). Входом для модели служат цветные изображения (RGB) водной поверхности, содержащие различные виды загрязнений – в частности, нефтяные пятна, пластик, водоросли и другие объекты, относящиеся к категории антропогенных или природных загрязнителей.

Для наглядной демонстрации работы модели были использованы реальные изображения загрязнённой водной поверхности, полученные с

различных открытых источников и размеченные вручную с помощью платформы Roboflow, можно увидеть на рисунке 1. На этапе предсказания одно из таких изображений подаётся на вход модели, и в ответ модель возвращает совокупность объектов с их сегментированными масками.

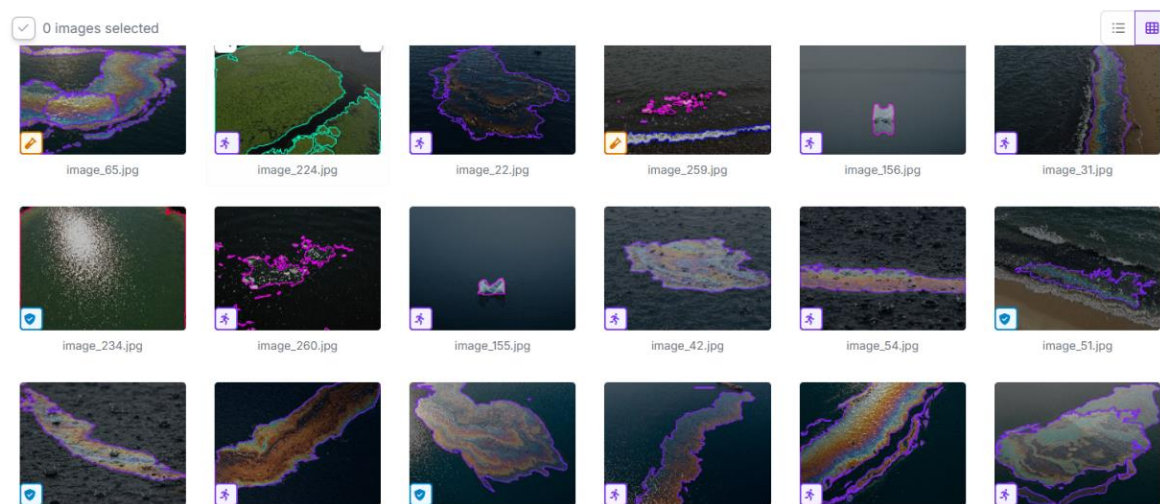


Рис. 1. Изображения загрязнённой водной поверхности

В рамках задачи семантической сегментации, направленной на выявление загрязнений водной поверхности, ключевым выходом нейросетевой модели является маска — бинарное изображение, в котором каждый пиксель классифицирован как принадлежащий загрязнённой или чистой области.

Итоговое бинарное значение маски вновь формируется пороговой операцией. Таким образом, каждая маска кодирует форму и положение отдельного объекта, независимо от остальных предсказаний на изображении.

Директория runs служит центральным хранилищем для всех результатов экспериментов, проводимых с использованием библиотеки ultralytics. Внутри нее создаются поддиректории, сгруппированные по типу задачи (в данном случае, segment для сегментации) и времени или номеру запуска эксперимента (например, train3)

Датасет, использованный в данной работе, представляет собой специализированную выборку изображений водной поверхности, размеченную в формате сегментации с целью обучения нейросетевой модели на задачу

детектирования и выделения областей загрязнений. Он был создан и размечен с использованием платформы Roboflow – инструмента, предназначенного для управления, преобразования и аннотирования изображений под задачи компьютерного зрения. Формирование датасета происходило с учётом необходимости обеспечить модель разнообразием сцен, условий съёмки, типов загрязнений и фонов, что является критически важным фактором для успешной генерализации модели в условиях реального мира.

После завершения обучения модели сегментации была произведена автоматическая генерация набора аналитических графиков, отражающих ключевые метрики качества, использующихся в современных задачах компьютерного зрения. Данные визуализации построены на основе выходов валидационного подмножества и предназначены для интерпретации производительности модели в условиях неопределённости и различных уровней уверенности в предсказаниях.

Среди полученных графиков особое значение имеют следующие: зависимость точности от уровня confidence (Precision-Confidence), зависимость полноты от confidence (Recall-Confidence), кривая F1-Confidence, а также классическая Precision-Recall – кривая.

Точность как функция уверенности (Precision–Confidence) (рисунок 2). График демонстрирует, как изменяется точность модели по мере повышения порога confidence, определяющего, какие предсказания будут считаться значимыми. При низких значениях порога в выборку попадают и слабые, менее уверенные предсказания, что увеличивает долю ложноположительных ответов и снижает общую точность.

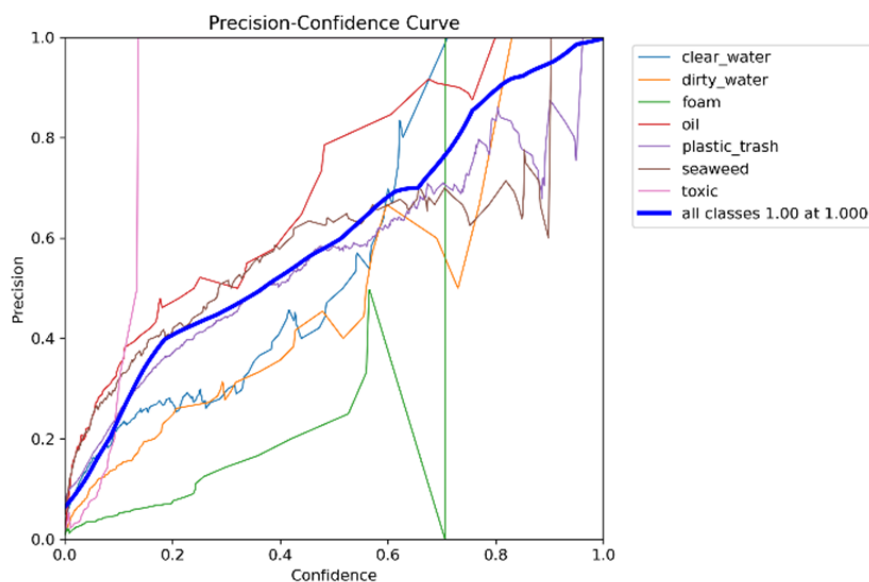


Рис. 2. График Precision–Confidence

Полнота как функция уверенности (Recall–Confidence) (рисунок 3). Эта диаграмма служит для оценки способности модели обнаруживать объекты в зависимости от порога confidence. Анализ этой зависимости позволяет определить минимальный допустимый уровень уверенности, ниже которого полнота модели становится неудовлетворительной.

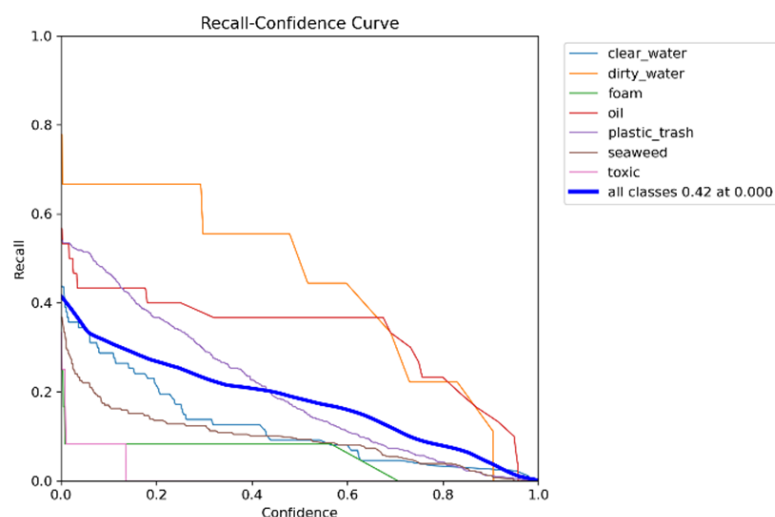


Рис. 3. График Recall–Confidence

F1-мера как функция уверенности (F1–Confidence). График F1–Confidence (рисунок 4) позволяет выделить порог, при котором достигается максимальная

согласованность между полнотой и точностью. Этот порог обычно рассматривается как оптимальный для операционного применения модели, когда необходимо одновременно минимизировать как ложноположительные, так и ложноотрицательные срабатывания.

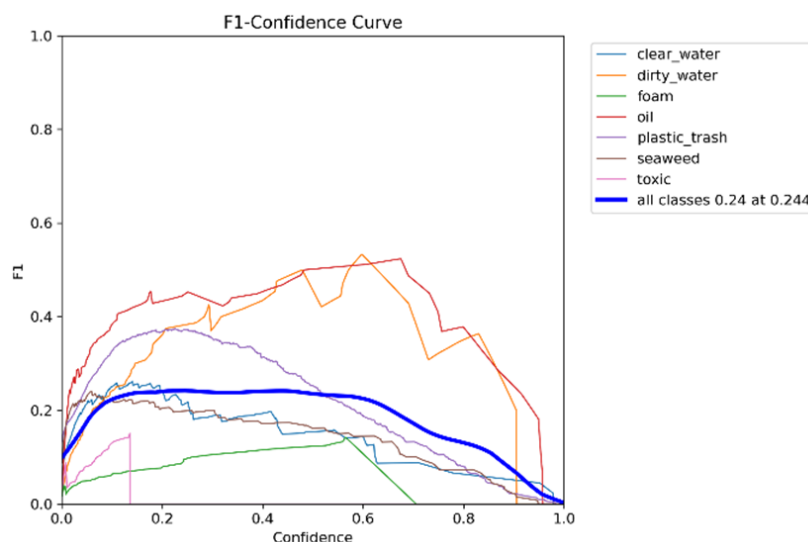


Рис. 4. График F1–Confidence

Precision–Recall Curve (рисунок 5). Данный график отражает фундаментальную взаимосвязь между точностью и полнотой, интегрируя поведение модели при различных порогах confidence в одну обобщающую диаграмму. По оси абсцисс отображается полнота, а по оси ординат – точность. Идеальной считается кривая, максимально приближённая к верхнему правому углу, где и точность, и полнота достигают высоких значений.

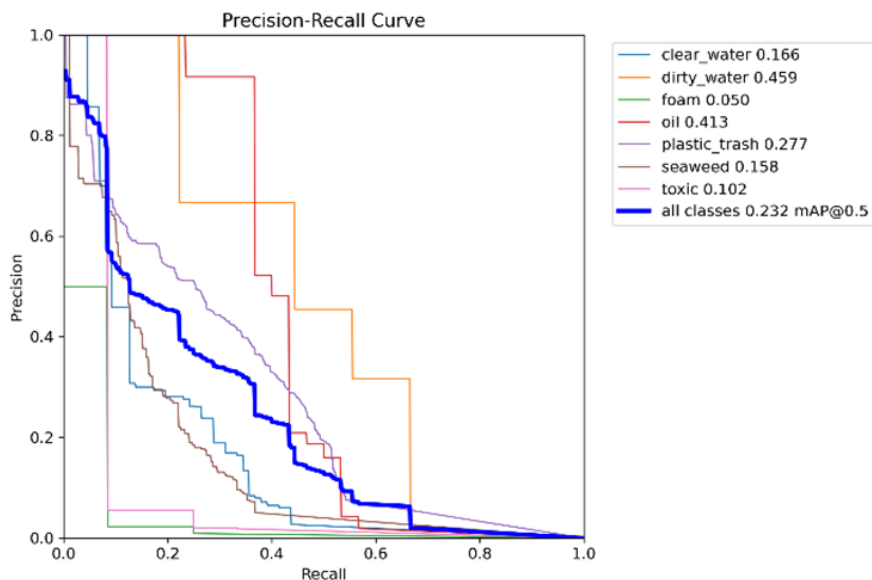


Рис. 5. График Precision–Recall Curve

Разработка интеллектуальных систем идентификации загрязнений поверхностных водных объектов не только повысит уровень безопасности, но и улучшит готовность организаций к чрезвычайным ситуациям, сокращая потенциальные угрозы для жизни и здоровья людей

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Загрязнение поверхностных водоемов, основные источники и загрязнители // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral» – №1 – 2019 – 12 с.
2. Джонс М. Т. Программирование искусственного интеллекта в приложениях / М. Тим Джонс; Пер. с англ. Осипов А. И. - М.: ДМК Пресс, 2004.-312 с : ил.
3. Кулакова, Е. С. Система проточного пробоотбора поверхностных водных объектов / Е. С. Кулакова, А. М. Сафаров // Экология и промышленность России. – 2022. – Т. 26, № 7. – С. 32-37. – DOI 10.18412/1816-0395-2022-7-32-37. – EDN OCCRCM.
4. Патент № 2782565 С1 Российская Федерация, МПК G01N 1/10. Система усредненного отбора пробы воды из контрольного створа для автоматизированного контроля качества поверхностных водотоков : № 2021135386 : заявл. 01.12.2021 : опубл. 31.10.2022 / А. М. Сафаров, Е. С. Кулакова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет". – EDN QSDZTI.
5. Курбатов, Э. В. Разработка автоматизированной системы управления узлом компримирования незаполимеризовавшегося винилхлорида / Э. В. Курбатов, Е. А. Муравьева // Актуальные проблемы и направления развития технологий органического и неорганического синтеза : Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции, Стерлитамак, 14–15 мая 2024 года. – Уфа: ООО «Информреклама», 2024. – С. 127-128. – EDN UKOYEA.
6. Муравьева, Е. А. Разработка нейронной сети для управления процессом пиролиза дихлорэтана с целью повышения эффективности процесса / Е. А. Муравьева, А. И. Николаева

// Системная инженерия и информационные технологии. – 2024. – Т. 6, № 4(19). – С. 69-76. – DOI 10.54708/2658-5014-SИТ-2024-no4-p69. – EDN BJQURV.

7. Муравьева, Е. А. Разработка НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЩЕЛОЧНОЙ ОТМЫВКИ ИЗОПЕНТАН- ИЗОПРЕН-ТОЛУОЛЬНОЙ ФРАКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА / Е. А. Муравьева, Р. В. Казанцев, Д. В. Подлесский // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2022. – № 2. – С. 120-137. – DOI 10.15593/2224-9400/2022.2.09. – EDN VBWNEW.

Вершинин А.А.

ИХТИ УГНТУ в г. Стерлитамак

К.т.н, доцент *Кулакова Е. С.*

ИХТИ УГНТУ в г. Стерлитамак

Vershinin A.A.

Ihti UGNTU in Sterlitamak

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС
ЗАЩИЩЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ С
АДАПТИВНЫМ ВЫБОРОМ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДОВ**

**INTELLIGENT PROGRAM COMPLEX FOR SECURE TRANSMISSION OF
MEDICAL DATA WITH ADAPTIVE SELECTION OF CRYPTOGRAPHIC
METHODS**

Аннотация: Предложен адаптивный подход к криптографической защите медицинских данных, при котором параметры шифрования (длина ключа, алгоритм, схема передачи) автоматически выбираются на основе классификации информации с помощью нейросетевой модели. Разработан программный комплекс, реализующий комбинированную схему шифрования (симметричное + асимметричное) с разделением данных на части и проверкой целостности через хеширование. Экспериментально подтверждено снижение времени обработки и объёма передаваемых данных без потери уровня защиты.

Abstract: An adaptive approach to the cryptographic protection of medical data is proposed, in which the encryption parameters (key length, algorithm, and transmission scheme) are automatically selected based on the classification of information using a neural network model. A software package has been developed that implements a combined encryption scheme (symmetric + asymmetric) with data partitioning and integrity verification through hashing. The reduction in processing time and the volume of transmitted data has been experimentally confirmed without compromising the level of protection.

Ключевые слова: медицинские данные, конфиденциальность, информационная безопасность.

Keywords: medical data, confidentiality, and information security.

Развитие медицинских информационных систем сопровождается увеличением объёма передаваемых данных. Обмен осуществляется как внутри медицинских организаций, так и между различными учреждениями и диагностическими центрами. Передаются электронные медицинские карты, результаты исследований и диагностические изображения, относящиеся к

персональным данным повышенной чувствительности. Для таких сведений необходимо обеспечение конфиденциальности, целостности и доступности в соответствии с базовыми моделями информационной безопасности [1].

Защита каналов связи на практике чаще всего реализуется с использованием стандартных криптографических протоколов с фиксированными параметрами. Одинаковые механизмы шифрования применяются ко всем типам данных независимо от их содержания и уровня конфиденциальности. Это приводит к увеличению вычислительной нагрузки и времени передачи, тогда как отдельные категории информации требуют более строгих мер защиты. Применение криптографических алгоритмов без учёта характеристик данных снижает общую эффективность системы [2].

В работе предлагается подход, при котором параметры криптографической защиты определяются автоматически на основе анализа передаваемой информации. Для этого разработан программный комплекс, выполняющий предварительную обработку медицинских данных и их классификацию. В основе классификации лежит использование нейросетевой модели, оценивающей характеристики файла, включая его формат, структуру и содержательные признаки. Применение методов машинного обучения позволяет формализовать процесс определения уровня конфиденциальности информации и уменьшить влияние человеческого фактора [3].

В зависимости от полученного уровня система выбирает параметры защиты, включая длину ключа и используемый криптографический алгоритм, что соответствует современным подходам к реализации криптографических механизмов защиты информации [4]. Передача выполняется по комбинированной схеме: основной объём информации шифруется симметричным методом, а ключ передаётся с использованием асимметричного алгоритма. После шифрования данные делятся на несколько частей, что затрудняет их восстановление при перехвате отдельных фрагментов. Проверка целостности выполняется посредством вычисления хеш-значения.

Программная реализация выполнена в виде настольного приложения, распространяемого в portable-версии и не требующего сложной настройки. Пользователь взаимодействует только с выбором файла и режимом работы, а все параметры защиты определяются автоматически, что уменьшает вероятность ошибок конфигурации.

Экспериментальное исследование проводилось на наборе текстовых медицинских документов и диагностических изображений. В результате было установлено, что адаптивный подход снижает время обработки и уменьшает объём передаваемых данных без ухудшения уровня защиты. Особенно заметен эффект при передаче больших диагностических файлов. Система использует ресурсоёмкие алгоритмы только для действительно конфиденциальной информации.

Полученные результаты показывают, что использование автоматизированной классификации медицинских данных позволяет рационально распределять криптографические ресурсы и повышает эффективность функционирования медицинских информационных систем. Предложенный подход может применяться при организации защищённого обмена медицинскими данными между учреждениями здравоохранения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Девянин П.Н. Модели безопасности компьютерных систем. Управление доступом и информационными потоками / П.Н. Девянин, 3-е. М.: Горячая Линия – Телеком, 2020. 352 с.
2. Menezes A. J., van Oorschot P. C., and Vanstone S. A. Handbook of Applied Cryptography. CRC Press, 1996. 816 p.
3. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. MIT Press, 2016.
4. Криптографические методы защиты информации: учебник и практикум для академического бакалавриата / И. Н. Васильева. – М.: Издательство Юрайт, 2016. – 349 с. – Серия : Бакалавр. Академический курс.
5. Патент № 2782565 С1 Российская Федерация, МПК G01N 1/10. Система усредненного отбора пробы воды из контрольного створа для автоматизированного контроля качества поверхностных водотоков : № 2021135386 : заявл. 01.12.2021 : опубл. 31.10.2022 / А. М. Сафаров, Е. С. Кулакова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет". – EDN QSDZTI.
6. Курбатов, Э. В. Разработка автоматизированной системы управления узлом компримирования незаполимеризовавшегося винилхлорида / Э. В. Курбатов, Е. А. Муравьева // Актуальные проблемы и направления развития технологий органического и

неорганического синтеза : Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции, Стерлитамак, 14–15 мая 2024 года. – Уфа: ООО «Информреклама», 2024. – С. 127-128. – EDN UKOYEA.

7. Муравьева, Е. А. Разработка нейронной сети для управления процессом пиролиза дихлорэтана с целью повышения эффективности процесса / Е. А. Муравьева, А. И. Николаева // Системная инженерия и информационные технологии. – 2024. – Т. 6, № 4(19). – С. 69-76. – DOI 10.54708/2658-5014-SИТ-2024-no4-p69. – EDN BJQURV.

8. Муравьева, Е. А. Разработка НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЩЕЛОЧНОЙ ОТМЫВКИ ИЗОПЕНТАН- ИЗОПРЕН-ТОЛУОЛЬНОЙ ФРАКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА / Е. А. Муравьева, Р. В. Казанцев, Д. В. Подлесский // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2022. – № 2. – С. 120-137. – DOI 10.15593/2224-9400/2022.2.09. – EDN VBWNEW.

Гарифуллин Р.Р.

ИХТИ УГНТУ в г. Стерлитамак

Профессор технических наук *Муравьева Е.А.*

Институт химической технологии и инжиниринга в г.Стерлитамаке

Garifullin R.R.

ИНТИ UGNTU in Sterlitamak

ЦИФРОВИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПОТОКОВ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

DIGITALIZATION AND AUTOMATION OF FLOW MEASUREMENT PROCESSES IN THE OIL AND GAS INDUSTRY

Аннотация: В работе рассматривается роль цифровизации и автоматизации в решении задачи точного измерения многофазных потоков в нефтегазовой отрасли. Проведён анализ существующих методов и устройств, выявлены их недостатки. Предложен подход, основанный на применении рентгеновского излучения и спектрометрического детектирования, обеспечивающий интеграцию измерительных систем в цифровые автоматизированные комплексы. Результаты работы направлены на повышение эффективности и безопасности производства.

Abstract: The paper discusses the role of digitalization and automation in solving the problem of accurate measurement of multiphase flows in the oil and gas industry. An analysis of existing methods and devices is conducted, and their shortcomings are identified. An approach based on the use of X-ray radiation and spectrometric detection is proposed, which ensures the integration of measurement systems into digital automated complexes. The results of the work are aimed at improving the efficiency and safety of production.

Ключевые слова: цифровизация, автоматизация, расходомер, рентгеновское излучение, нефтегазовая отрасль.

Keywords: digitalization, automation, flowmeter, X-ray, oil and gas industry.

Цифровизация и автоматизация охватывают все сферы современного общества – от повседневной жизни до высокотехнологичных производств. В промышленности внедрение цифровых технологий позволяет создавать автоматизированные системы управления, обеспечивающие высокую эффективность, надёжность и безопасность. Нефтегазовая отрасль, являющаяся одной из ключевых в экономике России, остро нуждается в цифровой

трансформации процессов учёта и контроля, особенно при измерении сложных многофазных сред – смесей нефти, газа, воды и твёрдых частиц.

Многофазные расходомеры предназначены для отдельного измерения расхода каждой фазы. Основные назначения: контроль расхода многокомпонентных смесей, учёт нефти и газа, мониторинг процессов в химической и фармацевтической промышленности, оптимизация технологических процессов. Однако анализ существующих методов и устройств выявил ряд проблем:

- ни одно из представленных на рынке устройств, включая изделия на основе гамма-интроскопии, не способно в полной мере реконструировать быстро протекающий в трубе поток;
- использование радиоактивных источников влечёт сложности при транспортировке, эксплуатации и утилизации, требует дополнительных мероприятий по радиационной безопасности;
- существующие устройства имеют ограниченные возможности интеграции в цифровые автоматизированные системы управления.

Проведён обзор научной литературы, посвящённой применению радиационных методов в многофазной расходомерии. В ряде публикаций рассматривается использование рентгеновских расходомеров для контроля расхода и плотности многокомпонентных потоков. Результаты экспериментов подтверждают, что с помощью таких устройств можно точно оценивать фазовый состав в реальном времени. Другие работы показывают эффективность гамма-лучевых расходомеров для измерения расхода в сложных эмульсиях, однако отмечают погрешности, связанные с изменчивостью состава потока и характеристиками излучения. Обзор подтверждает, что радиационные методы остаются надёжным бесконтактным способом измерения, но требуют дальнейшего совершенствования в направлении цифровизации и повышения безопасности.

Перспективным путём решения выявленных проблем является применение рентгеновского излучения с возможностью спектрометрического

детектирования. В отличие от гамма-систем с постоянно активными источниками, рентгеновские установки генерируют излучение только в момент измерения, что упрощает требования к безопасности, транспортировке и хранению. Использование спектрометра позволяет определять коэффициенты поглощения излучения для каждой фазы, что даёт возможность отдельно измерять расход газа, жидкости и твёрдой фазы, а также в реальном времени оценивать физико-химический состав смеси (солёность воды, плотность углеводородов). Такой подход полностью соответствует принципам цифровизации и автоматизации: создаётся «интеллектуальный» датчик со встроенной обработкой данных и цифровыми интерфейсами.

В рамках НИР разрабатывается прототип многофазного расходомера, реализующий данные принципы. Устройство включает рентгеновскую трубку, спектрометр, матрицу детекторов и бортовой компьютер на базе модуля Xilinx *ricozed* под управлением Linux. Бортовой компьютер выполняет первичную обработку информации с детекторов, датчиков давления и температуры, управляет рентгеновским аппаратом по цифровому протоколу RS-232, обеспечивает связь с внешним компьютером оператора по Ethernet. Все узлы выполнены во взрывозащищённом исполнении, что позволяет использовать прибор в условиях нефтегазовых объектов. Разработана печатная плата управления рентгеновской системой, включающая высоковольтный инвертор, микроконтроллер, драйверы накала катода и системы контроля температуры и давления.

Заключение. Цифровизация и автоматизация являются ключевыми факторами повышения эффективности нефтегазового производства. Применение современных методов измерения многофазных потоков на основе рентгеновского излучения с возможностью спектрометрического детектирования позволяет не только решить проблемы, присущие традиционным гамма-расходомерам, но и создать измерительные системы, полностью интегрированные в цифровую среду предприятия. Разработанный прототип демонстрирует возможности автоматизации измерений, цифровой обработки

сигналов и удалённого управления. Полученные результаты могут быть использованы для создания промышленного образца устройства, обеспечивающего повышение точности, безопасности и эффективности мониторинга сложных потоков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов А.П., Петров В.К. Применение рентгеновских расходомеров для контроля многокомпонентных потоков в магистральных трубопроводах // Измерительная техника. – 2023. – № 4. – С. 24–29.
2. Смирнов Д.Ю. Многофазная расходометрия: принципы работы и опыт применения технологии Vx // Нефтегазовое дело. – 2022. – Т. 18, № 3. – С. 56–62.
3. Коваленко И.С., Морозов А.Н. Эффективность гамма-лучевых расходомеров для измерения расхода в сложных эмульсиях // Приборы и системы управления. – 2023. – № 1. – С. 42–48.
4. Лебедев С.В. Измерения расхода фаз многофазного газожидкостного потока гамма-лучевыми расходомерами // Автоматизация и ИТ в энергетике. – 2022. – № 5. – С. 33–39.
5. Петренко, В. Г. Автоматизация производственных процессов: от теории к практике. – СПб.: Издательство Речь, 2019. – 184 с.
6. Патент № 2782565 С1 Российская Федерация, МПК G01N 1/10. Система усредненного отбора пробы воды из контрольного створа для автоматизированного контроля качества поверхностных водотоков : № 2021135386 : заявл. 01.12.2021 : опубл. 31.10.2022 / А. М. Сафаров, Е. С. Кулакова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет". – EDN QSDZTI.
7. Курбатов, Э. В. Разработка автоматизированной системы управления узлом компримирования незаполимеризовавшегося винилхлорида / Э. В. Курбатов, Е. А. Муравьева // Актуальные проблемы и направления развития технологий органического и неорганического синтеза : Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции, Стерлитамак, 14–15 мая 2024 года. – Уфа: ООО «Информреклама», 2024. – С. 127-128. – EDN UKOUEA.
8. Муравьева, Е. А. Разработка нейронной сети для управления процессом пиролиза дихлорэтана с целью повышения эффективности процесса / Е. А. Муравьева, А. И. Николаева // Системная инженерия и информационные технологии. – 2024. – Т. 6, № 4(19). – С. 69-76. – DOI 10.54708/2658-5014-SIIT-2024-no4-p69. – EDN BJQURV.
9. Муравьева, Е. А. Разработка НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЩЕЛОЧНОЙ ОТМЫВКИ ИЗОПЕНТАН- ИЗОПРЕН-ТОЛУОЛЬНОЙ ФРАКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА / Е. А. Муравьева, Р. В. Казанцев, Д. В. Подлесский // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2022. – № 2. – С. 120-137. – DOI 10.15593/2224-9400/2022.2.09. – EDN VBWNEW.

Кириллова Е.П.

Институт химической технологии и инжиниринга в г.Стерлитамаке

Профессор технических наук *Муравьева Е.А.*

Институт химической технологии и инжиниринга в г.Стерлитамаке

Kirillova E.P.

Institute of Chemical Technology and Engineering in Sterlitamak

**ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ
ПРОЦЕССОМ ВАКУУМНОЙ РЕКТИФИКАЦИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ
АГИДОЛА-1**

**APPLICATION OF NEURAL NETWORK METHODS FOR
CONTROLLING THE VACUUM RECTIFICATION PROCESS IN THE
PRODUCTION OF AGIDOL-1**

Аннотация: Современные подходы к управлению химико-технологическими процессами требуют переосмысления на фоне возрастающей сложности производственных объектов, нелинейности протекающих явлений и динамической изменчивости внешних и внутренних условий функционирования. Особенно остро эта необходимость проявляется при управлении стадией вакуумной ректификации в производстве агидола-1, где качество разделения и стабильность режимных параметров оказывают критическое влияние на выход целевого продукта и его соответствие нормативам.

Abstract: Modern approaches to the management of chemical and technological processes require rethinking against the background of increasing complexity of production facilities, nonlinearity of the occurring phenomena and dynamic variability of external and internal conditions of functioning. This necessity is especially acute when managing the stage of vacuum rectification in the production of agidol-1, where the quality of separation and the stability of the mode parameters have a critical impact on the yield of the target product and its compliance with the standards.

Ключевые слова: Нейросетевые методы, вакуумная ректификация, Агидол-1, MATLAB, Python.

Keywords: Neural network methods, vacuum rectification, Agidol-1, MATLAB, Python.

Классические методы автоматического регулирования, основанные на линейных моделях объекта, не обеспечивают требуемого уровня точности и адаптивности в условиях высокой чувствительности процесса к флуктуациям давления, температуры, состава сырья и тепловых нагрузок. Кроме того, характерные для рассматриваемой стадии запаздывания, многомерность

входных и выходных сигналов затрудняют построение адекватных аналитических моделей, пригодных для практического использования в системах управления.

В этих условиях особую актуальность приобретает применение нейросетевых методов, способных моделировать сложные функциональные зависимости без предварительного предположения об их аналитической форме. Цель применения нейросетевых методов управления формулируется как разработка и верификация интеллектуального алгоритма, обеспечивающего оптимизацию режима ректификации в реальном времени с учётом технологических ограничений, внешних возмущений и запаздывающего характера обратных связей.

Рассмотрим сравнительный анализ точности прогнозирования нейросетевых моделей, реализованных и обученных в двух наиболее распространённых программных средах — MATLAB и Python, для задачи управления процессом вакуумной ректификации при производстве Агидола-1. Основная цель анализа — оценка воспроизводимости и качества предсказаний при идентичных условиях моделирования.

Обе нейросетевые модели построены на основе многослойной сети прямого распространения ошибки с обратным распространением (Feed-forwardbackpropagation). Архитектура предусматривает одинаковое количество нейронов в скрытом слое, рассмотренное в трёх вариантах: 18, 30 и 40 нейронов. Обучение моделей проводилось на одном и том же наборе технологических данных, что исключает влияние различий в исходной выборке на точность прогнозов.

Для оценки обобщающей способности нейросетей использовался независимый тестовый набор данных, не входящий в обучающую выборку. Это обеспечивает объективную проверку способности модели воспроизводить скрытые зависимости, заложенные в обучающих данных. В качестве входных параметров использованы:

1. Давление в колонне (P), МПа;

2. Температура в зоне контактных устройств (Т), °С;
3. Молярное соотношение компонентов сырья (H_2/Cl_2), моль/моль;
4. Объёмный расход подаваемой смеси (Q), м³/ч.

Целевым (выходным) параметром является концентрация целевого продукта — Агидола-1, отражающая эффективность процесса вакуумной ректификации. Точность прогнозирования оценивалась путем сравнения предсказанных значений с теоретическими данными. В таблице представлены результаты моделирования, отражающие степень соответствия прогнозируемых и фактических концентраций агидола-1 для каждой из сред (MATLAB и Python).

Таблица 1

Сравнение выходных значений нейросети, обученной в MATLAB и Python

Температура (Т, °С)	Давление (Р, МПа)	Соотношение H_2/Cl_2 (моль/моль)	Расход (Q, м ³ /ч)	Теоретическая концентрация (С, %)	Предсказание MATLAB (С, %)	Предсказание Python (С, %)
50	1.5	1.1	20	85	85.0001	85.0002
55	1.7	1.4	25	90	90.0002	90.0001
60	2.0	1.7	30	95	95.0003	95.0002
65	2.2	2.0	35	100	100.0001	100.0003
70	2.5	2.4	40	105	105.0002	105.0001
75	2.7	2.8	45	110	110.0003	110.0002
80	3.0	3.2	50	115	115.0001	115.0003
85	3.2	3.5	55	120	120.0002	120.0001
90	3.5	4.0	60	125	125.0003	125.0002
95	3.7	4.4	65	130	130.0001	130.0003

Результаты моделирования, полученные с использованием нейросетевых моделей в средах MATLAB и Python, демонстрируют высокую точность прогнозирования концентрации Агидола-1. Отклонения от теоретических значений составляют доли тысячных процента, что свидетельствует о корректном формировании выборки, адекватной архитектуре моделей и эффективном процессе обучения.

Особое внимание стоит уделить малым расхождениям между результатами, полученными в двух средах — они не превышают ± 0.0002 , что

подтверждает эквивалентность математических реализаций алгоритмов обучения нейросетей и высокую сходимость вычислительных процедур.

Тем не менее, при детальном анализе можно отметить, что модель в MATLAB демонстрирует более сглаженные и устойчивые прогнозы, близкие к среднеарифметическим теоретическим данным. Это объясняется особенностями работы NeuralNetworkToolbox, включая предварительную нормализацию данных и адаптивное управление скоростью обучения, что снижает вероятность застревания в локальных минимумах.

В то же время реализация в Python с использованием TensorFlow и Keras обеспечивает большую гибкость — возможность тонкой настройки архитектуры, функций потерь, алгоритмов оптимизации и контроля числа эпох обучения. Наличие мощных средств визуализации и логирования (TensorBoard, Matplotlib) облегчает анализ и отладку модели.

Также стоит отметить, что при использовании GPU ускорения обучение в Python проходит заметно быстрее, что особенно важно при частых экспериментах и масштабировании моделей.

Обе модели показали высокую точность предсказаний, однако различия в скорости обучения, удобстве визуализации и гибкости настройки позволили выработать рекомендации по выбору программной среды в зависимости от требований и условий эксплуатации.

Разработанная нейросетевая модель может быть интегрирована в автоматизированные системы управления технологическими процессами на предприятиях химической промышленности, что позволит повысить надёжность, безопасность и экономическую эффективность производства Агидола-1, сократить отклонения параметров процесса и минимизировать риски аварийных ситуаций. Полученные результаты могут найти применение как в научных исследованиях, так и в практических разработках и оптимизации промышленных систем управления вакуумной ректификацией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. В двух книгах. - М.: Химия, 1981 – 812 с., ил. – (серия «Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии»).
2. Втюрин В.А. Автоматизированные системы управления технологическими процессами: Основы АСУ ТП: Учеб.пособие. 2016.
3. Коваленко Ю. Ф. Достижения в области искусственного интеллекта и автоматизации / Ю. Ф. Коваленко, Е. А. Шулаева // Актуальные проблемы и направления развития технологий органического и неорганического синтеза: Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции, Стерлитамак, 14–15 мая 2024 года. – Стерлитамак: ООО «Информреклама», 2024. – С. 295-297.
4. Втюрин В.А. Автоматизированные системы управления технологическими процессами: Основы АСУ ТП: Учеб.пособие. 2016.
5. Слетнев М. С. Усовершенствованное управление (APC) нефтехимическим производством на основе многоуровневой нейросетевой системы поддержки принятия решений / М. С. Слетнев, А. П. Веревкин // Интеллектуальный потенциал XXI века: ступени познания. – 2012. – № 13. – С. 81-84.
6. Муравьева Е. А. Основные методы построения систем усовершенствованного управления технологическим процессом / Е. А. Муравьева, Д. И. Гилязов // Актуальные проблемы и направления развития технологий органического и неорганического синтеза в условиях импортозамещения : Сборник трудов III Международной научно-практической конференции, Стерлитамак, 18–19 мая 2023 года. Том Часть 1. – Стерлитамак: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2023. – С. 404-406. – EDN QJOLHL.
7. Matlab Neural Network Toolbox™ User's Guide. — The MathWorks, Inc., 2023. — [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mathworks.com/help/deeplearning>
8. Койков Т. И. Python в разработке нейронных сетей / Т. И. Койков, Д. Д. Зелени, А. А. Холодильников // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2023. – Т. 2. – С. 378-382. – EDN SSENPA.
9. Патент № 2782565 С1 Российская Федерация, МПК G01N 1/10. Система усредненного отбора пробы воды из контрольного створа для автоматизированного контроля качества поверхностных водотоков : № 2021135386 : заявл. 01.12.2021 : опубл. 31.10.2022 / А. М. Сафаров, Е. С. Кулакова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет". – EDN QSDZTI.
10. Курбатов, Э. В. Разработка автоматизированной системы управления узлом компримирования незаполимеризовавшегося винилхлорида / Э. В. Курбатов, Е. А. Муравьева // Актуальные проблемы и направления развития технологий органического и неорганического синтеза : Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции, Стерлитамак, 14–15 мая 2024 года. – Уфа: ООО «Информреклама», 2024. – С. 127-128. – EDN UKOYEA.
11. Муравьева, Е. А. Разработка нейронной сети для управления процессом пиролиза дихлорэтана с целью повышения эффективности процесса / Е. А. Муравьева, А. И. Николаева // Системная инженерия и информационные технологии. – 2024. – Т. 6, № 4(19). – С. 69-76. – DOI 10.54708/2658-5014-SIPT-2024-no4-p69. – EDN BJQURV.
12. Муравьева, Е. А. Разработка НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЩЕЛОЧНОЙ ОТМЫВКИ ИЗОПЕНТАН- ИЗОПРЕН-ТОЛУОЛЬНОЙ ФРАКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА / Е. А. Муравьева, Р. В. Казанцев, Д. В. Подлесский // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2022. – № 2. – С. 120-137. – DOI 10.15593/2224-9400/2022.2.09. – EDN VBWNEW.

Рахматов Шахбоз Шухрат угли

Уфимский государственный нефтяной технический университет, г.Стерлитамак

Доцент кафедры АТИС *Коваленко Ю.Ф.*

Уфимский государственный нефтяной технический университет, г.Стерлитамак

Rakhmatov Shakhboz Shukhrat ugli

Ufa State Petroleum Technological University, Sterlitamak

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА СЫРЬЯ НА ПРИМЕРЕ УСТАНОВКИ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ

AUTOMATION OF RAW MATERIAL QUALITY DETERMINATION USING THE EXAMPLE OF A PRIMARY OIL REFINERY UNIT

Аннотация: В последние годы в сфере разработки нефтяных месторождений наблюдаются значительные изменения, которые в первую очередь обусловлены истощением запасов и увеличением обводненности добываемой нефти. Эти процессы требуют от компаний более тщательного подхода к технологиям извлечения и переработки углеводородов.

Abstract: In recent years, there have been significant changes in the development of oil fields, primarily due to the depletion of reserves and the increasing water content of extracted oil. These processes require companies to take a more thorough approach to the extraction and processing of hydrocarbons.

Ключевые слова: нефтяные месторождения, добыча нефти, качество сырья, первичная переработка.

Keywords: oil fields, oil production, raw material quality, and primary processing.

В последние годы в сфере разработки нефтяных месторождений наблюдаются значительные изменения, которые в первую очередь обусловлены истощением запасов и увеличением обводненности добываемой нефти. Эти процессы требуют от компаний более тщательного подхода к технологиям извлечения и переработки углеводородов. Истощение месторождений приводит к снижению их продуктивности, что, в свою очередь, вынуждает нефтяные компании искать новые способы увеличения выхода нефти, включая применение методов вторичного и третичного извлечения. Кроме того, увеличение обводненности нефти создает дополнительные сложности в процессе переработки. Обводненная нефть требует более сложной и дорогостоящей

обработки, что может увеличивать затраты на переработку и снижать экономическую эффективность. Это также может отразиться на качестве конечного продукта, что является важным фактором для потребителей и рынка в целом. В результате, проблема стабильности поставок нефти на перерабатывающие заводы становится все более актуальной. Нефтяные компании должны адаптироваться к новым условиям, внедряя инновационные технологии и улучшая процессы управления ресурсами. Важно также отметить, что изменения в климате и экологические требования могут повлиять на способы разработки месторождений, что добавляет еще один уровень сложности к уже существующим вызовам. Таким образом, в ближайшие годы перед нефтяной отраслью встанут задачи не только по повышению эффективности добычи, но и по обеспечению устойчивости поставок, что потребует комплексного подхода и активного внедрения новых технологий.

Анализ существующей литературы однозначно указывает на то, что ключевые резервы повышения эффективности в нефтегазовом комплексе, охватывающем добычу, транспортировку и переработку нефти, сосредоточены в области совершенствования методов управления, особенно в оперативном управлении, ориентированном на показатели качества (ПК) и технико-экономические показатели (ТЭП). Это подтверждается многочисленными исследованиями, которые подчеркивают необходимость перехода к более продвинутым стратегиям управления технологическими процессами. [10-12] Одна из главных проблем нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) – это неустойчивость характеристик поступающего сырья. Состав нефти, включая фракционный и химический состав, содержание воды, солей и механических примесей, может значительно варьироваться в зависимости от месторождения, времени года и даже партии поставки. Это вынуждает операторов постоянно корректировать режимные параметры технологических установок, чтобы обеспечить соответствие получаемой продукции установленным нормативам качества. Ситуация осложняется всё более распространённой практикой переработки нефти «с колес», когда сырье поступает непосредственно на НПЗ

без предварительного длительного хранения и анализа. В этом случае заводы работают с сырьем, представляющим собой сложные смеси нефтей из разных месторождений с существенно отличающимися физико-химическими свойствами. [5, 6] Непредсказуемость состава сырья значительно затрудняет управление технологическим процессом и снижает эффективность производства. Несмотря на обширные исследования свойств нефти из отдельных месторождений, многие аспекты управления технологическими процессами переработки остаются недостаточно изученными. Использование смесей нефти многократно усугубляет эту проблему, создавая сложную нелинейную динамику системы. [1] Хотя существуют разработки по улучшению настройки и адаптации регуляторов для технологических процессов, они зачастую не учитывают проблему изменяющегося состава сырья, что ограничивает их эффективность. [13, 14] Проблема усугубляется еще и тем, что нефть из разных месторождений может содержать различные концентрации серы, парафинов, асфальтенов и других компонентов, которые влияют на выход и качество целевых продуктов (бензин, дизельное топливо, мазут и др.). Это приводит к необходимости постоянной корректировки технологических параметров, что требует значительных ресурсов и может приводить к снижению производительности и повышению издержек. В связи с этим, разработка интегрированной системы усовершенствованного управления, сочетающей использование математических моделей технологических процессов, адаптивных алгоритмов регулирования и систем прогнозирования состава сырья, является актуальной задачей. Такая система должна учитывать не только текущие значения параметров, но и предсказывать будущие изменения состава сырья на основе анализа данных о поступающей нефти. Современные методы анализа данных, такие как машинное обучение и нейронные сети, могут сыграть здесь ключевую роль. Применение этих методов позволяет создавать более точные модели, которые учитывают сложные нелинейные взаимосвязи между составом сырья и параметрами технологического процесса. Более того, интеграция системы в единую платформу мониторинга и управления позволит оптимизировать работу всего

нефтеперерабатывающего комплекса, включая оптимизацию режимов работы отдельных установок, минимизацию потерь и повышение выхода целевых продуктов. [2-4] Это требует разработки комплексных решений, включающих в себя:

- Разработку усовершенствованных математических моделей. Модели должны точно отражать динамику технологических процессов при изменении состава сырья, учитывая взаимодействие различных компонентов нефти и их влияние на качество конечных продуктов. Для повышения точности моделей можно использовать данные, полученные с помощью современных аналитических приборов, таких как газовые хроматографы, масс-спектрометры и др.

- Применение адаптивных алгоритмов управления. Необходимо разработать алгоритмы, способные автоматически настраиваться под изменяющиеся условия, быстро реагировать на изменения состава сырья и корректировать режимные параметры для поддержания заданного качества продукции. Алгоритмы должны быть устойчивы к шумам и погрешностям в измерениях.

- Разработку системы прогнозирования состава сырья. Система должна предсказывать будущие изменения состава сырья на основе анализа данных о предыдущих поставках, данных о месторождениях, а также данных с датчиков, установленных на трубопроводах и в хранилищах нефти.

- Интеграцию с системами мониторинга и управления. Все компоненты системы должны быть интегрированы в единую платформу, позволяющую операторам получать информацию в режиме реального времени, мониторить состояние технологического процесса и управлять им эффективно. [7-9]

Реализация таких комплексных решений позволит значительно повысить эффективность нефтеперерабатывающих производств, снизить издержки, улучшить качество продукции и минимизировать воздействие на окружающую среду. Это требует междисциплинарного подхода, объединяющего усилия

специалистов в области химии, нефтепереработки, автоматизации, информационных технологий и математического моделирования. Внедрение подобных систем – это инвестиции в будущее нефтегазовой отрасли, которые принесут значительную отдачу в долгосрочной перспективе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сорокин А.В.* Исследование процесса изменчивости физико-химических свойств пластовой нефти при разработке месторождений Западной Сибири // А.В. Сорокин, В.Д. Сорокин. – 2004. – С. 237.
2. *Титов В.И.* Изменение состава пластовых нефтей при разработке месторождений (Обзор) / В.И. Титов, С.А. Жданов // Нефтяное хозяйство – 1988. – № 8. – С.26–28.
3. *Сургучев М.Л.* Факторы, влияющие на состояние остаточной нефти в заводненных пластах // Нефтяное хозяйство. – 1988. – № 9. – С.31–36.
4. *Шейх-Али Д.М.* Изменение газового фактора и содержания азота и метана в газе в процессе разработки Туймазинского месторождения // Современные инструментальные физико-химические и гидродинамические методы исследований пластовых флюидов, пород и продуктивных пластов. – 1999. – Вып.97. – С.104–107.
5. *Шейх-Али Д.М.* Изменение свойств нефти и газового фактора при разработке нефтяных месторождений // Интервал.-). – 2003. – С.30–35.
6. *Сорокин А.В.* Зонально-временное изменение свойств нефтей Северо-Харампурского и Южно-Харампурского месторождений // Основные направления научно-исследовательских работ в нефтяной промышленности Западной Сибири. – 1998. – С.172–179.
7. *Веревкин А.П., Ельцов И.Д., Кирюшин О.В.* К решению задачи оперативного управления процессами подготовки нефти // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета, – 2007. – Т. 9. – № 4. – С. 64–67.
8. *Веревкин А.П.* Проблемы повышения эффективности управления процессами добычи и переработки нефти и газа // Территория Нефтегаз, – 2009. – № 5. – С. 12–15.
9. *Веревкин А.П.* Автоматическое управление технологическими процессами нефтепереработки по показателям качества продуктов. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук // – Уфа, – 1999 – С. 68.
10. *Сорокин А.В.* Изменение свойств газонасыщенных нефтей в процессе разработки залежей // Основные направления научно-исследовательских работ в нефтяной промышленности Западной Сибири. – 2001. – С.83–89.
11. *Сорокин В.Д.* Анализ изменений физико-химических свойств нефти в процессе разработки месторождений Западной Сибири / В.Д. Сорокин, А.В. Сорокин // Основные направления научно-исследовательских работ в нефтяной промышленности Западной Сибири. – 2003. – С.132–142.
12. *Веревкин А.П.* Оперативное управление технологическими процессами подготовки нефти по технико-экономическим показателям // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2006. – № 3. – С. 48–53.
13. *Веревкин А.П.* Оперативное управление технологическими процессами подготовки нефти по технико-экономическим показателям. // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2006. – № 3. – С. 48 – 53.
14. *Штейнберг Ш.Е.* Настройка и адаптация автоматических регуляторов. Инструментальный комплект программ. // Промышленные АСУ и Контроллеры. – 2003. – № 10. – С. 10.
15. Патент № 2782565 С1 Российская Федерация, МПК G01N 1/10. Система усредненного отбора пробы воды из контрольного створа для автоматизированного контроля качества

поверхностных водотоков : № 2021135386 : заявл. 01.12.2021 : опубл. 31.10.2022 / А. М. Сафаров, Е. С. Кулакова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет". – EDN QSDZTI.

16. Курбатов, Э. В. Разработка автоматизированной системы управления узлом компримирования незаполимеризовавшегося винилхлорида / Э. В. Курбатов, Е. А. Муравьева // Актуальные проблемы и направления развития технологий органического и неорганического синтеза : Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции, Стерлитамак, 14–15 мая 2024 года. – Уфа: ООО «Информреклама», 2024. – С. 127-128. – EDN UKOYEA.

17. Муравьева, Е. А. Разработка нейронной сети для управления процессом пиролиза дихлорэтана с целью повышения эффективности процесса / Е. А. Муравьева, А. И. Николаева // Системная инженерия и информационные технологии. – 2024. – Т. 6, № 4(19). – С. 69-76. – DOI 10.54708/2658-5014-SИТ-2024-no4-p69. – EDN BJQURV.

18. Муравьева, Е. А. Разработка НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЩЕЛОЧНОЙ ОТМЫВКИ ИЗОПЕНТАН- ИЗОПРЕН-ТОЛУОЛЬНОЙ ФРАКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА / Е. А. Муравьева, Р. В. Казанцев, Д. В. Подлесский // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2022. – № 2. – С. 120-137. – DOI 10.15593/2224-9400/2022.2.09. – EDN VBWNEW.

Свайди А.Т

Уфимский Государственный Нефтяной Технический Университет

Канд. техн. наук *Муравьева Е.А*

Уфимский Государственный Нефтяной Технический Университет

Swayedi A.T

Ufa State Petroleum Technical University

НЕЙРОСЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ ВОДОНЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ НА ОСНОВЕ НЕПОЛНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

NEURAL NETWORK MODELING OF THE SEPARATION PROCESS OF OIL-WATER EMULSION BASED ON INCOMPLETE EXPERIMENTAL DATA

Аннотация. Рассмотрен практический опыт синтеза модели технологического процесса разделения водонефтяной эмульсии. В современной литературе процесс не имеет точного аналитического описания, а его параметры нелинейно зависят друг от друга. Источником данных для модели послужила серия лабораторных экспериментов, проведенных с использованием аттестованных методик исследования нефти. Получившиеся таблицы имеют пропуски из-за нерегулярного шага значений параметров. Для моделирования нелинейного процесса использовался метод Левенберга – Марквардта для обучения нейронной сети. Проведен анализ, определивший критерии качества модели. Для автоматизации процесса моделирования использовался программный комплекс MATLAB, а также модуль Neural Network Toolbox. Обучение нейронной сети на исходном массиве данных показало, что вследствие наличия пропусков значений параметров и малого размера обучающей выборки не представляется возможным получение адекватной нейросетевой модели без предварительной подготовки данных

Abstract. The practical experience of synthesis of the model for the water-oil emulsion separation process is considered. In modern literature, the process does not have an accurate analytical description, and its parameters are nonlinearly depend on each other. The source of the data for the model is a series of laboratory experiments conducted using certified oil test methods. The resulting tables have gaps due to an irregular step in the values of the parameters. To simulate a nonlinear process, the Levenberg-Marquardt method was used to train the neural network. An analysis was made that determined the quality criteria for the model. To automate the modeling process, the MATLAB software complex was used, as well as the Neural Network Toolbox. The training of the neural network on the original data set showed that, due to missing parameter values and a small training sample size, it is not possible to obtain an adequate neural network model without preliminary data preparation.

Ключевые слова: нейронная сеть, моделирование, эмульсия, обезвоживание нефти.

Keywords: neural network, modeling, emulsion, oil dehydration.

При добыче нефти важной задачей является отделение воды с растворенными в ней солями с целью предотвращения коррозии технологического оборудования и снижения расхода энергии на транспортировку балластной жидкости.

Для обезвоживания водонефтяной эмульсии к ней подмешивают и равномерно распределяют по всему объему химический реагент – деэмульгатор, который представляет собой поверхностно-активное вещество. Процесс протекает за счет уменьшения силы поверхностного натяжения капель воды, находящихся в нефти, благодаря чему капли воды объединяются и оседают на дно, образуя сплошной слой. За время процесса не происходит химических реакций, то есть не происходит изменения молекулярной структуры веществ.

Химический состав нефти и пластовой воды, а также наличие в них механических примесей обусловлены геологическими факторами различных географических регионов. Реологические свойства (вязкость, текучесть) и эмульгирующие способности различаются в зависимости от места добычи.

Современные системы управления процессом обезвоживания не учитывают весь комплекс факторов, влияющих на скорость отделения воды от нефти [1–3]. Создание автоматизированной системы, предсказывающей состояние процесса на основании эталонной модели, могло бы повысить качество управления таким многопараметрическим процессом, как разделение водонефтяной эмульсии [4, 5].

1. Постановка задачи

Необходимо построить модель процесса разделения водонефтяной эмульсии, идентифицировать управляющие параметры и определить управляемую величину. Модель должна быть пригодна для работы в широком диапазоне параметров с достаточной для выполнения анализа и прогнозирования точностью [6, 7]. Также необходимо определить критерии, по которым будет оцениваться качество модели

Таблица 1

Результаты теплехимического обезвоживания нефти
(обводненность 19,8 % об., $t = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Наименование реагента	Расход реагента (Q)		Содержание воды в нефти (W_2), % об., после отстаивания за время (T), мин					Отделилось воды (E), %, за время отстаивания (T), мин				
	г/м ³ жидк.	г/т нефти	15	30	60	90	120	15	30	60	90	120
Без реагента	0	0	0	0	0	0	0	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8
ДЭ-1	15	21	0	2,5	5,0	7,6	10,1	19,8	19,4	19,0	18,5	18,1
	30	42	0	5,2	10,4	15,6	20,8	19,8	19,0	18,1	17,4	16,3
	60	84	2,5	12,6	27,8	35,4	40,4	19,4	17,7	15,1	13,8	12,8
ДЭ-2	15	21	10,4	23,4	39,1	44,3	49,5	18,1	15,9	13,1	12,1	11,1
	30	42	36,8	52,6	65,8	71,7	73,7	13,5	10,5	7,8	6,7	6,1
	60	84	67,7	88,5	88,5	9,1	91,1	7,4	4,0	2,8	2,3	2,3

Для построения модели процесса термехимического обезвоживания взяты отчеты лабораторных исследований нефтей различных месторождений [8]. Источником данных послужил отчет об исследовании качества разделения водонефтяной эмульсии при воздействии деэмульгаторов ДЭ-1 и ДЭ-2. Эксперимент проводился с нерегулярным шагом по входным параметрам. Данные представлены в табличном виде с группировкой относительно различных значений действующих параметров. Данные для температуры нагрева $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ представлены

В табл. 1. Значение параметра E рассчитывается по формуле

$$E = \frac{W_1 - W_2}{W_1},$$

где:

W_1 – исходная обводненность;

W_2 – обводненность после эксперимента.

Полнота таблицы экспериментальных данных является определяющим фактором при проведении анализа. Пропуск или недостоверность значений параметров могут привести к искажению результата процесса моделирования [9].

Наибольшую эффективность обезвоживания в представленной серии экспериментов показал деэмульгатор под обозначением ДЭ-2. Его показатели качества обезвоживания и рассмотрены в качестве источника данных.

2. Управляющие параметры

Действующие параметры – температура подогрева эмульсии, количество введенного деэмульгатора в пересчете на массовый эквивалент смеси (расход в граммах на тонну), а также время отстаивания.

Моделирование производится при условии, что эмульсия имеет вид «вода в нефти» (эмульсия второго рода) и процесс разделения водонефтяной эмульсии происходит однообразно с одинаковой скоростью при любом процентном содержании воды – от 0 % до точки инверсии фаз (50–60 % об.), когда эмульсия меняет вид на «нефть в воде» (эмульсия первого рода).

Для построения модели введен относительный параметр – эффективность разделения эмульсии E , который рассчитывается по формуле (1) и принимает значения от 0 до 1. Параметр описывается нелинейной функцией вида

$$\frac{\partial E}{\partial Q} \geq 0; \frac{\partial E}{\partial t} \geq 0; \frac{\partial E}{\partial T} \geq 0;$$

$$E = f(Q, t, T), \quad (2)$$

где Q – расход реагента;

t – температура нагрева;

T – время отстаивания.

Исходная таблица экспериментальных данных для моделирования имеет размерность 110×4 , то есть 110 сочетаний значений параметров Q , t , T , E .

При анализе экспериментальных данных прослеживается прямая корреляция между расходом деэмульгатора и долей отделившейся воды, а также

между температурой нагрева и долей отделившейся воды. Таким образом, модель процесса должна быть монотонно возрастающей в пределах рабочих значений параметров. Следовательно, качество модели определяется следующими параметрами:

- 1) минимальное значение дисперсии непрерывной функции;
- 2) неотрицательные значения частных производных на всем диапазоне моделирования-
- 3) дополнительные критерии определения качества модели.

3. Построение модели экспериментальных данных

В качестве инструмента создания модели экспериментальных данных технологического процесса предложено использовать искусственную нейронную сеть (ИНС). В отличие от других методов моделирования, данный способ позволяет найти зависимости в больших массивах данных, предоставляя

Показатели качества модели

Кол-во нейронов	Performance	Дисперсия по Q	Дисперсия по t	Знак первой производной
1	0.0177	9.2437	16.1609	Положительный
2–5	~0.0001	9.1857	23.2762	Неотрицательный
10–20	~10 ⁻¹²	10.041	20.1697	Неотрицательный
21–100	~10 ⁻¹³	11.491	27.3278	Переменный

возможности для дальнейшего подробного анализа полученной модели.

Обучение нейронной сети [10–14] производилось с помощью модуля Neural Network Toolbox программного комплекса MATLAB. Как дополнительный критерий качества при обучении рассчитывался параметр Performance, представляющий собой интегральный показатель среднеквадратичной ошибки (функция MSE) по следующей формуле:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - x_i^*)^2 \rightarrow \min,$$

где

x_i – значение обучающего параметра;

x_i^* – значение параметра на выходе нейросети;

N – количество обучающих примеров.

Для расчета стандартного отклонения $\text{std}(E)$ функции двух переменных используется расчет отдельно по каждой из них по формуле $1/N$

При нейросетевом моделировании возникают следующие проблемы:

1) при 1 нейроне в скрытом слое моделирование производится неудовлетворительно (рис. 1, а), так как показатель $MSE = 0.0177$, что сравнимо с порядком величины E ;

2) при небольшом количестве нейронов в скрытом слое (2–5) моделирование также производится неудовлетворительно (рис. 1, б). Показатель $MSE \approx 0.0001$. В то же время показатель отклонения по t увеличивает свое значение;

3) при среднем количестве нейронов в скрытом слое (10–20) моделирование в точках известных значений производится удовлетворительно, $MSE \approx 10^{-12}$. В то же время значения отклонений высокие. На графике в местах отсутствия обучающей выборки наблюдаются провалы и пики (рис. 1, в);

4) при большом количестве нейронов (21–100) показатель Performance (2) принимает наименьшее значение $\sim 10^{-13}$. Функция перестает быть монотонно возрастающей, так как меняется знак первой производной. На графике в областях отсутствия обучающей выборки пики и провалы еще больше (рис. 1, г).

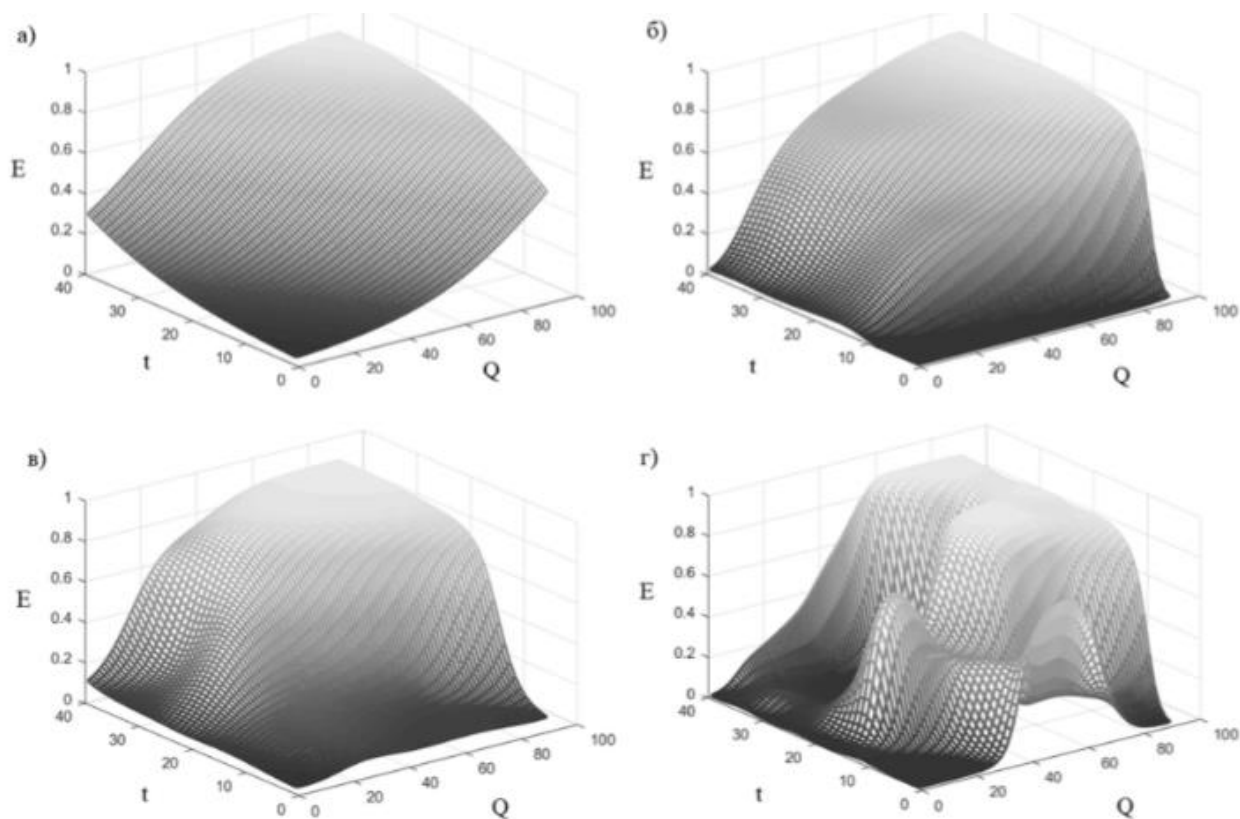


Рис. 1. Графики с выходов нейросетей с различным количеством нейронов в скрытом слое:

*а) нейросеть с 1 нейроном; б) нейросеть с 5 нейронами;
в) нейросеть с 20 нейронами; г) нейросеть со 100 нейронами.*

Таким образом, с прямой задачей заполнения значений между известными наборами данных нейросеть не справляется. Необходимо либо использовать нейросеть с малым количеством нейронов, либо изменить архитектуру нейросети, либо увеличить обучающую выборку.

Для заполнения отсутствующих данных в таблице существуют различные методы [15]:

- 1) заполнение пропущенных значений усредненными данными; 2) метод ближайших соседей;
- 3) регрессионный метод;
- 4) интерполяционный метод.

Для расширения обучающего набора данных был применён метод поэлементной интерполяции функции $E = f(Q, t, T)$ кубическими полиномами Эрмита. Отличие данного метода заключается в том, что интерполируемая

функция задаётся не только набором данных, но и их первыми производными, что усложняет вычисления, но дает преимущество в точности.

Функция имеет следующий вид:

$$p(u) = (2u^3 - 3u^2 + 1)p_k + (u^3 - 2u^2 + u)(x_{k+1} - x_k)m_k + (-2u^3 + 3u^2)p_{k+1} + \dots + (u^3 - u^2)(x_{k+1} - x_k)m_{k+1},$$

Заключение

С помощью методов интерполяции и возможностей нейронных сетей по моделированию графиков удалось создать модель процесса в виде MISO-системы на основе экспериментальных данных, количество которых изначально не позволяло сразу приступить к обучению нейронной сети и получить представительную модель. Итоговая точность модели процесса в рамках предполагаемых способов использования считается приемлемой.

Полученная нами нейросетевая модель процесса обезвоживания нефти может использоваться в качестве эталонной модели в адаптивной системе управления на реальном производственном объекте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Позднышев Г.Н. Стабилизация и разрушение нефтяных эмульсий. – М: Недра, 1982.
2. Тронов В.П. Промысловая подготовка нефти. – Казань, 2000.
3. Путохин В.С. Математическое моделирование технологического процесса обезвоживания нефти на промыслах // Нефть и газ. – М.: МИНХ и ГП, 1977. – С. 37–42.
4. Веревкин А.П., Ельцов И.Д., Зозуля Ю.И., Кирюшин О.В. Оперативное управление технологическими процессами подготовки нефти по технико-экономическим показателям // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2006. – №3. – ОАО «ВНИИОЭНГ». – С. 48–53.
5. Андреев Е.Б., Ключников А.И., Кротов А.В., Попадько В.Е., Шарова И.Я. Автоматизация технологических процессов добычи и подготовки нефти и газа: Учеб. пособие для вузов. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2008. – 399 с: ил.
6. Артюшкин И.В. Возможность создания комплексной экспертной автоматизированной системы управления процессом промысловой подготовки нефти // Нефтяное хозяйство. – 2016. – Вып. 6. – С. 29–31.
7. Артюшкин И.В., Максимов А.Е. Разработка автоматической системы управления процессом термохимического обезвоживания нефтяных эмульсий на основе искусственной нейронной сети // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2017. – Вып. 1 (53). – С. 7–15.
8. Бортников А.Е., Кордик К.Е., Савиных А.В., Ницин А.С. Некоторые результаты лабораторных экспериментов по разрушению водонефтяной эмульсии под воздействием

- равномерного электрического поля // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2013. – Вып. 9. – С. 48–56.
9. Jerzy W. Grzymala-Busse, Teresa Mroczek. Definability in Mining Incomplete Data // *Procedia Computer Science*, Volume 96, 2016. – pp. 179–186.
10. Аксенов С.В., Новосельцев В.Б. Организация и использование нейронных сетей (методы и технологии). – Томск, 2006.
11. Каплан Р. Основные концепции нейронных сетей. – М., 2001.
12. Neural Network Software, About NeuroSolutions. URL: <http://www.neuroproject.ru/aboutproduct.php> (дата обращения 02.09.2018).
13. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс = *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*: 2-изд. – М.: Вильямс, 2006.
14. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. – М., 2006.
15. Сташкова О.В., Шестопал О.В. Использование искусственных нейронных сетей для восстановления пропусков в массиве исходных данных // *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Сер. Технические науки*. – Ростов-н/Д, 2017. – Вып. 1. – С. 37–42.

Ахмед И.М.Х.

ИХТИ УГНТУ в г. Стерлитамаке

Профессор технических наук. *Муравьева Е.А.*

Институт химической технологии и инжиниринга в г.Стерлитамаке

Ahmed I.M.Kh.

Ihti UGNTU in Sterlitamak

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ВЫДЕЛЕНИЯ КАУЧУКА ИЗ ЛАТЕКСА НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT SYSTEM FOR MANAGING THE PROCESS OF SEPARATING RUBBER FROM LATEX BASED ON NEURAL NETWORK TECHNOLOGY

Аннотация: В статье рассматривается разработка интеллектуальной системы управления процессом выделения каучука из латекса в аппарате Е-6 на базе искусственной нейронной сети. Показано, что нелинейность и взаимное влияние технологических параметров делают неэффективным применение стандартных ПИД-регуляторов. Выбрана многослойная сеть прямого распространения с архитектурой 4-10-10-3 (входы: pH, расходы NaCl от двух емкостей и серума; выходы: проценты открытия трёх регулирующих клапанов). Обучение проведено в MATLAB методом Левенберга-Марквардта на выборке из 3000 примеров. Достигнута ошибка порядка 10^{-3} , коэффициент корреляции $R=1$. Проверка на контрольных данных подтвердила адекватность модели (погрешность менее 0,02%). Система может быть интегрирована в существующие АСУ ТП для повышения эффективности производства.

Abstract: The article discusses the development of an intelligent control system for the process of extracting rubber from latex in the E-6 apparatus based on an artificial neural network. It is shown that the nonlinearity and mutual influence of the process parameters make the use of standard PID controllers ineffective. A multi-layer feedforward network with a 4-10-10-3 architecture (inputs: pH, NaCl flows from two tanks and serum; outputs: percentages of opening of three control valves) has been selected. The training was conducted in MATLAB using the Levenberg-Marquardt method on a sample of 3,000 examples. The error was achieved at the order of 10^{-3} , the correlation coefficient $R=1$. The test on the control data confirmed the model adequacy (the error is less than 0.02%). The system can be integrated into existing automated process control systems to improve production efficiency.

Ключевые слова: Выделение каучука, латекс, аппарат Е-6, pH, нейронная сеть, MATLAB, метод Левенберга-Марквардта, автоматизация, многослойный перцептрон.

Keywords: Rubber extraction, latex, E-6 apparatus, pH, neural network, MATLAB, Levenberg-Marquardt method, automation, multilayer perceptron.

Процесс выделения каучука из латекса характеризуется нелинейностью и взаимным влиянием технологических параметров, что делает неэффективным применение стандартных ПИД-регуляторов. В связи с этим была поставлена задача создания интеллектуальной системы на базе искусственной нейронной сети для автоматического управления аппаратом E-6, обеспечивающей стабилизацию уровня pH и оптимальное дозирование реагентов. Функциональная схема автоматизации представлена на рисунке 1.

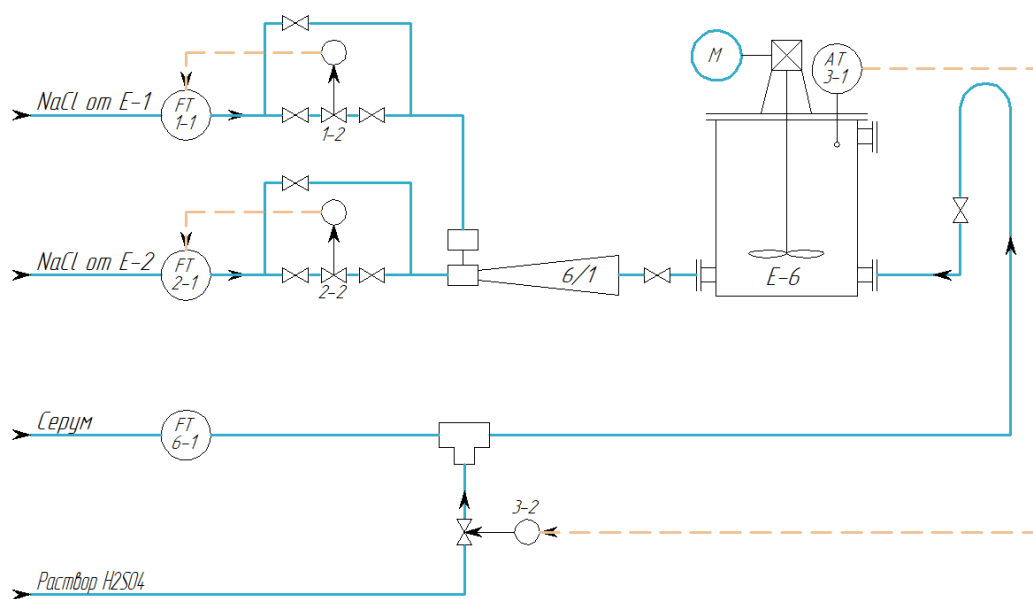


Рис. 1. Функциональная схема автоматизации

Для построения модели определены входные и выходные параметры. На вход сети подаются четыре сигнала: уровень pH в E-6 (7...8,8 pH), расход раствора NaCl от емкости E-1 (114...250 м³/ч), расход NaCl от емкости E-2 (114...250 м³/ч) и расход серума (78...105 м³/ч). Выходными сигналами являются требуемые проценты открытия трех регулирующих клапанов: подачи NaCl от E-1 (поз. 1-2), подачи NaCl от E-2 (поз. 2-2) и подачи H₂SO₄ в E-6 (поз. 3-2). Диапазон выходов – 0...100 %.

Обучающая выборка сформирована из 3000 примеров, каждый из которых содержит значения входов и соответствующие эталонные открытия клапанов. После анализа различных архитектур (сети Эльмана, Хопфилда, Кохонена и др.)

выбрана многослойная сеть прямого распространения как наиболее подходящая для аппроксимации нелинейных зависимостей. Итоговая структура: входной слой (4 нейрона), два скрытых слоя по 10 нейронов с сигмоидальной функцией активации и выходной слой (3 нейрона) с линейной функцией. Обучение проведено в среде Matlab методом Левенберга-Марквардта с целевой ошибкой 0,0001 и максимальным числом эпох 5000.

В процессе обучения контролировалась среднеквадратичная ошибка (MSE). График обучения показал монотонное убывание ошибки на обучающей, валидационной и тестовой выборках до значений порядка 10^{-3} , что свидетельствует об успешной сходимости и отсутствии переобучения. Коэффициент корреляции R между целевыми и выходными значениями составил 1, подтверждая высокую точность аппроксимации. Регрессионные графики для всех выборок демонстрируют тесную группировку точек вокруг идеальной прямой.

Проверка обученной сети на контрольных данных, не входивших в обучающую выборку, подтвердила ее работоспособность. При подаче вектора (рН = 8,41; расходы: от Е-1 – 223,93; от Е-2 – 242,46; серума – 86,78) сеть выдала значения открытия клапанов: 78,92 %, 30,72 % и 44,61 %. Эталонные значения из исходного набора составляли 78,93 %, 30,71 % и 44,60 % соответственно. Пренебрежимо малая погрешность доказывает адекватность модели.

Таким образом, разработана интеллектуальная система управления процессом выделения каучука из латекса на базе многослойной нейронной сети прямого распространения. Модель учитывает нелинейность и взаимное влияние параметров, обеспечивая высокую точность стабилизации рН и дозирования реагентов. Полученные результаты подтверждают возможность интеграции предложенного решения в существующие автоматизированные системы управления для повышения эффективности производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крашенинников С. А. Технология соды: учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1988. – 102 с.
2. АСУ на промышленных предприятиях: Методы создания: справочник / С.Б. Михалев, Р.С. Седегов, А.С. Гриберг и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 400 с.
3. Патент № 2782565 С1 Российская Федерация, МПК G01N 1/10. Система усредненного отбора пробы воды из контрольного створа для автоматизированного контроля качества поверхностных водотоков : № 2021135386 : заявл. 01.12.2021 : опубл. 31.10.2022 / А. М. Сафаров, Е. С. Кулакова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет". – EDN QSDZTI.
4. Веревкин А.П., Денисов С.В. Современные технологии управления процессами. Учебное пособие. Уфа: Изд. УГНТУ, 2002. – 86 с.
5. Голубятников В.А., Шувалов В.В. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности: учебн. для техникумов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1985. – 352 с.
6. Курбатов, Э. В. Разработка автоматизированной системы управления узлом компримирования незаполимеризовавшегося винилхлорида / Э. В. Курбатов, Е. А. Муравьева // Актуальные проблемы и направления развития технологий органического и неорганического синтеза : Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции, Стерлитамак, 14–15 мая 2024 года. – Уфа: ООО «Информреклама», 2024. – С. 127-128. – EDN UKOUEA.
7. Муравьева, Е. А. Разработка нейронной сети для управления процессом пиролиза дихлорэтана с целью повышения эффективности процесса / Е. А. Муравьева, А. И. Николаева // Системная инженерия и информационные технологии. – 2024. – Т. 6, № 4(19). – С. 69-76. – DOI 10.54708/2658-5014-SIIT-2024-no4-p69. – EDN BJQURV.
8. Муравьева, Е. А. Разработка НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЩЕЛОЧНОЙ ОТМЫВКИ ИЗОПЕНТАН- ИЗОПРЕН-ТОЛУОЛЬНОЙ ФРАКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА / Е. А. Муравьева, Р. В. Казанцев, Д. В. Подлесский // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2022. – № 2. – С. 120-137. – DOI 10.15593/2224-9400/2022.2.09. – EDN VBWNEW.
9. Емельянов Д.И., Капник О.В. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справочное пособие по содержанию и оформлению проектов. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 400 с.

Варфоломеев В.А.

ИХТИ УГНТУ в г. Стерлитамаке

Профессор технических наук *Муравьева Е.А.*

Институт химической технологии и инжиниринга в г.Стерлитамаке

Varfolomeev V.A.

Ihti UGNTU in Sterlitamak

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ТЕСТОВЫХ СЦЕНАРИЕВ:
ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТИВНО-СОСТЯЗАТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ (GAN)
ДЛЯ ВЕРИФИКАЦИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

**INTELLIGENT TEST SCENARIO GENERATION: USING GENERATIVE
ADVERSARIAL NETWORKS (GAN) FOR SOFTWARE VERIFICATION**

Аннотация: В статье рассматривается применение генеративно-сопоставительных сетей (GAN) для интеллектуальной генерации тестовых сценариев при верификации программного обеспечения. Показано, что традиционные подходы к тестированию, основанные на статических наборах данных, не способны покрыть всё многообразие состояний сложных систем. Описана архитектура GAN (генератор и дискриминатор) и ключевые механизмы их применения: генерация пограничных состояний (edge cases), создание синтетических данных, адаптивная генерация сценариев. Проанализированы области применения: тестирование графических интерфейсов, систем компьютерного зрения, баз данных, кибербезопасности. Выявлены технические вызовы (несходимость обучения, обеспечение репрезентативности, метрики качества) и перспективные направления (интеграция с CI/CD, мультимодальная генерация, объяснимый ИИ). Сделан вывод о переходе от статических тестов к интеллектуальным адаптивным системам верификации.

Abstract: The article discusses the use of generative adversarial networks (GANs) for intelligent generation of test scenarios in software verification. It is shown that traditional testing approaches based on static datasets are not able to cover the full range of states of complex systems. The GAN architecture (generator and discriminator) and key mechanisms of their application are described: generation of edge states (edge cases), creation of synthetic data, adaptive scenario generation. The fields of application are analyzed: testing of graphical interfaces, computer vision systems, databases, and cybersecurity. Identified technical challenges (non-convergence of training, ensuring representativeness, quality metrics) and promising directions (integration with CI/CD, multimodal generation, explainable AI). The conclusion is made about the transition from static tests to intelligent adaptive verification systems.

Ключевые слова: GAN, тестирование ПО, генерация тестовых сценариев, пограничные случаи, синтетические данные, адаптивная генерация, нейронные сети, CI/CD, верификация.

Keywords: GAN, software testing, test scenario generation, edge cases, synthetic data, adaptive generation, neural networks, CI/CD, verification.

Современное программное обеспечение достигает такого уровня сложности, при котором ручное проектирование тестовых сценариев становится узким местом в обеспечении качества. Традиционные подходы к тестированию, основанные на заранее определенных наборах данных, не способны покрыть все многообразие состояний, в которых может оказаться сложная система. Одним из наиболее перспективных направлений решения этой проблемы является применение генеративно-сопоставительных сетей (GAN) для интеллектуальной генерации тестовых сценариев, способных выявлять скрытые дефекты и непредвиденные режимы работы ПО [1].

Генеративно-сопоставительные сети представляют собой архитектуру глубинного обучения, состоящую из двух нейронных сетей — генератора и дискриминатора, которые функционируют в режиме состязания. Генератор создает синтетические данные, стремясь обмануть дискриминатор, а дискриминатор пытается отличить сгенерированные данные от реальных. В контексте тестирования программного обеспечения это состязание позволяет создавать тестовые сценарии, максимально приближенные к реальным, но при этом способные провоцировать нестандартное поведение системы [2].

Применение GAN в верификации ПО реализуется через несколько ключевых механизмов:

Генерация пограничных состояний. Классические тесты часто не покрывают редкие, но критически важные комбинации входных параметров. GAN способны выявлять и синтезировать такие «пограничные случаи» (edge cases), которые могут приводить к сбоям, переполнению буфера или некорректной работе алгоритмов.

Создание реалистичных синтетических данных. Для тестирования систем обработки персональных данных или медицинской информации использование реальных данных ограничено законодательством. GAN позволяют генерировать синтетические наборы данных, полностью сохраняющие статистические характеристики оригиналов, но не содержащие конфиденциальной информации.

Адаптивная генерация сценариев. В отличие от статических тестов, GAN могут динамически подстраивать генерируемые сценарии на основе обратной связи от тестируемой системы, создавая «эволюционирующее» тестовое окружение.

Области применения GAN для верификации ПО охватывают широкий спектр задач:

Тестирование графических интерфейсов. Генерация нестандартных последовательностей действий пользователя, включая случайные клики, ввод некорректных данных и имитацию работы «непредсказуемого» пользователя [3].

Верификация систем компьютерного зрения. Создание модифицированных изображений с различными искажениями, шумами, изменениями освещения для проверки устойчивости алгоритмов распознавания.

Тестирование баз данных. Генерация сложных связанных наборов данных для проверки целостности ссылок, производительности запросов и работы триггеров при нестандартных комбинациях записей.

Проверка систем кибербезопасности. Создание синтетических векторов атак, включая мутированные версии вредоносного кода, для тестирования систем обнаружения вторжений.

Технические вызовы при использовании GAN для генерации тестовых сценариев:

Несходимость обучения. Процесс обучения GAN известен своей нестабильностью. Достижение равновесия между генератором и дискриминатором требует тщательной настройки гиперпараметров и архитектуры сети.

Обеспечение репрезентативности. Сгенерированные сценарии должны сохранять семантическую значимость в контексте предметной области. Случайные данные, не соответствующие бизнес-логике системы, имеют низкую практическую ценность.

Метрики качества. Оценка того, насколько хорошо сгенерированный тестовый сценарий покрывает потенциальные дефекты, остается нетривиальной задачей, требующей разработки специализированных метрик.

Перспективные направления развития:

Интеграция с системами непрерывной интеграции. Встраивание GAN-генераторов в CI/CD пайплайны для автоматического создания тестовых сценариев при каждом изменении кодовой базы.

Мультимодальная генерация. Создание тестовых сценариев, одновременно воздействующих на различные интерфейсы системы — пользовательский ввод, сетевые запросы, состояние файловой системы.

Объяснимый ИИ в тестировании. Разработка методов интерпретации того, почему именно сгенерированный сценарий привел к обнаружению дефекта, что позволит улучшать не только тесты, но и саму архитектуру ПО.

Применение генеративно-сопоставительных сетей для создания тестовых сценариев открывает новую эру в верификации программного обеспечения. От статичных, заранее определенных тестов отрасль переходит к интеллектуальным, адаптивным системам, способным самостоятельно исследовать поведение ПО и находить уязвимости там, где традиционные методы оказываются бессильны [4]. Преодоление существующих технических ограничений позволит сделать этот подход стандартом индустрии, значительно повысив надежность и безопасность сложных программных комплексов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гудфеллоу Я. Глубокое обучение / Я. Гудфеллоу, И. Бенджио, А. Курвилль. – М.: ДМК Пресс, 2022. – 652 с.
2. Николаенко В.В. Применение генеративно-сопоставительных сетей для тестирования программного обеспечения / В.В. Николаенко, А.С. Петров // Программная инженерия. – 2023. – Т. 14, № 3. – С. 115-124.
3. Смирнов К.А. Автоматизация тестирования пользовательских интерфейсов на основе глубинного обучения / К.А. Смирнов // Информационные технологии. – 2024. – № 2. – С. 45-53.
4. Маслов Д.В. Интеллектуальные системы верификации программного обеспечения: современное состояние и перспективы / Д.В. Маслов // Программные продукты и системы. – 2023. – № 4. – С. 28-37.

5. Патент № 2782565 С1 Российская Федерация, МПК G01N 1/10. Система усредненного отбора пробы воды из контрольного створа для автоматизированного контроля качества поверхностных водотоков : № 2021135386 : заявл. 01.12.2021 : опубл. 31.10.2022 / А. М. Сафаров, Е. С. Кулакова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет". – EDN QSDZTI.
6. Курбатов, Э. В. Разработка автоматизированной системы управления узлом компримирования незаполимеризовавшегося винилхлорида / Э. В. Курбатов, Е. А. Муравьева // Актуальные проблемы и направления развития технологий органического и неорганического синтеза : Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции, Стерлитамак, 14–15 мая 2024 года. – Уфа: ООО «Информреклама», 2024. – С. 127-128. – EDN UKOYEA.
7. Муравьева, Е. А. Разработка нейронной сети для управления процессом пиролиза дихлорэтана с целью повышения эффективности процесса / Е. А. Муравьева, А. И. Николаева // Системная инженерия и информационные технологии. – 2024. – Т. 6, № 4(19). – С. 69-76. – DOI 10.54708/2658-5014-SИТ-2024-no4-p69. – EDN BJQURV.
8. Муравьева, Е. А. Разработка НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЩЕЛОЧНОЙ ОТМЫВКИ ИЗОПЕНТАН- ИЗОПРЕН-ТОЛУОЛЬНОЙ ФРАКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА / Е. А. Муравьева, Р. В. Казанцев, Д. В. Подлесский // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2022. – № 2. – С. 120-137. – DOI 10.15593/2224-9400/2022.2.09. – EDN VBWNEW.

Евменова С.М.

ИХТИ УГНТУ в г. Стерлитамаке

Профессор технических наук *Муравьева Е.А.*

Институт химической технологии и инжиниринга в г.Стерлитамаке

Evmenova S.M.

Ihti UGNTU in Sterlitamak

НЕЙРОСЕТЕВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЕЖИМОМ КАРБОНИЗАЦИОННОЙ КОЛОННЫ

NEURAL NETWORK CONTROL OF THE TEMPERATURE REGIME OF THE CARBONIZATION COLUMN

Аннотация: В статье рассматривается разработка нейросетевого регулятора для управления температурным режимом карбонизационной колонны — объекта, характеризующегося нелинейностью и взаимным влиянием параметров. Показано, что традиционные ПИД-регуляторы не способны адаптироваться к изменяющейся динамике. Спроектирована нейросетевая модель с архитектурой: входной слой (три температуры и концентрация CO₂), три скрытых слоя (128, 64, 32 нейрона, ReLU), выходной слой (два управляющих сигнала на клапаны). Обучение проведено на синтезированной выборке из 12 000 примеров (алгоритм Adam, ранняя остановка). Достигнуты коэффициенты детерминации $R^2 = 0,89$ и $0,91$. Результаты демонстрируют перспективность применения нейросетевых регуляторов для сложных тепловых режимов.

Abstract: The article discusses the development of a neural network controller for controlling the temperature regime of a carbonization column, an object characterized by nonlinearity and mutual influence of parameters. It is shown that traditional PID controllers are unable to adapt to changing dynamics. A neural network model with the following architecture is designed: an input layer (three temperatures and CO₂ concentration), three hidden layers (128, 64, and 32 neurons, ReLU), and an output layer (two control signals for valves). The training was conducted on a synthesized sample of 12,000 examples (Adam algorithm, early stopping). The achieved R^2 determination coefficients are 0.89 and 0.91. The results demonstrate the potential of using neural network regulators for complex thermal regimes.

Ключевые слова: Карбонизационная колонна, нейросетевой регулятор, ПИД-регулятор, искусственная нейронная сеть, температурный режим, CO₂, машинное обучение, ReLU, Adam.

Keywords: Carbonization column, neural network regulator, PID regulator, artificial neural network, temperature regime, CO₂, machine learning, ReLU, Adam.

В современных системах автоматизации химико-технологических процессов традиционно используются ПИД-регуляторы, зарекомендовавшие себя благодаря простоте и надежности. Однако стремительное усложнение

производств, характеризующихся нелинейностью, взаимным влиянием параметров и нестационарностью, выявляет ограничения классических алгоритмов. В частности, для таких объектов, как карбонизационная колонна, точная настройка ПИД-регулятора затруднена, а его структура неспособна адаптироваться к изменяющейся динамике в реальном времени. Перспективной альтернативой выступают регуляторы на основе искусственных нейронных сетей (НС), способные аппроксимировать сложные нелинейные зависимости между состоянием объекта и управляющими воздействиями.

Для решения задачи была спроектирована и обучена нейросетевая модель. Архитектура сети включает входной слой (температуры трех точек и концентрация газа), три скрытых слоя (128, 64 и 32 нейрона с функцией активации ReLU) и выходной слой с двумя нейронами, соответствующими управляющим сигналам на клапаны 8-2 и 1-5. Из-за отсутствия исторических данных с реального объекта обучение проводилось на синтезированной выборке. Функция `generate_improved_training_data()` генерировала 12 000 примеров, имитирующих различные режимы работы колонны: учитывались целевые уставки, колебания параметров, взаимное влияние температур, влияние концентрации газа и случайные шумы. Такой подход позволил создать реалистичный датасет для обучения модели обобщению.

Процесс обучения с использованием алгоритма Adam и ранней остановкой для предотвращения переобучения показал устойчивую сходимость. График снижения среднеквадратичной ошибки (MSE) демонстрирует быстрое уменьшение ошибки на начальных итерациях и последующую стабилизацию, что свидетельствует об успешном усвоении закономерностей. Качество обученной модели оценивалось на тестовой выборке. Коэффициенты детерминации R^2 для предсказания положений клапанов составили 0.89 для клапана 8-2 и 0.91 для клапана 1-5. Это говорит о высокой точности прогнозов и способности сети корректно выявлять нелинейные связи между входами и выходами.

На рисунке 1 представлены четыре графика, демонстрирующих изменение температур во времени при использовании улучшенной нейросетевой модели управления и изменение концентрации CO_2 газа 2-го ввода.

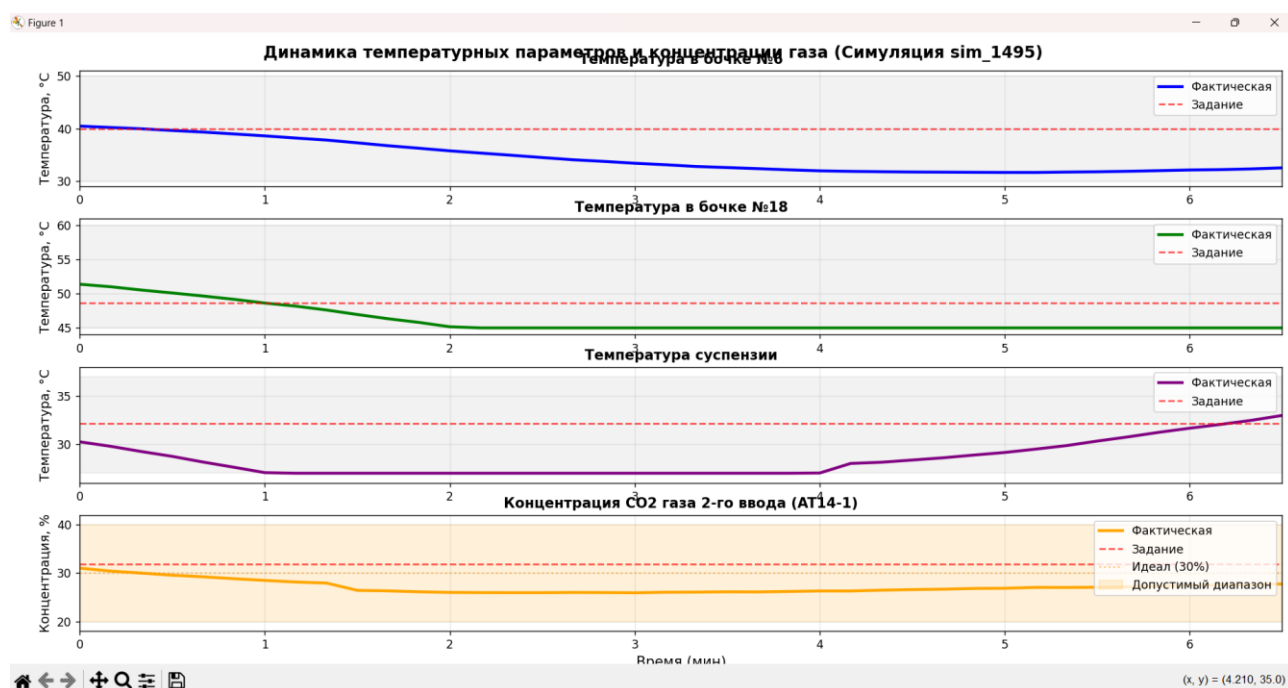


Рис. 1. Результат работы нейросетевого регулятора – динамика температурных параметров

В ходе выполнения работы была успешно разработана система нейросетевого управления температурным режимом сложного химико-технологического объекта. Полученные результаты демонстрируют перспективность применения методов машинного обучения для управления процессами, где традиционные ПИД-регуляторы недостаточно эффективны. Однако стоит отметить, что нейросетевые регуляторы имеют ограничение по скорости принятия решений и уступают ПИД-регуляторам на объектах, требующих мгновенной реакции. Тем не менее, для задач поддержания сложного теплового режима карбонизационной колонны предложенное решение показывает высокую эффективность и может быть рекомендовано к дальнейшему исследованию и практическому внедрению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. С.А. Крашенинников Технология соды: учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1988. – 102 с.
- Патент № 2782565 С1 Российская Федерация, МПК G01N 1/10. Система усредненного отбора пробы воды из контрольного створа для автоматизированного контроля качества поверхностных водотоков : № 2021135386 : заявл. 01.12.2021 : опубл. 31.10.2022 / А. М. Сафаров, Е. С. Кулакова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет". – EDN QSDZTI.
2. АСУ на промышленных предприятиях: Методы создания: справочник / С.Б. Михалев, Р.С. Седегов, А.С. Гриберг и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 400 с.: ил.
3. Веревкин А.П., Денисов С.В. Современные технологии управления процессами.
4. Голубятников В.А., Шувалов В.В. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности: учебн. для техникумов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1985. – 352 с., ил.
5. Емельянов Д.И., Капник О.В. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справочное пособие по содержанию и оформлению проектов. – М: Энергоатом издат, 1983. – 400 с.

Ербулатулы Н.

ИХТИ УГНТУ в г. Стерлитамаке

Профессор технических наук *Муравьева Е.А.*

Институт химической технологии и инжиниринга в г.Стерлитамаке

Yerbulatuly N.

Ihti UGNTU in Sterlitamak

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УЗЛОМ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ПИПЕРИЛЕНА И ОЧИСТКИ ОТ ТЯЖЁЛЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR THE PIPELINE CONCENTRATION AND TREATMENT OF HEAVY HYDROCARBONS

Аннотация: В статье рассматривается система автоматизации процесса ректификации и очистки на двух последовательно работающих колоннах (поз. 450/1 и 450/2). Исходная изопрен-изоамилен-пипериленовая фракция (пиперилен 12–25 %) подвергается разделению с выделением целевого пиперилена. Определены ключевые регулируемые параметры: расход горячей воды в кипятильник, расход флегмы, давление верха колонны, расход пипериленовой фракции. Для нижнего уровня автоматизации выбраны: преобразователи давления Метран-150-TG, термометры TR75, радарные уровнемеры VEGAPULS 63, электромагнитные расходомеры SITRANS F M MAGFLO, сигнализаторы СТМ-10. В качестве ПЛК используется Siemens Simatic S7-1500 с модулями SM531, SM522, SM532. Система обеспечивает стабильность процесса, качество продукта, безопасность и интеграцию в единое управление предприятием.

Abstract: The article discusses the automation system for the rectification and purification process in two sequentially operating columns (positions 450/1 and 450/2). The initial isoprene-isoamylene-piperylene fraction (piperylene content of 12–25%) is separated to isolate the target piperylene. The key adjustable parameters are identified: the flow rate of hot water into the kettle, the flow rate of phlegm, the pressure at the top of the column, and the flow rate of the piperylene fraction. For the lower level of automation, the following devices were selected: Metran-150-TG pressure transducers, TR75 thermometers, VEGAPULS 63 radar level meters, SITRANS F M MAGFLO electromagnetic flow meters, and STM-10 signalizers. The Siemens Simatic S7-1500 PLC with SM531, SM522, and SM532 modules is used. The system ensures process stability, product quality, safety, and integration into a unified enterprise management system.

Ключевые слова: Ректификация, пиперилен, автоматизация, Siemens Simatic S7-1500, Метран-150-TG, VEGAPULS 63, расходомер, загазованность, противоаварийная защита.

Keywords: Rectification, pipelene, automation, Siemens Simatic S7-1500, Metran-150-TG, VEGAPULS 63, flow meter, gas contamination, emergency protection.

Процесс осуществляется на двух последовательно работающих ректификационных колоннах поз. 450/1 и 450/2, каждая из которых снабжена 75 тарелками. Исходная изопрен-изоамилен-пипериленовая фракция с содержанием пиперилена 12–25 % масс. поступает из куба колонны поз. 114а. В колоннах происходит выделение изопрен-изоамиленовой фракции, возвращаемой на дальнейшую переработку, и концентрирование пиперилена в кубовой жидкости. Затем пипериленовая фракция из куба колонны поз. 450/2 направляется в колонну поз. 149 для окончательной очистки от тяжёлых углеводородов. Обогрев кубов колонн осуществляется горячей водой и конденсатом через выносные кипятильники. Пары с верха колонн конденсируются в дефлегматорах, конденсат собирается в ёмкостях и частично возвращается в колонны в виде флегмы. Принципиальная схема подобного процесса представлена на рисунке 1.

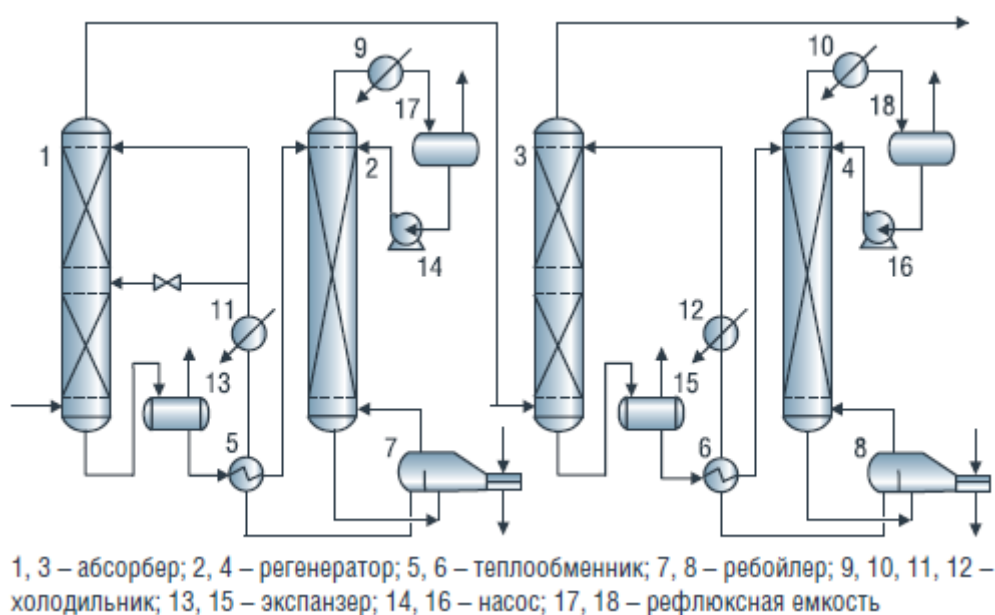


Рис. 1. Принципиальная схема узла ректификации и очистки

Для обеспечения стабильной работы колонн и требуемого качества продуктов необходимо контролировать и регулировать ряд технологических параметров. Ключевыми регулируемыми величинами являются: расход горячей воды в кипятильник колонны поз. 450/2 с коррекцией по уровню (поз. 851/2, диапазон 0–150 м³/ч), расход флегмы в колонну поз. 450/1 (поз. 852/2, 0–150 м³/ч),

давление верха колонны поз. 450/1 (поз. 849/1, 0–0,06 МПа), расход пипериленовой фракции в колонну поз. 149 (поз. 8013, 0–150 м³/ч). Помимо регулируемых параметров, осуществляется контроль температуры в различных точках колонн (поз. TE739/1.7–1.12), давления в кубах (РТ6063/1, РТ6063/2), уровней в ёмкостях и колоннах (LT851/1, LT851/2, LT853/1, LT853/2), а также содержания углеводородов в воздухе рабочей зоны (АТ908, АТ909, АТ918, АТ919). Для анализа состава смеси применяются хроматографы поз. АТ8013/1 и АТ8013/2. Предусмотрена сигнализация при выходе параметров за допустимые пределы и блокировки по загазованности, включающие аварийную вентиляцию.

Нижний уровень системы составляют современные датчики и исполнительные устройства, обладающие высокой точностью, надежностью и взрывозащищенным исполнением. Для измерения давления выбраны преобразователи Метран-150-TG с выходным сигналом 4–20 мА и HART-протоколом. Температура контролируется термометрами сопротивления с цифровым индикатором модели TR75 (WIKA), также имеющими унифицированный выходной сигнал. Для измерения уровня в емкостях и колоннах используются радарные уровнемеры VEGAPULS 63, устойчивые к агрессивным средам и обеспечивающие точность ± 2 мм. Расход электропроводных жидкостей измеряется электромагнитными расходомерами SITRANS F M MAGFLO (Siemens) с классом точности 0,25 %. Контроль загазованности осуществляется стационарными сигнализаторами горючих газов СТМ-10.

В качестве программируемого логического контроллера выбран Siemens Simatic S7-1500, отличающийся высоким быстродействием, широкими возможностями резервирования и защиты, наличием съемного дисплея для диагностики. Контроллер обеспечивает сбор и обработку сигналов с датчиков, реализацию алгоритмов регулирования (ПИД-законы, каскадные схемы), логического управления и противоаварийных защит. Состав модулей ПЛК подобран с учетом количества сигналов: модули аналогового ввода SM531, дискретного вывода SM522 и аналогового вывода SM532.

Разработанная система автоматизации позволяет обеспечить стабильное ведение технологического процесса, повысить качество целевого продукта, снизить влияние человеческого фактора и гарантировать безопасность производства. Применение современных средств измерения и контроллеров Siemens Simatic S7-1500 обеспечивает надежность, масштабируемость и возможность интеграции в единую систему управления предприятием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крашенинников С. А. Технология соды: учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1988. – 102 с.
2. АСУ на промышленных предприятиях: Методы создания: справочник / С.Б. Михалев, Р.С. Седегов, А.С. Гриберг и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 400 с.
3. Курбатов, Э. В. Разработка автоматизированной системы управления узлом компримирования незаполимеризовавшегося винилхлорида / Э. В. Курбатов, Е. А. Муравьева // Актуальные проблемы и направления развития технологий органического и неорганического синтеза : Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции, Стерлитамак, 14–15 мая 2024 года. – Уфа: ООО «Информреклама», 2024. – С. 127-128. – EDN UKOUEA.
4. Муравьева, Е. А. Разработка нейронной сети для управления процессом пиролиза дихлорэтана с целью повышения эффективности процесса / Е. А. Муравьева, А. И. Николаева // Системная инженерия и информационные технологии. – 2024. – Т. 6, № 4(19). – С. 69-76. – DOI 10.54708/2658-5014-SIPT-2024-no4-p69. – EDN BJQURV.
5. Муравьева, Е. А. Разработка НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЩЕЛОЧНОЙ ОТМЫВКИ ИЗОПЕНТАН- ИЗОПРЕН-ТОЛУОЛЬНОЙ ФРАКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА / Е. А. Муравьева, Р. В. Казанцев, Д. В. Подлесский // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2022. – № 2. – С. 120-137. – DOI 10.15593/2224-9400/2022.2.09. – EDN VBWNEW.
6. Вережкин А.П., Денисов С.В. Современные технологии управления процессами. Учебное пособие. Уфа: Изд. УГНТУ, 2002. – 86 с.
7. Голубятников В.А., Шувалов В.В. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности: учебн. для техникумов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1985. – 352 с.
8. Патент № 2782565 С1 Российская Федерация, МПК G01N 1/10. Система усредненного отбора пробы воды из контрольного створа для автоматизированного контроля качества поверхностных водотоков : № 2021135386 : заявл. 01.12.2021 : опубл. 31.10.2022 / А. М. Сафаров, Е. С. Кулакова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет". – EDN QSDZTI.
9. Емельянов Д.И., Капник О.В. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справочное пособие по содержанию и оформлению проектов. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 400 с.

Зюзько А.Д.

ИХТИ УГНТУ в г. Стерлитамаке

Профессор технических наук *Муравьева Е.А.*

Институт химической технологии и инжиниринга в г.Стерлитамаке

Zyuzko A.D.

Ihti UGNTU in Sterlitamak

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМ ПРОФИЛЕМ ШАХТНОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗВЕСТИ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА

MODERNIZATION OF THE TEMPERATURE PROFILE CONTROL SYSTEM OF A SHAFT FURNACE TO IMPROVE THE QUALITY OF LIME AND THE ENERGY EFFICIENCY OF THE PROCESS

Аннотация : В статье рассматривается модернизация системы управления температурным профилем шахтной печи для производства негашеной извести. Показано, что существующие системы автоматизации на устаревших приборах не обеспечивают точного поддержания температурного режима, что приводит к перерасходу топлива и потере качества. Предложена многоконтурная система регулирования с каскадными алгоритмами на базе ПЛК, датчиками температуры по высоте печи, газоанализаторами CO₂, радарными уровнемерами и частотно-регулируемыми приводами. Описана двухуровневая архитектура (ПЛК — нижний уровень, SCADA — верхний уровень). Выявлены сложности: запылённость, инерционность процесса, нестабильность сырья. Обозначены перспективы: машинное обучение, цифровые двойники, интеграция с ERP. Модернизация позволяет повысить качество извести и снизить энергозатраты.

Abstract: The article discusses the modernization of the temperature profile control system for a shaft furnace used in the production of quicklime. It is shown that the existing automation systems based on outdated instruments do not provide accurate temperature control, resulting in fuel overconsumption and loss of quality. A multi-loop control system with cascaded algorithms based on PLCs, temperature sensors along the furnace height, CO₂ gas analyzers, radar level meters, and variable frequency drives is proposed. A two-level architecture (PLC at the lower level and SCADA at the upper level) is described. Difficulties identified: dustiness, inertia of the process, instability of raw materials. Prospects outlined: machine learning, digital twins, integration with ERP. Modernization allows to improve the quality of lime and reduce energy consumption.

Ключевые слова: негашеная известь, шахтная печь, температурный профиль, каскадное регулирование, ПЛК, SCADA, газоанализатор, частотно-регулируемый привод, энергоэффективность, цифровизация.

Keywords: Unslaked lime, shaft furnace, temperature profile, cascade control, PLC, SCADA, gas analyzer, variable frequency drive, energy efficiency, digitalization.

Производство негашеной извести является критически важным переделом в технологической цепочке содовых заводов и строительных комбинатов. Качество готового продукта — содержание активного оксида кальция, его пористость и реакционная способность — напрямую зависит от соблюдения температурного режима в зоне обжига. В то же время процесс термического разложения известняка отличается высокой энергоемкостью, и доля топливной составляющей в себестоимости продукции остается значительной. Существующие на многих предприятиях системы автоматизации, построенные на устаревших пневматических приборах и локальных щитах управления, не способны обеспечить точное поддержание температурного профиля по высоте печи, что приводит к перерасходу топлива, увеличению доли недожога или пережога и, как следствие, к потере качества извести [1].

Современный подход к автоматизации шахтных печей базируется на создании многоконтурной системы регулирования, где управляющие воздействия формируются на основе данных с нескольких контролируемых уровней. В вертикальной шахте печи выделяются характерные зоны: подогрева, обжига и охлаждения. Наиболее ответственной является зона обжига, где при температурах 200–250°C протекает эндотермическая реакция разложения карбоната кальция. Для стабилизации фронта горения термопреобразователи устанавливаются на нескольких ярусах по высоте печи, что позволяет контролировать не только абсолютные значения температур, но и форму температурного профиля.

Сигналы с датчиков поступают в программируемый логический контроллер, который реализует каскадные алгоритмы управления. Суть каскадного регулирования заключается в том, что задание для регулятора расхода воздуха формируется регулятором температуры соответствующего уровня. При отклонении температуры от оптимальных границ контроллер изменяет положение регулирующих органов на воздуховодах, увеличивая или уменьшая подачу кислорода в конкретную зону горения. Такой подход позволяет

оперативно парировать локальные возмущения и поддерживать равномерность обжига по всему сечению печи [2].

Важнейшим элементом обратной связи является непрерывный контроль состава отходящих газов. Концентрация диоксида углерода в печном газе служит интегральным показателем полноты протекания реакции декарбонизации. Снижение содержания CO_2 свидетельствует о неполном разложении сырья или об избытке воздуха, разбавляющем печные газы. Газоанализаторы передают сигнал в контроллер, который корректирует суммарный расход воздуха и, при необходимости, уставки температурных регуляторов. Дополнительный контроль разрежения под крышкой печи и уровня загрузки шахты позволяет предотвращать подсосы воздуха и обеспечивать стабильность гидравлического режима.

Использование современных микропроцессорных датчиков давления с цифровыми протоколами обмена, радарных уровнемеров для сыпучих материалов и прецизионных датчиков расхода воздуха обеспечивает высокую точность измерений и надежность работы в условиях запыленной и агрессивной среды. Применение частотно-регулируемых приводов на вентиляторах дутья позволяет не только точно дозировать воздух, но и экономить электроэнергию.

В рамках единой информационной инфраструктуры цеха модернизированная система автоматизации выполняет комплекс взаимосвязанных задач. На нижнем уровне контроллер осуществляет сбор данных, их фильтрацию и реализацию алгоритмов управления в реальном времени. На верхнем уровне SCADA-система обеспечивает визуализацию технологического процесса, ведение архивов, построение трендов и сигнализацию отклонений. Оператор получает возможность не только контролировать текущие параметры, но и анализировать динамику их изменения, выявлять скрытые закономерности и своевременно принимать решения. Накопление исторических данных создает предпосылки для внедрения систем поддержки принятия решений и предиктивной аналитики [3].

Реализация проекта сталкивается с рядом объективных сложностей, обусловленных спецификой процесса и условиями эксплуатации. Высокая запыленность, абразивное воздействие известняка и значительные температуры предъявляют особые требования к выбору датчиков и способам их монтажа. Необходимо применение защитных гильз, уплотнений и обдува для предотвращения запыления оптических элементов. Процесс обжига характеризуется большой инерционностью и транспортным запаздыванием, поэтому настройка регуляторов требует особой тщательности для исключения перерегулирования и автоколебаний. Колебания фракционного состава и влажности исходного сырья вносят дополнительные возмущения, с которыми классические ПИД-регуляторы справляются не всегда эффективно, что обуславливает необходимость применения адаптивных алгоритмов.

Дальнейшее развитие системы видится в нескольких направлениях. Внедрение алгоритмов машинного обучения позволит создавать прогностические модели, предсказывающие качество извести на основе входных параметров и текущего режима работы печи. Цифровые двойники технологических агрегатов дадут возможность отрабатывать режимы без риска для производства, оптимизировать процесс пуска и останова, а также обучать оперативный персонал. Интеграция с системами управления производственными ресурсами предприятия обеспечит объективное нормирование расхода топлива и электроэнергии, что создаст экономические стимулы для поддержания оптимальных режимов [4].

Таким образом, модернизация системы управления температурным профилем шахтной печи позволяет комплексно решить задачи повышения качества извести и снижения энергозатрат. Замена устаревших средств автоматизации на современные программируемые контроллеры, интеллектуальные датчики и эффективные исполнительные механизмы создает основу для стабильной и экономически эффективной работы цеха известковых печей. Внедрение таких систем не только окупается за счет экономии топлива и

снижения брака, но и закладывает фундамент для дальнейшей цифровизации производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крашенинников С.А. Технология соды: учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1988. – 102 с.
2. Патент № 2782565 С1 Российская Федерация, МПК G01N 1/10. Система усредненного отбора пробы воды из контрольного створа для автоматизированного контроля качества поверхностных водотоков : № 2021135386 : заявл. 01.12.2021 : опубл. 31.10.2022 / А. М. Сафаров, Е. С. Кулакова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет". – EDN QSDZTI.
3. Голубятников В.А., Шувалов В.В. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности. – М.: Химия, 1985. – 352 с.
4. Федоров Ю.Н. Основы построения АСУТП взрывоопасных производств: в 2-х т. – М.: СИНТЕГ, 2006.
5. Курбатов, Э. В. Разработка автоматизированной системы управления узлом компримирования незаполимеризовавшегося винилхлорида / Э. В. Курбатов, Е. А. Муравьева // Актуальные проблемы и направления развития технологий органического и неорганического синтеза : Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции, Стерлитамак, 14–15 мая 2024 года. – Уфа: ООО «Информреклама», 2024. – С. 127-128. – EDN UKOYEA.
6. Муравьева, Е. А. Разработка нейронной сети для управления процессом пиролиза дихлорэтана с целью повышения эффективности процесса / Е. А. Муравьева, А. И. Николаева // Системная инженерия и информационные технологии. – 2024. – Т. 6, № 4(19). – С. 69-76. – DOI 10.54708/2658-5014-SИТ-2024-no4-p69. – EDN BJQURV.
7. Муравьева, Е. А. Разработка НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЩЕЛОЧНОЙ ОТМЫВКИ ИЗОПЕНТАН- ИЗОПРЕН-ТОЛУОЛЬНОЙ ФРАКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА / Е. А. Муравьева, Р. В. Казанцев, Д. В. Подлесский // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2022. – № 2. – С. 120-137. – DOI 10.15593/2224-9400/2022.2.09. – EDN VBWNEW.
8. Михалев С.Б. и др. АСУ на промышленных предприятиях: Методы создания: справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 400 с.

Исмаиел М.Х.И.

ИХТИ УГНТУ в г. Стерлитамаке

Профессор технических наук *Муравьева Е.А.*

Институт химической технологии и инжиниринга в г.Стерлитамаке

Ismail M.H.I.

Ihti UGNTU in Sterlitamak

РАЗРАБОТКА КАСКАДНОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

DEVELOPMENT OF A Cascade TEMPERATURE CONTROL SYSTEM

Аннотация: В статье рассматривается разработка каскадной системы регулирования температуры для процесса выделения изопентан-изоамиленовой фракции. Объект регулирования характеризуется инерционностью и возмущениями от качества и скорости сырья. Предложена двухконтурная схема с коррекцией по расходу. Экспериментально получены кривые разгона (запаздывание: 1 мин по температуре, 0,1 мин по расходу), методом Симаяу в Mathcad определены передаточные функции объектов. Проверка по критерию Гурвица подтвердила устойчивость. Настройки ПИД-регуляторов рассчитаны методом Циглера — Никольса. Показатели качества переходного процесса: время регулирования 23 мин, перерегулирование 8,07 %, степень затухания 0,579. Система рекомендуется к внедрению.

Abstract: The article discusses the development of a cascade temperature control system for the process of isolating the isopentane-isoamylene fraction. The control object is characterized by inertia and disturbances from the quality and speed of the raw material. A two-loop scheme with flow correction is proposed. The acceleration curves (lag: 1 min for temperature, 0.1 min for flow) were obtained experimentally, and the transfer functions of the objects were determined using the Simayu method in Mathcad. The stability was confirmed using the Hurwitz criterion. PID controller settings are calculated by the Ziegler-Nichols method. The quality indicators of the transient process: the regulation time is 23 min, overshoot 8.07 %, attenuation degree 0.579. The system is recommended for implementation.

Ключевые слова: Каскадное регулирование, температура, ПИД-регулятор, метод Циглера — Никольса, передаточная функция, Mathcad, переходный процесс, время регулирования.

Keywords: Cascade control, temperature, PID controller, Ziegler-Nichols method, transfer function, Mathcad, transient process, and regulation time.

Важным технологическим параметром процесса выделения изопентан-изоамиленовой фракции является температура на трубопроводе из дефлегматоров поз. 47/1,2, которая не должна превышать 54 °С. Объект регулирования характеризуется значительной инерционностью, а основные

возмущения связаны с изменением качества и скорости прохождения сырья. Для повышения качества управления предложена двухконтурная (каскадная) схема регулирования температуры с коррекцией по расходу.

Экспериментально получены кривые разгона по основному (температура) и вспомогательному (расход) каналам при входном сигнале 0,1 мА. Запоздывание по основному каналу составило 1 мин, по вспомогательному – 0,1 мин. Обработка методом Симаю в Mathcad позволила получить передаточные функции объектов:

- по основному каналу: $W_o(p) = 200 \cdot e^{-p} / (1 + 3,863p + 6,257p^2 + 4,959p^3)$;
- по вспомогательному: $W_{o1}(p) = 5 \cdot e^{-0,1p} / (1 + 0,22p + 0,019p^2 + 7,563 \cdot 10^{-4}p^3)$.

Проверка по критерию Гурвица подтвердила устойчивость обоих звеньев.

Настройки регуляторов каскадной АСР рассчитывались методом Циглера – Никольса. Для внутреннего контура по вспомогательному каналу определена критическая частота $\omega_{кр} = 10,046$ рад/мин, критический коэффициент $K_{1кр} = 5,7 \cdot 10^{-4}$. Оптимальные параметры ПИД-регулятора: $k_1 = 3,42 \cdot 10^{-4}$, $k_0 = 6,873 \cdot 10^{-3}$, $k_2 = 4,256 \cdot 10^{-6}$. Передаточная функция стабилизирующего регулятора: $W_{рст}(p) = 3,42 \cdot 10^{-4} + 6,873 \cdot 10^{-3}/p + 4,256 \cdot 10^{-6} \cdot p$.

Для внешнего контура сформирован эквивалентный объект. Анализ его АФХ дал $\omega_{кр} = 0,644$ рад/мин, $A_{эkv} = 0,033$, $K_{1кр} = 30,303$. Оптимальные параметры корректирующего ПИД-регулятора: $k_1 = 18,182$, $k_0 = 23,421$, $k_2 = 3,529$. Его передаточная функция: $W_{ркор}(p) = 18,182 + 23,421/p + 3,529 \cdot p$.

Анализ разомкнутой системы показал запасы устойчивости: по фазе $\gamma_c = 67^\circ$, по амплитуде $\beta = 2,1585$; частота среза $\omega_c = 0,38$ рад/мин.

Построен переходный процесс в замкнутой системе при единичном ступенчатом воздействии (рисунок 1).

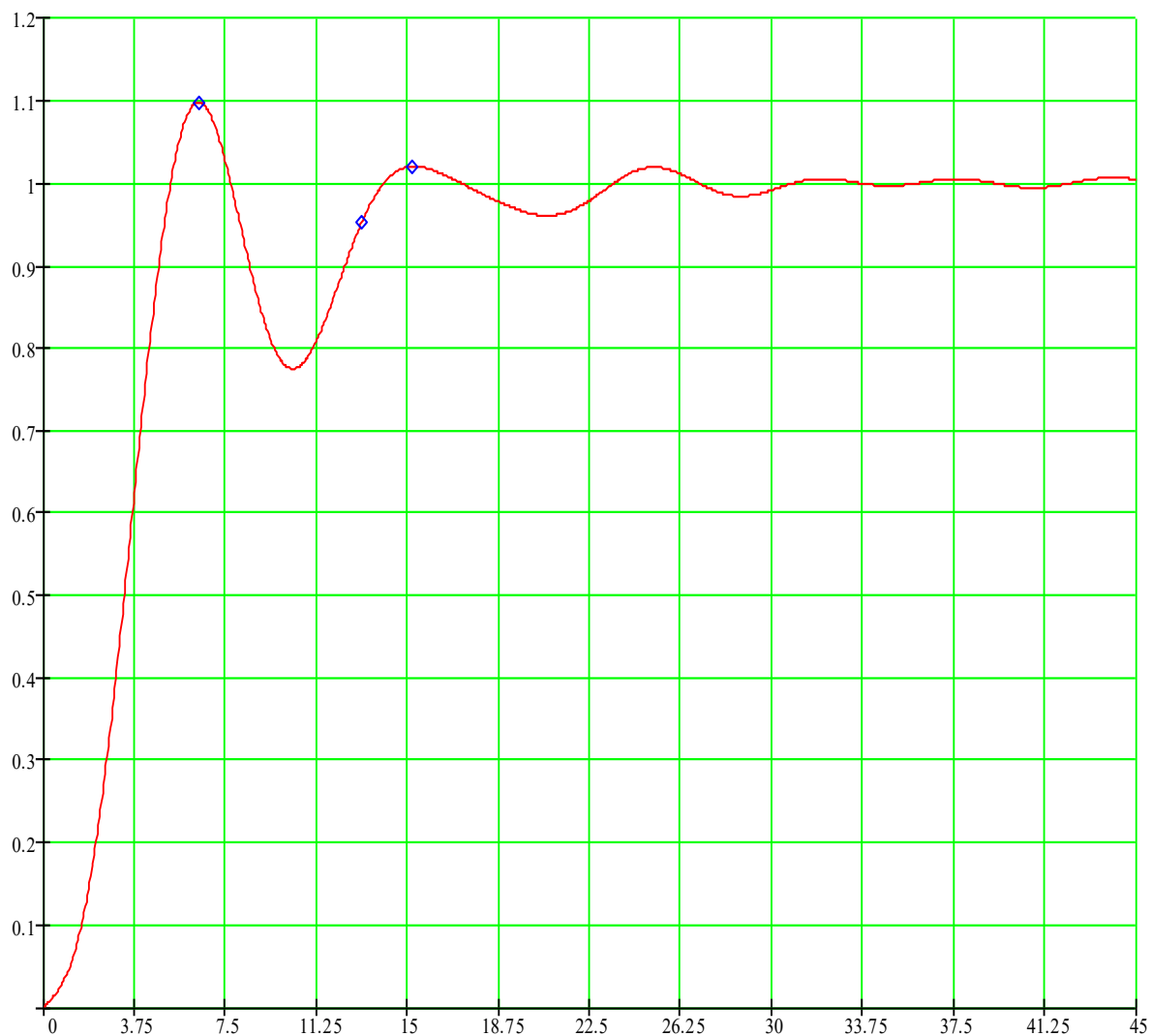


Рис. 1. Переходный процесс в каскадной системе

Определены показатели качества: время регулирования $T = 23$ мин, степень затухания $\psi = 0,579$, перерегулирование $\sigma = 8,07$ %. Небольшая динамическая ошибка и приемлемое время регулирования достигнуты благодаря введению стабилизирующего регулятора во внутренний контуре.

Таким образом, разработана каскадная система регулирования температуры, получены математические модели объекта, рассчитаны оптимальные настройки ПИД-регуляторов. Полученные характеристики позволяют рекомендовать систему к внедрению в технологический процесс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крашенинников С. А. Технология соды: учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1988. – 102 с.
2. Курбатов, Э. В. Разработка автоматизированной системы управления узлом компримирования незаполимеризовавшегося винилхлорида / Э. В. Курбатов, Е. А. Муравьева // Актуальные проблемы и направления развития технологий органического и неорганического синтеза : Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции, Стерлитамак, 14–15 мая 2024 года. – Уфа: ООО «Информреклама», 2024. – С. 127-128. – EDN UKOYEA.
3. Муравьева, Е. А. Разработка нейронной сети для управления процессом пиролиза дихлорэтана с целью повышения эффективности процесса / Е. А. Муравьева, А. И. Николаева // Системная инженерия и информационные технологии. – 2024. – Т. 6, № 4(19). – С. 69-76. – DOI 10.54708/2658-5014-SIPT-2024-no4-p69. – EDN BJQURV.
4. Муравьева, Е. А. Разработка НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЩЕЛОЧНОЙ ОТМЫВКИ ИЗОПЕНТАН- ИЗОПРЕН-ТОЛУОЛЬНОЙ ФРАКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА / Е. А. Муравьева, Р. В. Казанцев, Д. В. Подлесский // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2022. – № 2. – С. 120-137. – DOI 10.15593/2224-9400/2022.2.09. – EDN VBWNEW.
5. Патент № 2782565 С1 Российская Федерация, МПК G01N 1/10. Система усредненного отбора пробы воды из контрольного створа для автоматизированного контроля качества поверхностных водотоков : № 2021135386 : заявл. 01.12.2021 : опубл. 31.10.2022 / А. М. Сафаров, Е. С. Кулакова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет". – EDN QSDZTI.
6. АСУ на промышленных предприятиях: Методы создания: справочник / С.Б. Михалев, Р.С. Седегов, А.С. Гриберг и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 400 с.
7. Веревкин А.П., Денисов С.В. Современные технологии управления процессами. Учебное пособие. Уфа: Изд. УГНТУ, 2002. – 86 с.
8. Голубятников В.А., Шувалов В.В. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности: учебн. для техникумов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1985. – 352 с.
9. Емельянов Д.И., Капник О.В. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справочное пособие по содержанию и оформлению проектов. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 400 с.

Муталлапов А.В.

ИХТИ УГНТУ в г. Стерлитамаке

Профессор технических наук *Муравьева Е.А.*

Институт химической технологии и инжиниринга в г.Стерлитамаке

Mutallapov A.V.

Ihti UGNTU in Sterlitamak

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УЗЛОМ ПОГЛОЩЕНИЯ АБГАЗОВ, ОХЛАЖДЕНИЯ И ОСУШКИ ХЛОРА

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR ABSORPTION, COOLING, AND DRYING OF CHLORINE GAS

Аннотация: В статье рассматривается автоматизация процесса осушки и абсорбции хлора. Описаны стадии: охлаждение влажного хлора в двух теплообменниках (до 13–20 °С), фильтрация, осушка в скрубберных колоннах серной кислотой (не менее 96 %) до содержания влаги $\leq 0,15$ г/м³. Определены регулируемые параметры (разрежение, температура, уровень, pH, расход кислоты, загазованность) и средства автоматизации: датчики МИДА, ОБЕН ПД100И-ДД, ротаметр ЭМИС-МЕТА 215, pH-метр pH-4101, термосопротивления ДТС055М, сигнализаторы СКАТ-5М, клапаны 25ч945нж с электроприводом REGADA ST/MT. В качестве ПЛК выбран REGUL R500 с «горячим» резервированием. Система рекомендуется для модернизации производства хлора.

Abstract: The article discusses the automation of the chlorine drying and absorption process. The stages are described: cooling of wet chlorine in two heat exchangers (up to 13–20 °C), filtration, and drying in scrubber columns with sulfuric acid (at least 96%) to a moisture content of ≤ 0.15 g/m³. The adjustable parameters (vacuum, temperature, level, pH, acid flow rate, and gas concentration) and automation tools have been determined: MIDAS sensors, OVEN PD100I-DD, EMIS-META 215 rotameter, pH-4101 pH meter, DTS055M thermistors, SKAT-5M gas detectors, and 25ch945nzh valves with REGADA ST/MT electric actuators. The REGUL R500 PLC with hot standby has been selected. The system is recommended for upgrading chlorine production.

Ключевые слова : Хлор, осушка, абсорбция, серная кислота, автоматизация, REGUL R500, МИДА, ОБЕН, pH-метр, взрывопожароопасность.

Keywords: Chlorine, drying, absorption, sulfuric acid, automation, REGUL R500, MIDAS, OVEN, pH meter, explosion and fire hazard.

Технологический процесс включает несколько последовательных стадий. Влажный хлор, выходящий из электролизеров с температурой до 80 °С, поступает в общий коллектор, где разрежение поддерживается в пределах 0,15–0,75 кПа. Далее газ охлаждается в двух теплообменниках: сначала обратной

водой до 25–50 °С, затем рассолом (раствором хлорида кальция) до 13–20 °С. При охлаждении конденсируется основная часть влаги, насыщенная хлором. Конденсат собирается в емкости и откачивается на дальнейшую переработку. Охлажденный хлор проходит фильтры для удаления частиц хлорида натрия, после чего направляется на осушку в две последовательные колонны скрубберного типа, орошаемые концентрированной серной кислотой (не менее 96 %). Осушенный хлор с содержанием влаги не более 0,15 г/м³ и аэрозолей серной кислоты не более 5 мг/м³ поступает на компримирование. Абгазы, содержащие остаточный хлор, направляются на санитарную установку улавливания. Принципиальная схема аналогичного процесса абсорбции представлена на рисунке 1.

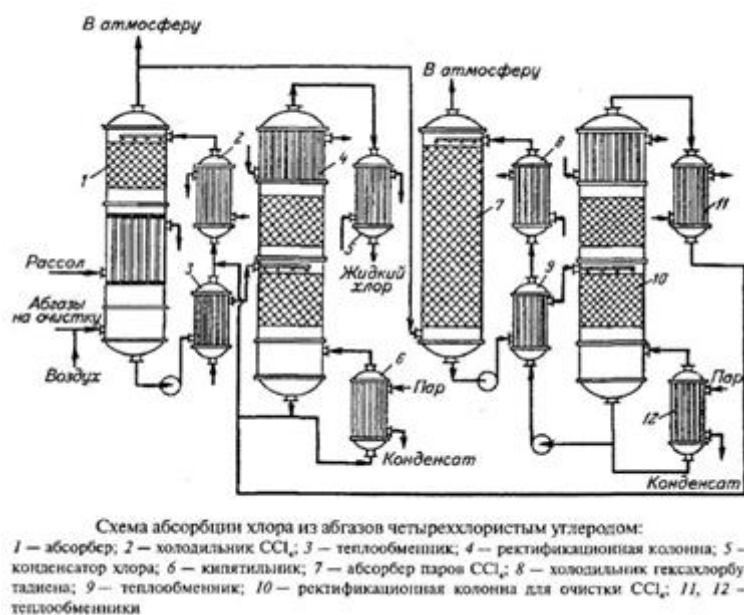


Рис. 1. Принципиальная схема абсорбции хлора из абгазов

Для эффективного управления процессом определены основные контролируемые и регулируемые параметры. Регулированию подлежат: разрежение в коллекторе хлоргаза (поз. РТ1-1, диапазон 0,15–0,75 кПа) клапаном 1-2; температура хлоргаза после теплообменника Е-602 (поз. ТТ4-1, 13–20 °С) клапаном 4-2; уровень в емкости хлорной воды (поз. ЛТ6-1, 35–80 %) клапаном 6-2 и частотными преобразователями насосов. Контролируются также

температура хлоргаза на различных участках, перепад давления на фильтрах (до 2,5 кПа), уровни в емкостях серной кислоты (ТК-602, ТК-603, ТК-605), расход кислоты на подпитку (0,2–0,5 м³/ч), водородный показатель оборотной воды после холодильников (рН не менее 7) и загазованность. Предусмотрена сигнализация при выходе параметров за допустимые границы и блокировки, отключающие насосы при достижении аварийных уровней.

Выбор технических средств автоматизации выполнен с учетом агрессивности сред, взрывопожароопасности и необходимости высокой точности. Для измерения низкого давления и перепада давления применены датчики МИДА-ДА-15 и МИДА-ДД-15 (ПГ «МИДА»). Уровень в емкостях контролируется датчиками перепада давления ОВЕН ПД100И-ДД с ЖК-индикацией. Расход серной кислоты измеряется ротаметром ЭМИС-META 215. Для контроля рН оборотной воды используется рН-метр промышленный рН-4101. Температура измеряется термосопротивлениями ДТС055М.И-РТ100 с унифицированным выходным сигналом. Верхний уровень в автоцистерне контролируется вибрационными сигнализаторами СКАТ-5М. Регулирование осуществляется клапанами 25ч945нж с электроприводом REGADA ST/MT.

В качестве программируемого логического контроллера выбран REGUL R500 (ООО «РегЛаб»), обеспечивающий высокую производительность, поддержку «горячего» резервирования и возможность создания распределенных систем

Разработанная АСУ ТП позволяет обеспечить стабильное ведение технологического процесса, оперативное выявление предаварийных ситуаций и автоматическое поддержание параметров в заданных пределах. Применение современных отечественных средств измерения и контроллерного оборудования гарантирует надежность, масштабируемость и соответствие требованиям промышленной безопасности. Внедрение системы рекомендуется для модернизации действующего производства хлора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крашенинников С. А. Технология соды: учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1988. – 102 с.
2. АСУ на промышленных предприятиях: Методы создания: справочник / С.Б. Михалев, Р.С. Седегов, А.С. Гриберг и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 400 с.
3. Веревкин А.П., Денисов С.В. Современные технологии управления процессами. Учебное пособие. Уфа: Изд. УГНТУ, 2002. – 86 с.
4. Курбатов, Э. В. Разработка автоматизированной системы управления узлом компримирования незаполимеризовавшегося винилхлорида / Э. В. Курбатов, Е. А. Муравьева // Актуальные проблемы и направления развития технологий органического и неорганического синтеза : Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции, Стерлитамак, 14–15 мая 2024 года. – Уфа: ООО «Информреклама», 2024. – С. 127-128. – EDN UKOUEA.
5. Муравьева, Е. А. Разработка нейронной сети для управления процессом пиролиза дихлорэтана с целью повышения эффективности процесса / Е. А. Муравьева, А. И. Николаева // Системная инженерия и информационные технологии. – 2024. – Т. 6, № 4(19). – С. 69-76. – DOI 10.54708/2658-5014-SIT-2024-no4-p69. – EDN BJQURV.
6. Муравьева, Е. А. Разработка НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЩЕЛОЧНОЙ ОТМЫВКИ ИЗОПЕНТАН- ИЗОПРЕН-ТОЛУОЛЬНОЙ ФРАКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА / Е. А. Муравьева, Р. В. Казанцев, Д. В. Подлесский // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2022. – № 2. – С. 120-137. – DOI 10.15593/2224-9400/2022.2.09. – EDN VBWNEW.
7. Голубятников В.А., Шувалов В.В. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности: учебн. для техникумов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1985. – 352 с.
8. Емельянов Д.И., Капник О.В. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справочное пособие по содержанию и оформлению проектов. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 400 с.
9. Патент № 2782565 С1 Российская Федерация, МПК G01N 1/10. Система усредненного отбора пробы воды из контрольного створа для автоматизированного контроля качества поверхностных водотоков : № 2021135386 : заявл. 01.12.2021 : опубл. 31.10.2022 / А. М. Сафаров, Е. С. Кулакова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет". – EDN QSDZTI.

Трифонов В.Н.

ИХТИ УГНТУ в г. Стерлитамаке

Профессор технических наук *Муравьева Е.А.*

Институт химической технологии и инжиниринга в г.Стерлитамаке

Trifonov V.N.

Ihti UGNTU in Sterlitamak

**ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЖИЗНИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТРАСЛЕЙ: ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ КАК
КЛЮЧЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕДИКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ В
АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

**DIGITALIZATION OF LIFE AND AUTOMATION OF INDUSTRIAL
SECTORS: DIGITAL DOUBLES AS A KEY TECHNOLOGY FOR
PREDICTIVE MANAGEMENT IN AUTOMATED PRODUCTION**

Аннотация: В статье рассматривается концепция цифрового двойника (Digital Twin) как динамической, самообучающейся виртуальной копии физического актива, обеспечивающей переход к проактивному управлению. Описана архитектура (физический объект, виртуальная модель, двусторонняя связь данных) и два направления применения: предиктивное управление технологическими процессами (прогнозирование и коррекция параметров для предотвращения брака) и предиктивное техническое обслуживание (прогнозирование остаточного ресурса узлов). Сделан вывод о переходе технологии из экспериментальной в критически важную для «умных» производств, обеспечивающую эффективность, надёжность и конкурентные преимущества.

Abstract: The article discusses the concept of a digital twin (Digital Twin) as a dynamic, self-learning virtual copy of a physical asset that enables the transition to proactive management. It describes the architecture (physical object, virtual model, and two-way data communication) and two areas of application: predictive process control (predicting and correcting parameters to prevent defects) and predictive maintenance (predicting the residual life of components). The article concludes that the technology has transitioned from being experimental to being critical for smart manufacturing, providing efficiency, reliability, and competitive advantages.

Ключевые слова: Цифровой двойник, Digital Twin, предиктивное управление, Predictive Maintenance, автоматизированное производство, виртуальная модель, IIoT, Industry 4.0.

Keywords: Digital Twin, Predictive Maintenance, Automated Manufacturing, Virtual Model, IIoT, Industry 4.0.

Современные задачи повышения эффективности, гибкости и надежности производственных систем требуют перехода от реактивных к проактивным моделям управления. Одной из наиболее перспективных технологий, обеспечивающих такой переход, является концепция цифрового двойника (Digital Twin). Цифровой двойник представляет собой не просто трехмерную модель или симулятор, а динамическую, самообучающуюся виртуальную копию физического актива, которая непрерывно обменивается данными с реальным объектом и позволяет прогнозировать его поведение в различных условиях. Целью данного тезиса является глубокий анализ возможностей применения цифровых двойников для предиктивного управления в автоматизированном производстве.

1. Сущность и архитектура цифрового двойника

Цифровой двойник – это комплексная программная модель, которая состоит из трех ключевых компонентов [1]:

Физический объект: Реальное оборудование (станок, робот, технологическая линия), оснащенное датчиками (сенсорами), исполнительными механизмами и системой сбора данных (SCADA, IoT-шлюзы).

Виртуальная модель: Математическое и компьютерное представление физического объекта, включающее его геометрию, физические свойства, кинематику, логику работы и поведенческие характеристики.

Двусторонняя связь данных: Постоянный обмен информацией между физическим объектом и виртуальной моделью. Данные с датчиков в реальном времени используются для актуализации виртуальной модели, а результаты моделирования и прогнозы могут передаваться обратно для корректировки режимов работы физического объекта.

2. Применение для предиктивного управления и технического обслуживания

Ключевое преимущество цифрового двойника заключается в его способности к прогнозированию. Это реализуется в двух основных направлениях.

2.1. Предиктивное управление технологическими процессами

Цифровой двойник позволяет не просто отслеживать текущие параметры процесса (температуру, давление, скорость), но и моделировать его развитие на несколько шагов вперед. На основе текущих данных и исторической статистики модель прогнозирует ключевые выходные параметры продукции (например, прочность детали после термообработки). Если прогноз показывает отклонение от заданного качества, система в автоматическом или советующем режиме корректирует управляющие воздействия на физическом объекте. Это позволяет устранять отклонения до того, как будет произведен брак. Математически это можно представить как задачу оптимизации:

$$U_{opt} = \arg \min U J(Y_{\text{прогноз}}(U), Y_{\text{цель}}), (1)$$

где:

U_{opt} – вектор оптимальных управляющих воздействий;

U – вектор возможных управляющих воздействий;

J – целевая функция, характеризующая отклонение прогнозируемых параметров $Y_{\text{прогноз}}$ от целевых $Y_{\text{цель}}$.

2.2. Предиктивное техническое обслуживание (Predictive Maintenance)

В отличие от планово-предупредительного обслуживания, которое может приводить к преждевременной замене исправных компонентов, или обслуживания по факту отказа, которое ведет к простоям, предиктивное обслуживание на основе цифрового двойника прогнозирует остаточный ресурс узлов оборудования. Модель двойника, получая данные о вибрации, температуре подшипников, нагрузке на двигатель, сравнивает их с данными о деградации аналогичных узлов и прогнозирует момент наступления критического износа. Это позволяет планировать обслуживание именно тогда, когда оно необходимо, максимизируя время наработки на отказ и минимизируя незапланированные простои.

Технология цифровых двойников переходит из разряда экспериментальных в категорию критически важных для создания конкурентоспособных «умных» производств. Ее способность обеспечивать предиктивное управление и

обслуживание открывает путь к принципиально новому уровню эффективности, надежности и гибкости автоматизированных систем. Несмотря на существующие барьеры, связанные с данными и сложностью моделирования, инвестиции в создание цифровых двойников оказываются стратегически оправданными, обеспечивая значимый экономический эффект и долгосрочные конкурентные преимущества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдулханова, М. Технологии производства материалов и изделий и автоматизация технологических процессов на предприятиях дорожного строительства: учебное пособие / М. Абдулханова, В.А. Воробьев. – М.: Солон-пресс, 2016. – 564 с.
2. Курбатов, Э. В. Разработка автоматизированной системы управления узлом компримирования незаполимеризовавшегося винилхлорида / Э. В. Курбатов, Е. А. Муравьева // Актуальные проблемы и направления развития технологий органического и неорганического синтеза : Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции, Стерлитамак, 14–15 мая 2024 года. – Уфа: ООО «Информреклама», 2024. – С. 127-128. – EDN UKOUEA.
3. Муравьева, Е. А. Разработка нейронной сети для управления процессом пиролиза дихлорэтана с целью повышения эффективности процесса / Е. А. Муравьева, А. И. Николаева // Системная инженерия и информационные технологии. – 2024. – Т. 6, № 4(19). – С. 69-76. – DOI 10.54708/2658-5014-SИТ-2024-no4-p69. – EDN BJQURV.
4. Муравьева, Е. А. Разработка НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЩЕЛОЧНОЙ ОТМЫВКИ ИЗОПЕНТАН- ИЗОПРЕН-ТОЛУОЛЬНОЙ ФРАКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА / Е. А. Муравьева, Р. В. Казанцев, Д. В. Подлесский // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2022. – № 2. – С. 120-137. – DOI 10.15593/2224-9400/2022.2.09. – EDN VBWNEW.
5. Безменов, В.С. Автоматизация процессов дозирования жидкостей в условиях малых производств / В.С. Безменов, В.А. Ефремов, В.В. Руднев. — Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. – 216 с. 4.
6. Бородин, И.Ф. Автоматизация технологических процессов и системы автоматического управления (ССУЗ) / И.Ф. Бородин. – М.: КолосС, 2006. – 352 с. 5.
7. Брюханов, В.Н. Автоматизация производства. / В.Н. Брюханов. – М.: Высшая школа, 2016. – 367 с.
8. Патент № 2782565 С1 Российская Федерация, МПК G01N 1/10. Система усредненного отбора пробы воды из контрольного створа для автоматизированного контроля качества поверхностных водотоков : № 2021135386 : заявл. 01.12.2021 : опубл. 31.10.2022 / А. М. Сафаров, Е. С. Кулакова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет". – EDN QSDZTI.

Абдусаломов А. Б. (Таджикистан)

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Стерлитамаке

Федоров С. В., Фахруллина А. Р.

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
в г. Кумертау

Abdusalamov A. B. (Tajikistan)

Branch of the Ufa State Petroleum Technological University

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ КОЛОННЫ УЛАВЛИВАНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ ДЛЯ АСУ ТП ДВУХСТАДИЙНОГО ДЕГИДРИРОВАНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ

MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE HYDROCARBON RECOVERY COLUMN FOR THE TWO-STAGE HYDROCARBON DEHYDROGENATION PROCESS

Аннотация: в статье описан принцип формирования структуры централизованной автоматизированной системы управления технологическими процессами. Предложены новые схмотехнические решения при построении элементов автоматизированной системы управления. Приведено математическое описание колонны улавливания углеводородов для автоматизированной системы управления технологическим процессом двухстадийного дегидрирования углеводородов на основе экспериментальных характеристик. Проведена идентификация переходного процесса по графикам экспериментальной и расчетной переходной функции.

Abstract: The article describes the principle of forming the structure of a centralized automated process control system. New circuit design solutions are proposed for building elements of an automated control system. A mathematical description of a hydrocarbon recovery column for an automated process control system of two-stage hydrocarbon dehydrogenation based on experimental characteristics is provided. The transient process is identified using graphs of the experimental and calculated transient functions.

Ключевые слова: двухстадийное дегидрирование углеводородов, математическое описание, централизованная автоматизированная система

Keywords: two-stage hydrocarbon dehydrogenation, mathematical description, centralized automated system

Централизованная структура АСУ ТП предполагает концентрацию всех управленческих функций в одном органе. Этот орган собирает и обрабатывает

информацию об объектах, анализирует ее по заданным критериям и вырабатывает управляющие сигналы. Подобные структуры стали актуальны в связи с ростом числа контролируемых и регулируемых параметров, а также часто с территориальной рассредоточенностью объектов управления (рисунок1).

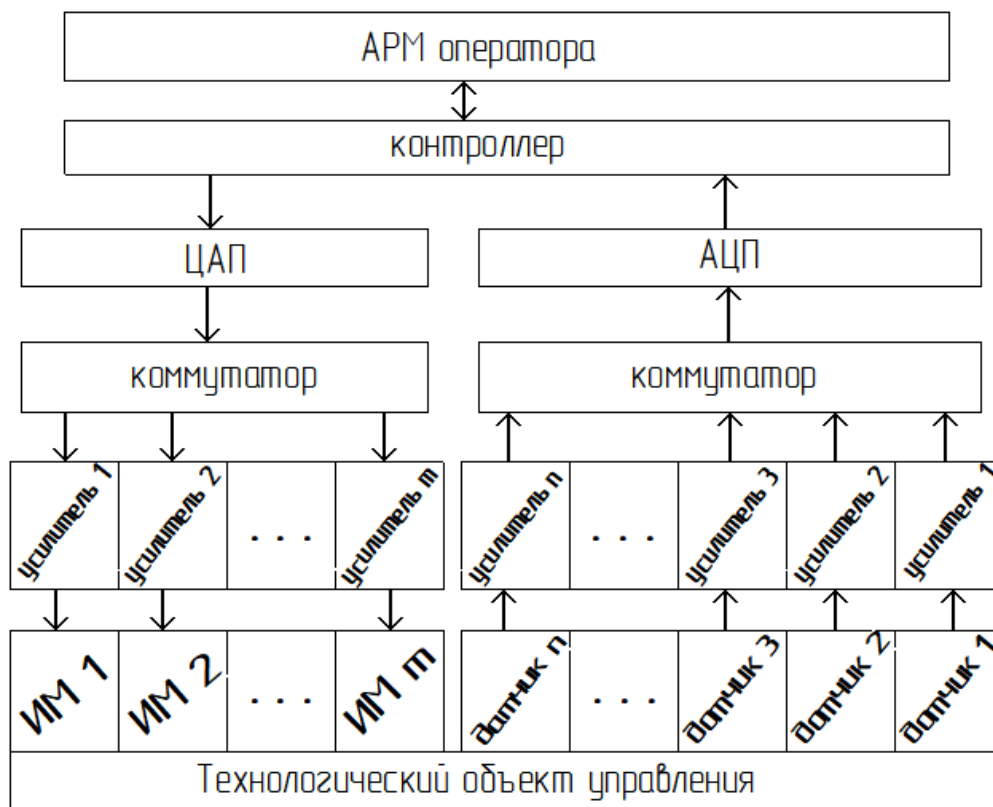


Рис. 1. Структура централизованной АСУ ТП

Входная информация для системы управления формируется посредством сигналов, поступающих с обширной сети сенсоров. К ним относятся датчики, регистрирующие температуру, уровень заполнения, перемещение, давление и прочие физические величины. Учитывая, что первичные сигналы с сенсоров характеризуются низким уровнем, требуется их последующее усиление и приведение к унифицированному диапазону. Реализацию этой задачи обеспечивают усилители, а также нормирующие преобразователи.

На сегодняшний день наиболее перспективным направлением при проектировании усилителей, таких как операционные усилители (ОУ), инструментальные усилители (ИУ) являются мультидифференциальные

операционные усилители (МОУ). Конструктивно МОУ отличаются от классических ОУ использованием в их внутренней структуре добавочных дифференциальных каскадов. В результате исследований по изучению свойств МОУ были выявлены следующие преимущества МОУ перед ОУ и инструментальными усилителями (ИУ):

1. напряжение смещения нуля в МОУ существенно ниже чем в ОУ и ИУ;
2. коэффициент ослабления синфазного сигнала в МОУ имеет более высокое значение по сравнению с ОУ и ИУ;
3. на базе МОУ возможна реализация таких преобразователей, которые не реализуемы на основе ОУ и ИУ;
4. возможность уменьшения элементных затрат при проектировании различных преобразователей.

Поэтому в качестве усилителей предлагается использовать МОУ [1]. Выбор параметров МОУ предлагается осуществлять на основе регрессионного метода [2,3].

При наличии множества датчиков возникает необходимость их последовательного опроса, один за другим. Это достигается путем кратковременного подключения каждого датчика и фиксации его показаний. Ключевую роль в этом процессе играет коммутатор. Он отвечает за то, чтобы в каждый конкретный момент времени только один датчик был соединен с аналого-цифровым преобразователем (АЦП).

В качестве коммутаторов предлагается использовать современные разработки на основе МОУ, такие как многоканальный мультидифференциальный операционный усилитель (ММОУ) [4].

Работа системы характеризуется регулярным считыванием показаний с датчиков, гарантируя постоянное обновление информации. Полученные значения параметров, преобразованные в цифровой формат, поступают в ЭВМ и сохраняются в ее памяти. Далее в ЭВМ осуществляется комплексная обработка данных и расчет управляющих команд для активации исполнительных механизмов.

Для устройств системы аналогового регулирования вычисляется сигнал, пропорциональный режиму работы данного устройства (например, частота вращения двигателя). Эти сигналы преобразуются в электрический вид с помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). Обычно такой преобразователь многоканальный. Сигналы с ЦАП поступают на исполнительные механизмы. В источнике [5] предложена схема ЦАП на основе МОУ, позволяющая получать двухполярное напряжение на выходе, обладающая более высокой разрядностью по сравнению с классическими ЦАП с суммированием взвешенных токов, и более низкой погрешностью смещения нулевого уровня. Данную схему предлагается использовать для ЦАП в структуре АСУ ТП.

Формальную модель объекта можно представить в виде множества величин, описывающих процесс функционирования и образующих в общем случае следующие результирующие величины (в соответствии с рисунком 2).

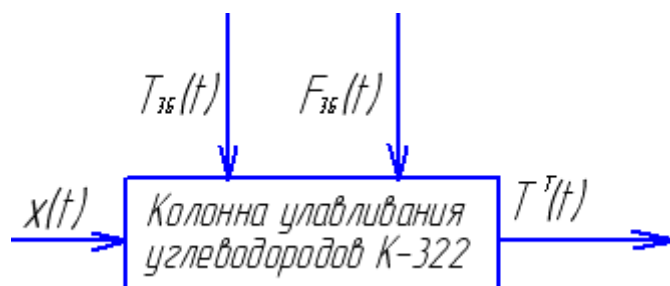


Рис. 2. Объект управления

Регулируемый объект представляет собой колонна улавливания углеводородов К-302 [6].

Регулируемой величиной (выходной) $y(t)$ здесь является температура верха колонны К-302.

Регулирующей величиной (управлением) $x(t)$ является расход антифриза.

Возмущающим воздействием $F_{ЭБ}(t)$ — расход этилбензола, $T_{ЭБ}(t)$ — температура этилбензола.

По данным таблицы 1 строится экспериментальная переходная функция объекта управления $y(t)$ в программе MathCad [7].

Таблица 1

Экспериментальная характеристика

Время, мин.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Входное ступенчатое воздействие, м ³ /час	1.2	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Изменение выходной величины, °С	5	5	4.5	3.8	2.9	2.2	1.7	1	0.3	-0.3	-1.1	-1.7	-1.9	-2

Для построения экспериментальной переходной функции объекта управления на вход подается ступенчатое воздействие $x(t)$ – расход антифриза от 1.2 до 1.8 м³/ч.

На рисунке 3 представлен график скачкообразного внешнего воздействия на объект, выполненный в MathCad. Ниже приведены данные для построения данного графика.

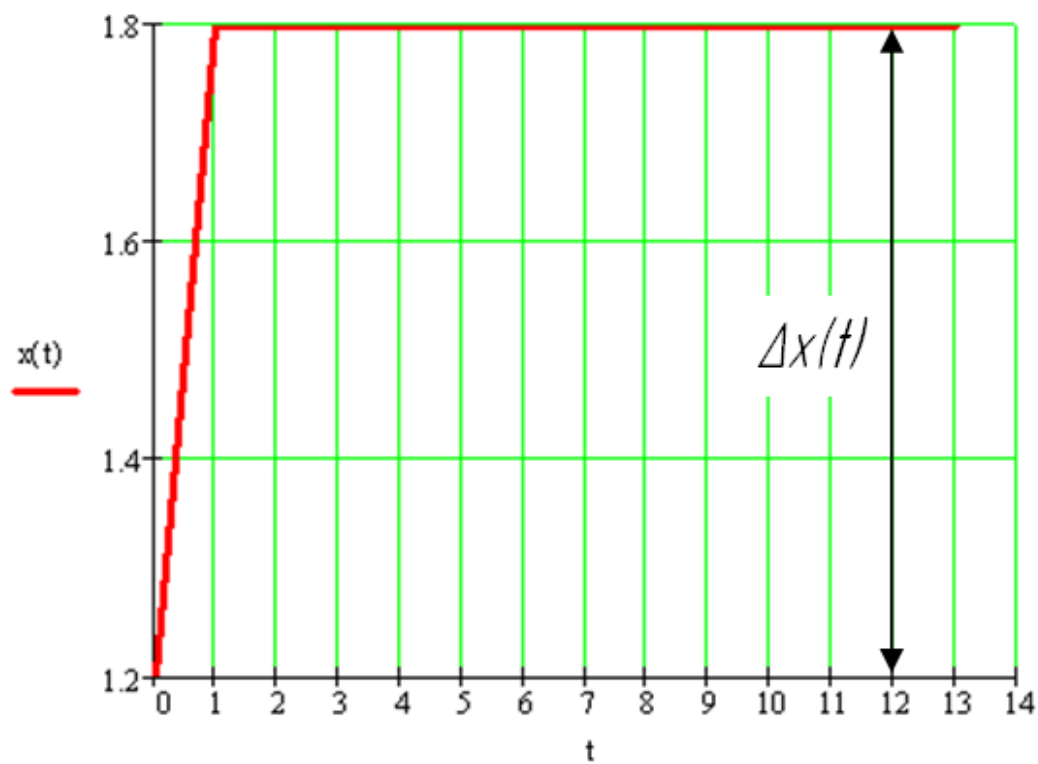


Рис. 3. Входное ступенчатое воздействие $x(t)$

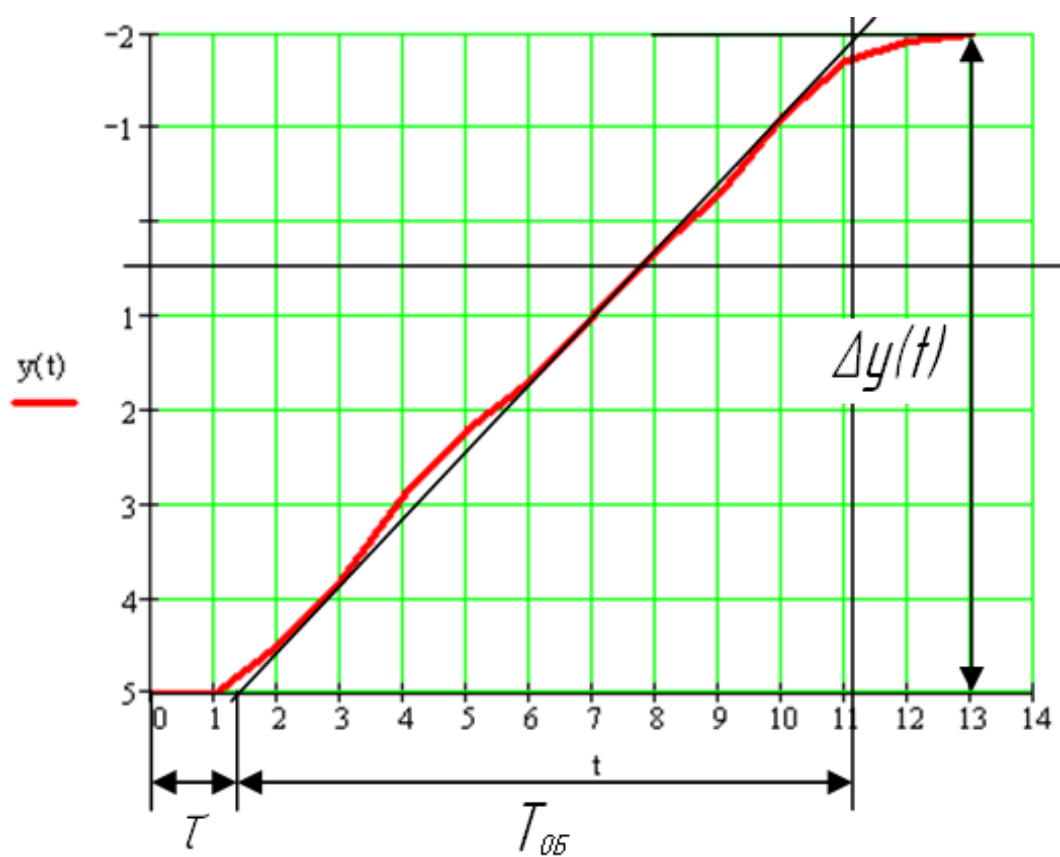


Рис. 4. Экспериментальная переходная функция ОУ $y(t)$

Объект регулирования идентифицируем с помощью графоаналитического метода как апериодическое звено первого порядка с запаздыванием.

Общий вид передаточной функции будет иметь следующий вид:

$$W(p) = \frac{K_{об} e^{-\tau \cdot p}}{T_{об} p + 1}, \quad (1)$$

где $K_{об}$ - коэффициент усиления объекта регулирования;

$T_{об}$ - постоянная времени объекта;

$\tau_{об}$ - время запаздывания объекта.

Постоянная времени объекта $T_{об}$ представляет собой временной отрезок от точки пересечения касательной, проведенной к переходной характеристике с линией установившегося значения параметра.

По графику, приведенному на рисунке 2, определяем, что $T_{об} = 9.9$ мин., $\tau_{об} = 1.3$ мин.

Для статического объекта коэффициент усиления может быть непосредственно найден из графика переходной функции:

$$K_{y0} = \frac{\Delta y}{\Delta x}, \quad (2)$$

где Δy - относительное изменение выходной величины;

Δx - относительное изменение входной величины.

Эти параметры рассчитываются по следующим формулам:

Из графика переходного процесса определяем:

$$\Delta y = 7;$$

$$\Delta x = 0.6$$

Тогда:

$$K_{об} = 7/0.6 = 11.7.$$

В результате, передаточная функция объекта регулирования имеет следующий вид:

$$W(p) = \frac{11.7}{9.9p + 1} e^{-1.3p}$$

В программном пакете Mathcad по полученной передаточной функции определим расчетную переходную функцию объекта управления.

$$\tau := 1.5 \quad T := 12.5 \quad K := -11.7$$

$$W(p) := \frac{K}{T \cdot p + 1} \cdot e^{-p \cdot \tau}$$

$$\frac{W(p)}{p} \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace}, p \\ \text{float}, 2 \end{array} \right. \rightarrow 12 \cdot \Phi(t - 1.5) \cdot \exp\{-8.0 \cdot 10^{-2} \cdot t + .12\} - 12 \cdot \Phi(t - 1.5)$$

$$h(t) := 12 \cdot \Phi(t - 1.5) \cdot \exp\{-8.0 \cdot 10^{-2} \cdot t + .12\} - 12 \cdot \Phi(t - 1.5)$$

$$t := 0, 1 \dots 35$$

Для проведения идентификации переходного процесса построим графики экспериментальной и расчетной переходной функции.

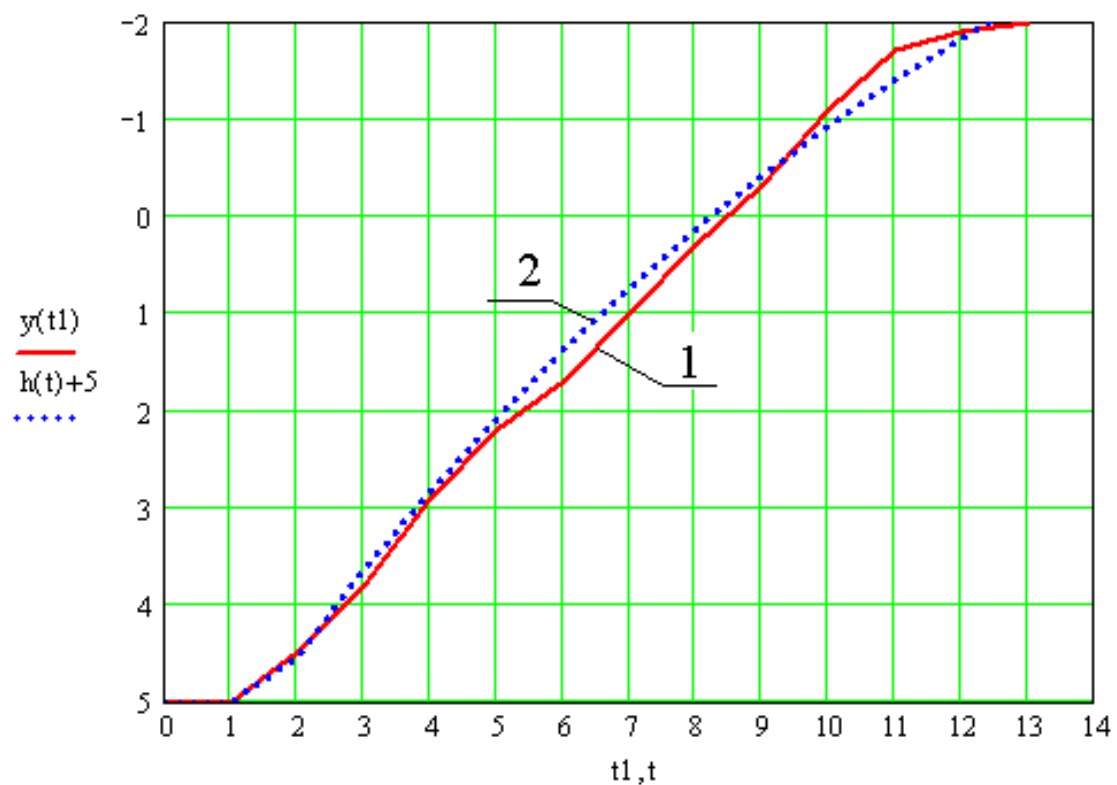


Рис. 5. Идентификация экспериментальной и расчетной переходных функций 1 - расчетная переходная функция $h(t)$, 2 - экспериментальная переходная функция $Y(t)$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров, С. В. Проектирование и исследование мультидифференциального операционного усилителя вторичных преобразователей датчиков для систем контроля и управления / С. В. Федоров // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2021. – № 11. – С. 1-8. – DOI 10.25791/pribor.11.2021.1300. – EDN QMTSVC.
2. Федоров, С. В. Регрессионный метод определения параметров дифференциальных усилителей для интегральных схем / С. В. Федоров // Информатика и системы управления. – 2025. – № 1(83). – С. 57-68. – DOI 10.22250/18142400_2025_83_1_57. – EDN SHNKQQ.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024669469 Российская Федерация. Линейная регрессия вольт-амперной характеристики нелинейной активной нагрузки дифференциальных усилителей на основе чувствительности коэффициента усиления к изменению сопротивления активной нагрузки : № 2024668458 : заявл. 01.08.2024 : опубл. 19.08.2024 / С. В. Федоров. – EDN RQNCHI.
4. Патент № 2821422 С1 Российская Федерация, МПК H03F 3/45. Многоканальный мультидифференциальный операционный усилитель : № 2023131037 : заявл. 28.11.2023 : опубл. 24.06.2024 / С. В. Федоров. – EDN WIJUC.
5. Патент № 2824647 С1 Российская Федерация, МПК H03M 1/06, H03M 1/76. цифроаналоговый преобразователь : № 2023126367 : заявл. 15.10.2023 : опубл. 12.08.2024 / С. В. Федоров. – EDN NBPIGA.
6. Попова Л.М. ТЕХНОЛОГИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ: учебное пособие / ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб., 2019 Часть II. – 65 с.: ил. 20
7. Федоров, С. В. Моделирование управляющих систем : Учебное пособие / С. В. Федоров, А. В. Бондарев. – Уфа : УФИМСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ, 2024. – 108 с. – ISBN 978-5-7477-5877-3. – EDN HBXZIA.

Аллахвердиев Э. Н. (Азербайджан)

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Стерлитамаке

Федоров С. В., Фахруллина А. Р.

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
в г. Кумертау

Allakhverdiyev E.N. (Azerbaijan)

Branch of the Ufa State Petroleum Technological University

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ТУРБОКОМПРЕССОРНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ АСУ ТП УСТАНОВКОЙ ОСУШКИ СЖАТОГО ВОЗДУХА

MATHEMATICAL DESCRIPTION OF A TURBO-COMPRESSOR UNIT FOR AN AUTOMATED COMPRESSED AIR DRYING SYSTEM

Аннотация: в статье описан принцип формирования структуры централизованной автоматизированной системы управления технологическими процессами. Предложены новые схемотехнические решения при построении элементов автоматизированной системы управления. Приведено математическое описание турбокомпрессорного агрегата для автоматизированной системы управления технологическим процессом установкой осушки сжатого воздуха на основе экспериментальных характеристик. Проведена идентификация переходного процесса по графикам экспериментальной и расчетной переходной функции.

Abstract: The article describes the principle of forming the structure of a centralized automated process control system. New circuit design solutions are proposed for building elements of an automated control system. A mathematical description of a turbocharger unit for an automated process control system for a compressed air drying plant is provided based on experimental characteristics. The transient process is identified using graphs of the experimental and calculated transient functions.

Ключевые слова: турбокомпрессорный агрегат, установка осушки сжатого воздуха, математическое описание, централизованная автоматизированная система

Keywords: turbocharger unit, compressed air drying unit, mathematical description, centralized automated system

Централизованная структура АСУ ТП предполагает концентрацию всех управленческих функций в одном органе. Этот орган собирает и обрабатывает информацию об объектах, анализирует ее по заданным критериям и вырабатывает управляющие сигналы. Подобные структуры стали актуальны в

связи с ростом числа контролируемых и регулируемых параметров, а также часто с территориальной рассредоточенностью объектов управления (рисунк1).

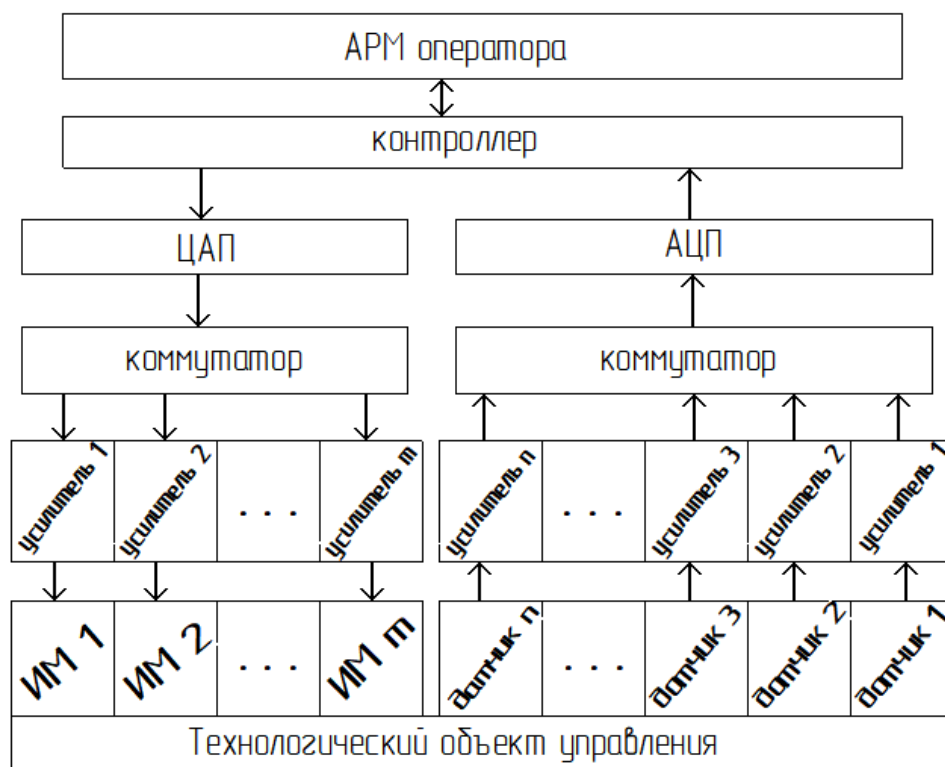


Рис. 1. Структура централизованной АСУ ТП

Входная информация для системы управления формируется посредством сигналов, поступающих с обширной сети сенсоров. К ним относятся датчики, регистрирующие температуру, уровень заполнения, перемещение, давление и прочие физические величины. Учитывая, что первичные сигналы с сенсоров характеризуются низким уровнем, требуется их последующее усиление и приведение к унифицированному диапазону. Реализацию этой задачи обеспечивают усилители, а также нормирующие преобразователи.

На сегодняшний день наиболее перспективным направлением при проектировании усилителей, таких как операционные усилители (ОУ), инструментальные усилители (ИУ) являются мультидифференциальные операционные усилители (МОУ). Конструктивно МОУ отличаются от классических ОУ использованием в их внутренней структуре добавочных дифференциальных каскадов. В результате исследований по изучению свойств

МОУ были выявлены следующие преимущества МОУ перед ОУ и инструментальными усилителями (ИУ):

1. напряжение смещения нуля в МОУ существенно ниже чем в ОУ и ИУ;
2. коэффициент ослабления синфазного сигнала в МОУ имеет более высокое значение по сравнению с ОУ и ИУ;
3. на базе МОУ возможна реализация таких преобразователей, которые не реализуемы на основе ОУ и ИУ;
4. возможность уменьшения элементных затрат при проектировании различных преобразователей.

Поэтому в качестве усилителей предлагается использовать МОУ [1]. Выбор параметров МОУ предлагается осуществлять на основе регрессионного метода [2,3].

При наличии множества датчиков возникает необходимость их последовательного опроса, один за другим. Это достигается путем кратковременного подключения каждого датчика и фиксации его показаний. Ключевую роль в этом процессе играет коммутатор. Он отвечает за то, чтобы в каждый конкретный момент времени только один датчик был соединен с аналого-цифровым преобразователем (АЦП).

В качестве коммутаторов предлагается использовать современные разработки на основе МОУ, такие как многоканальный мультидифференциальный операционный усилитель (ММОУ) [4].

Работа системы характеризуется регулярным считыванием показаний с датчиков, гарантируя постоянное обновление информации. Полученные значения параметров, преобразованные в цифровой формат, поступают в ЭВМ и сохраняются в ее памяти. Далее в ЭВМ осуществляется комплексная обработка данных и расчет управляющих команд для активации исполнительных механизмов.

Для устройств системы аналогового регулирования вычисляется сигнал, пропорциональный режиму работы данного устройства (например, частота вращения двигателя). Эти сигналы преобразуются в электрический вид с

помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). Обычно такой преобразователь многоканальный. Сигналы с ЦАП поступают на исполнительные механизмы. В источнике [5] предложена схема ЦАП на основе МОУ, позволяющая получать двухполярное напряжение на выходе, обладающая более высокой разрядностью по сравнению с классическими ЦАП с суммированием взвешенных токов, и более низкой погрешностью смещения нулевого уровня. Данную схему предлагается использовать для ЦАП в структуре АСУ ТП.

Регулируемый объект представляет собой резервуар турбокомпрессорный агрегат Вп-50/8 [6].

Регулируемой величиной $y(t)$ является давление воздуха.

Регулирующей величиной $x(t)$ является расход воздуха.

Рассматривая технологический процесс регулирования давления, определим передаточную функцию по выбранному каналу управления. Для этого необходимо определить класс данного объекта. По количеству входных и выходных величин объект относится к одномерным объектам (один вход и один выход). Данный объект, как и большинство промышленных объектов управления, имеет запаздывание.

В теории управления объект рассматривается как преобразователь переменных входа $u(t)$, в переменную выхода $y(t)$, как это показано на рисунке 2.

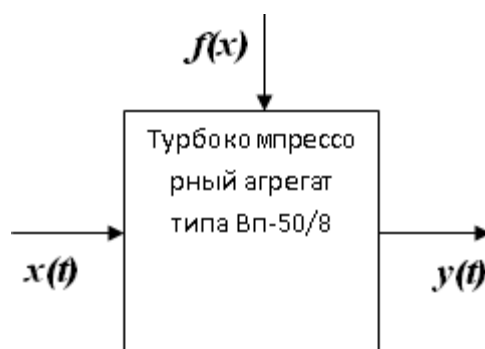


Рис. 2. Структурная схема ОУ

$y(t)$ - регулируемая величина; $x(t)$ - регулирующая величина; $f(x)$ - возмущение

Цель управления, в первую очередь, определяет ограничения на

переменную выхода объекта $y(t)$. Неконтролируемые воздействия среды $f(t)$, называемые возмущениями, вызывают нежелательные отклонения выхода объекта. Для уменьшения этих отклонений на объект оказывают соответствующие управляющие воздействия $u(t)$. Теория управления изучает общие закономерности, присущие системам управления, независимо от их природы.

На рисунке 3 приведена переходная характеристика. Турбокомпрессорный агрегат типа ВП-50/8, полученная экспериментально при подаче на вход объекта регулирования ступенчатого воздействия.

Экспериментальная характеристика рассматриваемого объекта управления представлена в таблице 1.

Таблица 1

Экспериментальные данные

t , мин	0	0,1	0,2	0,3	0,4	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0
$x(t)$, атм	0	23	26	28	32	35	38	40	40	40	40	40	40
$y(t)$, атм	76	77	78	79	80	85	97	105	105	105	105	105	105

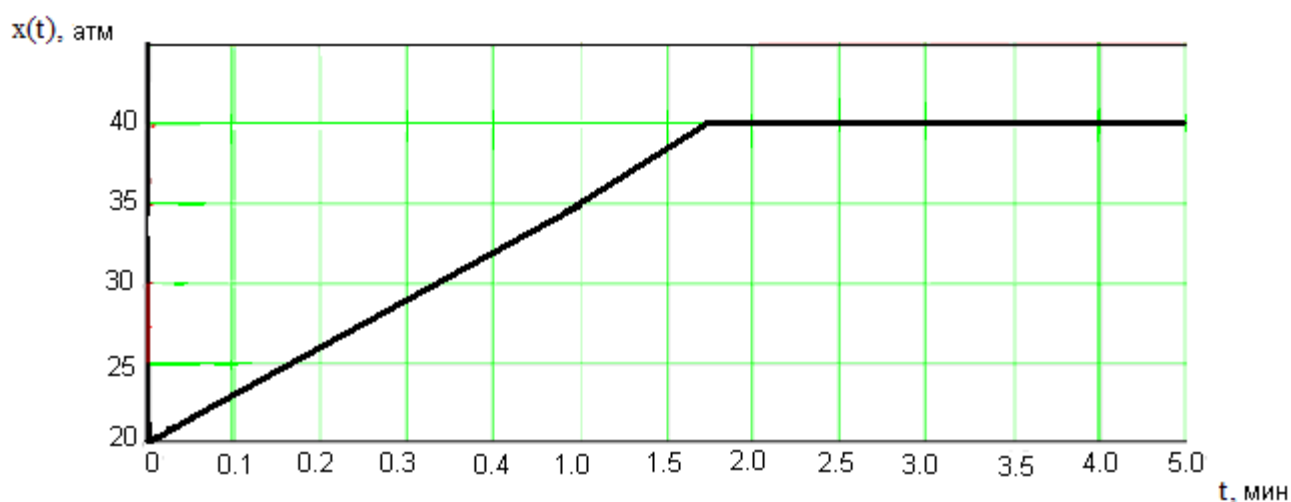


Рис. 3. График скачкообразного входного воздействия

В MathCad построим график, отображающий зависимость изменения выходной величины от времени (рисунок 3) [7].

Исходя из описаний объектов данного типа и вида передаточной функции, делаем вывод, что передаточная функция объекта по каналу управления имеет вид:

$$W(p) = \frac{K_{oy}}{Tp + 1} e^{-p\tau} \quad (1)$$

Величины характеризующие динамические свойства ОУ такие как $K_{об}$ - коэффициент усиления объекта, $T_{об}$ - постоянная времени объекта и τ - время запаздывания объекта можно определить с помощью данного графика.

Коэффициент усиления объекта управления равен:

$$K_{oy} = \Delta y / \Delta x, \quad (2)$$

Таким образом, для объекта управления имеем:

- постоянная времени $T_{об} = 1,0$ мин;
- время запаздывания $\tau = 0,18$ мин;
- коэффициент усиления $K_{oy} = 1$.

Полученные данные об ОУ являются исходными для расчетов настроечных параметров для регулятора.

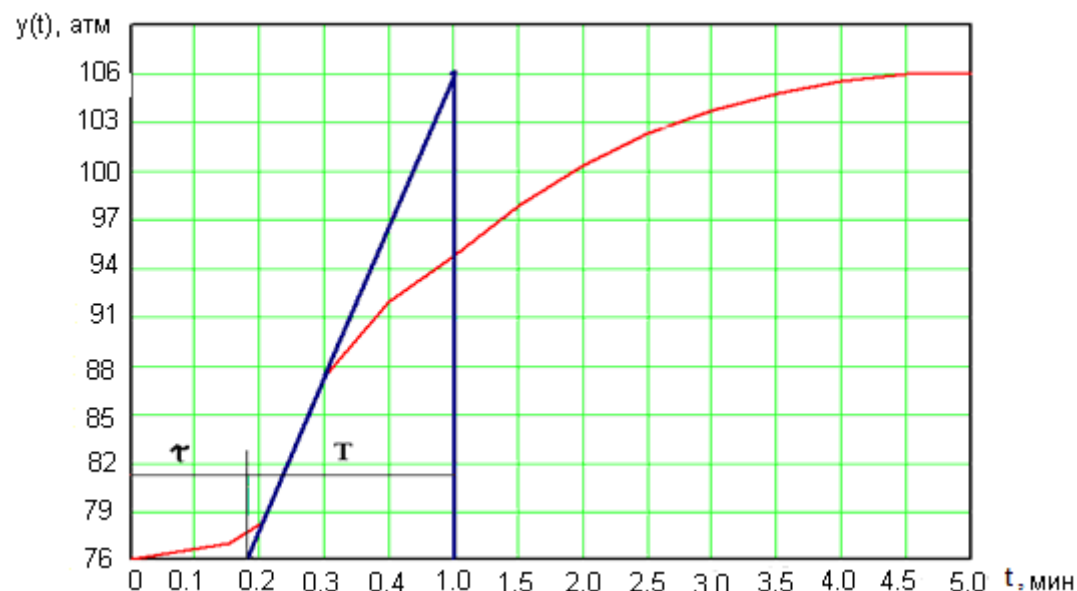


Рис. 4. График идентификации экспериментальной и расчетной переходной функции объекта управления

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров, С. В. Проектирование и исследование мультидифференциального операционного усилителя вторичных преобразователей датчиков для систем контроля и управления / С. В. Федоров // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2021. – № 11. – С. 1-8. – DOI 10.25791/pribor.11.2021.1300. – EDN QMTSVC.
2. Федоров, С. В. Регрессионный метод определения параметров дифференциальных усилителей для интегральных схем / С. В. Федоров // Информатика и системы управления. – 2025. – № 1(83). – С. 57-68. – DOI 10.22250/18142400_2025_83_1_57. – EDN SHNKQQ.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024669469 Российская Федерация. Линейная регрессия вольт-амперной характеристики нелинейной активной нагрузки дифференциальных усилителей на основе чувствительности коэффициента усиления к изменению сопротивления активной нагрузки : № 2024668458 : заявл. 01.08.2024 : опубл. 19.08.2024 / С. В. Федоров. – EDN RQNCHI.
4. Патент № 2821422 С1 Российская Федерация, МПК H03F 3/45. Многоканальный мультидифференциальный операционный усилитель : № 2023131037 : заявл. 28.11.2023 : опубл. 24.06.2024 / С. В. Федоров. – EDN WIJUC.
5. Патент № 2824647 С1 Российская Федерация, МПК H03M 1/06, H03M 1/76. цифроаналоговый преобразователь : № 2023126367 : заявл. 15.10.2023 : опубл. 12.08.2024 / С. В. Федоров. – EDN NBPIGA.
6. Галеркин, Ю. Б. Турбокомпрессоры : рабочий процесс, расчет и проектирование проточной части / Ю. Б. Галеркин ; Ю. Б. Галеркин. – Москва : КХТ, 2010. – ISBN 978-5-9902032-1-1. – EDN QMLKJV.
7. Федоров, С. В. Моделирование управляющих систем : Учебное пособие / С. В. Федоров, А. В. Бондарев. – Уфа : УФИМСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ, 2024. – 108 с. – ISBN 978-5-7477-5877-3. – EDN HBXZIA.

Арманов А. (Казахстан)

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Стерлитамаке

Федоров С. В., Фахруллина А. Р.

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
в г. Кумертау

Armanov A. (Kazakhstan)

Branch of the Ufa State Petroleum Technological University

РАЗРАБОТКА НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАРОВОГО КОТЛА БКЗ 75-3,9

DEVELOPMENT OF A FUZZY CONTROLLER FOR THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF THE BKZ 75-3.9 STEAM BOILER

Аннотация: в статье описан принцип формирования структуры централизованной системы управления технологическими процессами. Предложены новые схемотехнические решения при построении элементов системы управления. Представлена передаточная функция парового котла БКЗ 75-3,9. Осуществлен синтез нечеткого регулятора в пакете Matlab на основе описания функции принадлежности входных и выходных переменных и правила нечеткого логического вывода. Проведено моделирование замкнутой системы интеллектуального управления паровым котлом БКЗ 75-3,9 с нечетким регулятором. На основании моделирования была построена переходная функция и сделаны выводы о качестве переходного процесса.

Abstract: The article describes the principle of forming the structure of a centralized process control system. New circuit design solutions are proposed for building control system elements. The transfer function of the BKZ 75-3.9 steam boiler is presented. A fuzzy controller is synthesized in the Matlab package based on the description of the membership function of input and output variables and the fuzzy inference rule. The closed-loop intelligent control system of the BKZ 75-3.9 steam boiler with a fuzzy controller is simulated. Based on the simulation, a transition function was constructed and conclusions were drawn about the quality of the transition process.

Ключевые слова: паровой котел БКЗ 75-3,9, нечеткий регулятор, интеллектуальная система управления

Keywords: BKZ 75-3.9 steam boiler, fuzzy controller, intelligent control system

Централизованная структура АСУ ТП предполагает концентрацию всех управленческих функций в одном органе. Этот орган собирает и обрабатывает информацию об объектах, анализирует ее по заданным критериям и

вырабатывает управляющие сигналы. Подобные структуры стали актуальны в связи с ростом числа контролируемых и регулируемых параметров, а также часто с территориальной рассредоточенностью объектов управления (рисунк1).

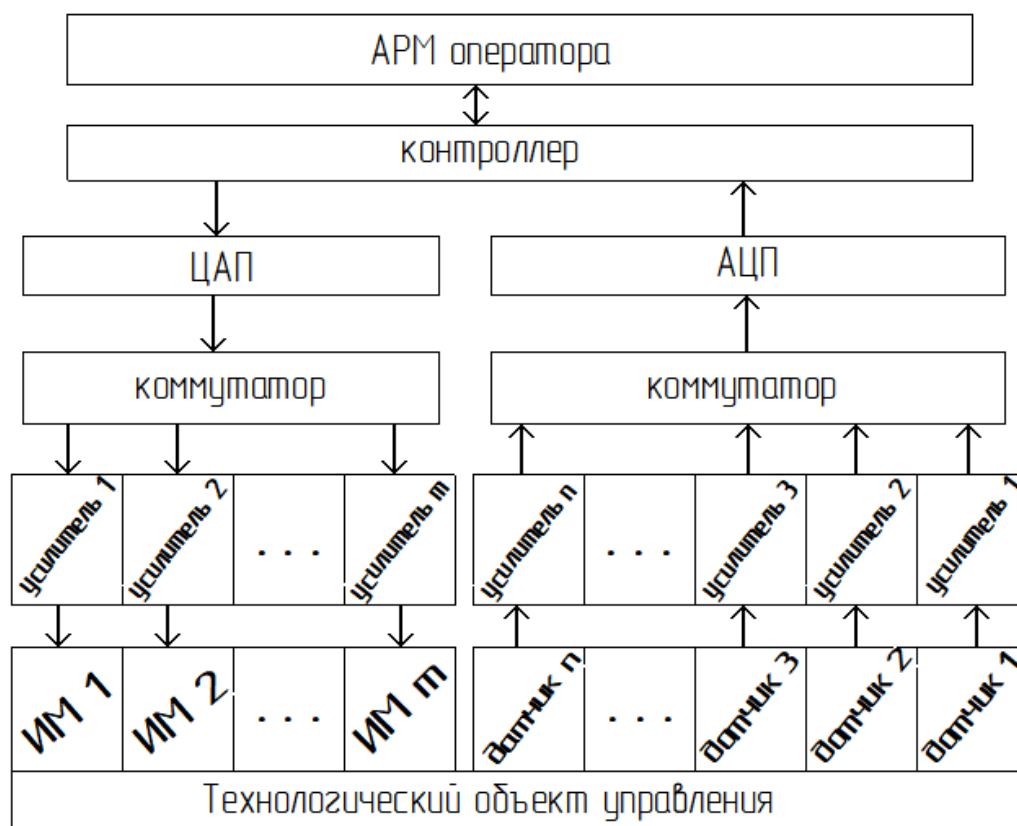


Рис. 1. Структура централизованной АСУ ТП

Входная информация для системы управления формируется посредством сигналов, поступающих с обширной сети сенсоров. К ним относятся датчики, регистрирующие температуру, уровень заполнения, перемещение, давление и прочие физические величины. Учитывая, что первичные сигналы с сенсоров характеризуются низким уровнем, требуется их последующее усиление и приведение к унифицированному диапазону. Реализацию этой задачи обеспечивают усилители, а также нормирующие преобразователи.

На сегодняшний день наиболее перспективным направлением при проектировании усилителей, таких как операционные усилители (ОУ), инструментальные усилители (ИУ) являются мультидифференциальные операционные усилители (МОУ). Конструктивно МОУ отличаются от

классических ОУ использованием в их внутренней структуре добавочных дифференциальных каскадов. В результате исследований по изучению свойств МОУ были выявлены следующие преимущества МОУ перед ОУ и инструментальными усилителями (ИУ):

1. напряжение смещения нуля в МОУ существенно ниже чем в ОУ и ИУ;
2. коэффициент ослабления синфазного сигнала в МОУ имеет более высокое значение по сравнению с ОУ и ИУ;
3. на базе МОУ возможна реализация таких преобразователей, которые не реализуемы на основе ОУ и ИУ;
4. возможность уменьшения элементных затрат при проектировании различных преобразователей.

Поэтому в качестве усилителей предлагается использовать МОУ [1]. Выбор параметров МОУ предлагается осуществлять на основе регрессионного метода [2,3].

При наличии множества датчиков возникает необходимость их последовательного опроса, один за другим. Это достигается путем кратковременного подключения каждого датчика и фиксации его показаний. Ключевую роль в этом процессе играет коммутатор. Он отвечает за то, чтобы в каждый конкретный момент времени только один датчик был соединен с аналого-цифровым преобразователем (АЦП).

В качестве коммутаторов предлагается использовать современные разработки на основе МОУ, такие как многоканальный мультидифференциальный операционный усилитель (ММОУ) [4].

Работа системы характеризуется регулярным считыванием показаний с датчиков, гарантируя постоянное обновление информации. Полученные значения параметров, преобразованные в цифровой формат, поступают в ЭВМ и сохраняются в ее памяти. Далее в ЭВМ осуществляется комплексная обработка данных и расчет управляющих команд для активации исполнительных механизмов.

Для устройств системы аналогового регулирования вычисляется сигнал, пропорциональный режиму работы данного устройства (например, частота вращения двигателя). Эти сигналы преобразуются в электрический вид с помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). Обычно такой преобразователь многоканальный. Сигналы с ЦАП поступают на исполнительные механизмы. В источнике [5] предложена схема ЦАП на основе МОУ, позволяющая получать двухполярное напряжение на выходе, обладающая более высокой разрядностью по сравнению с классическими ЦАП с суммированием взвешенных токов, и более низкой погрешностью смещения нулевого уровня. Данную схему предлагается использовать для ЦАП в структуре АСУ ТП.

Проектирование регулятора проводилось в приложении «fuzzy» пакета MATLAB. В качестве алгоритма управления реализован нечеткий ПД-регулятор. Для примера взят паровой котел БКЗ 75-39 со следующими данными:

- Топливо – мазут.
- Канал: расход топлива – давление пара за барабаном
- Передаточная функция – $W(p) = \frac{0.2 \cdot e^{-13p}}{24p+1}$
- Размерность коэффициента передачи $\frac{\text{МПа}}{\text{т/ч}}$

Для охвата всего диапазона динамических нагрузок были заданы следующие параметры переменных (см. табл. 1-3 и рис. 2-4):

Таблица 1

Входная переменная 1: Ошибка скорости €

Терм	Значение	x1	x2	x3	Range
N	Отрицательная	-2.16	-1.2	-0.24	[-1.2 1.2]
Z	Норма	-0.96	0	0.96	
P	Положительная	0.24	1.2	2.16	

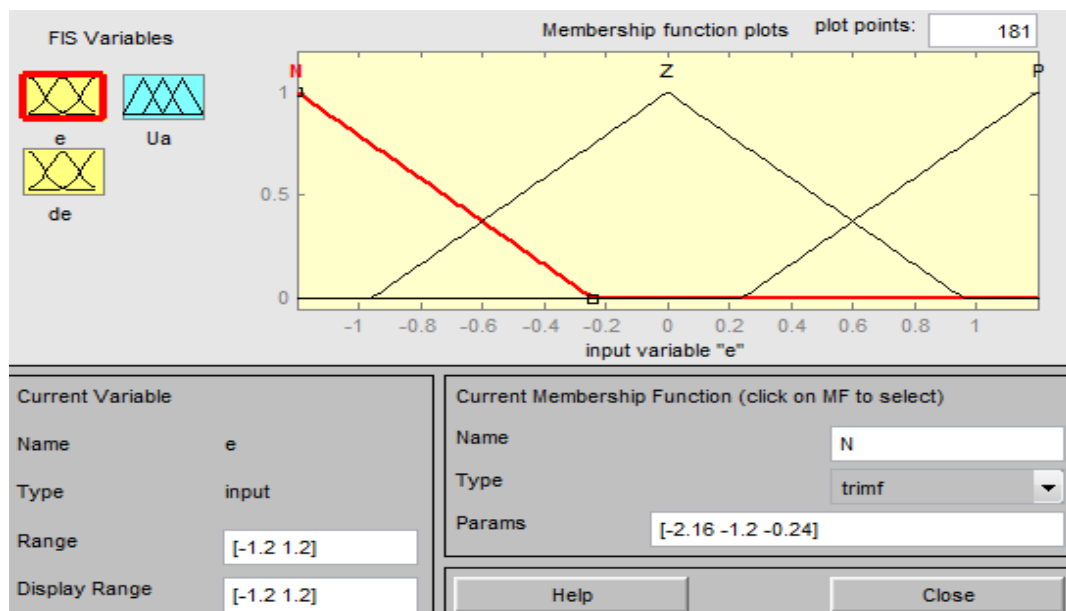


Рис. 2. Входная переменная 1: Ошибка скорости (e)

Таблица 2

Входная переменная 1: Ошибка скорости (e)

Терм	Значение	x1	x2	x3	Range
N	Отрицательная	-2.16	-1.2	-0.24	[-1.2 1.2]
Z	Норма	-0.96	0	0.96	
P	Положительная	0.24	1.2	2.16	

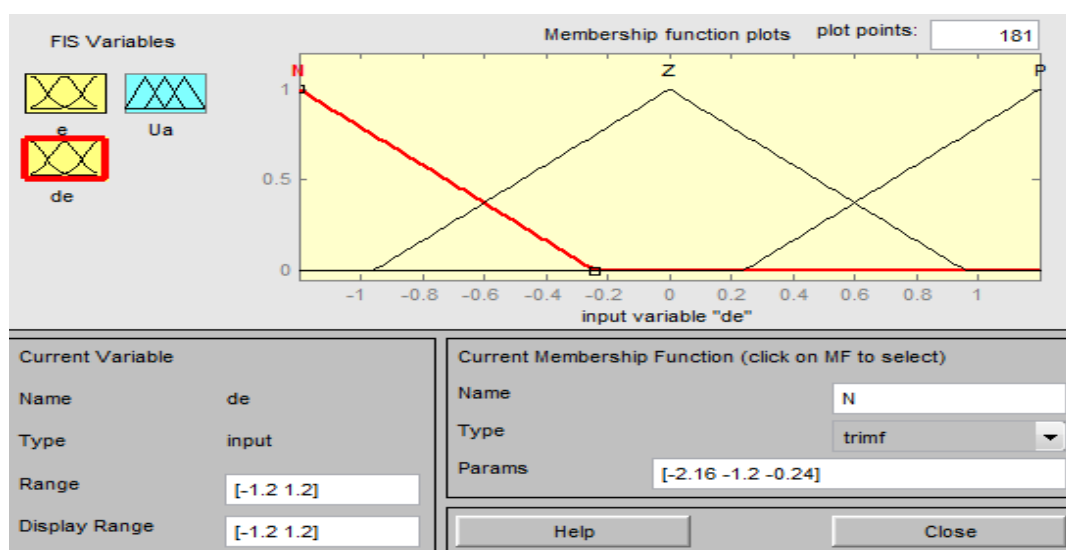
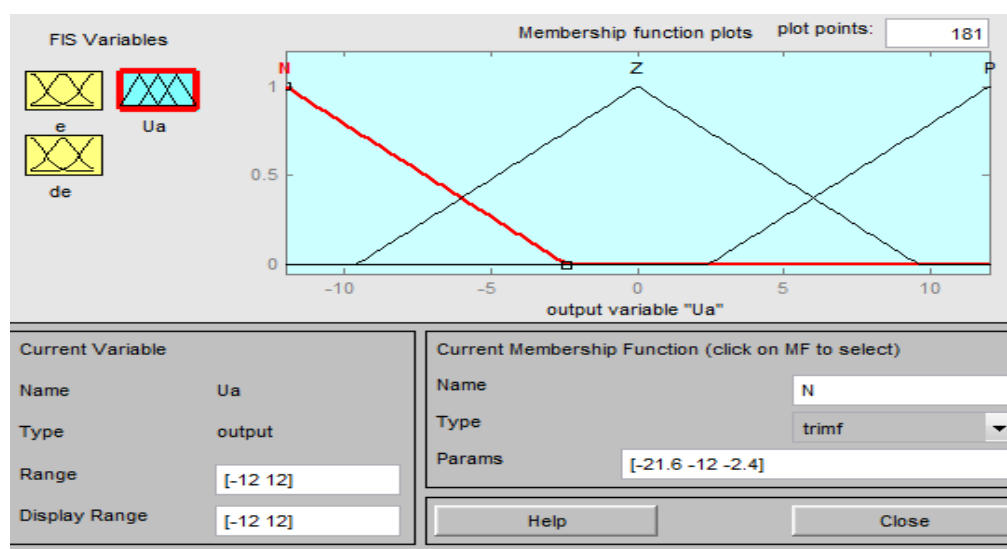


Рис. 3. Входная переменная 2: Производная ошибки (de)

Входная переменная 1: Ошибка скорости (e)

Терм	Значение	x1	x2	x3	Range
N	Отрицательная	-21.6	-12	-2.4	[-12 12]
Z	Норма	-9.6	0	9.6	
P	Положительная	24	12	21.6	

Рис. 4. Выходная переменная: Управляющее напряжение (U_a)

Была разработана база из 9 продукционных нечетких правил:

- Правило 1: если $e = N$ и $de = N$, то $U_a = N$;
- Правило 2: если $e = Z$ и $de = N$, то $U_a = N$;
- Правило 3: если $e = P$ и $de = N$, то $U_a = Z$;
- Правило 4: если $e = N$ и $de = Z$, то $U_a = N$;
- Правило 5: если $e = Z$ и $de = Z$, то $U_a = Z$;
- Правило 6: если $e = P$ и $de = Z$, то $U_a = P$;
- Правило 7: если $e = N$ и $de = P$, то $U_a = Z$;
- Правило 8: если $e = Z$ и $de = P$, то $U_a = P$;
- Правило 9: если $e = P$ и $de = P$, то $U_a = P$.

		de/dt		
		N	P	Z
e	N	N	Z	N
	P	Z	P	P
	Z	N	P	Z

В среде визуального моделирования Simulink была собрана схема замкнутой системы, представленная на рис. 5.

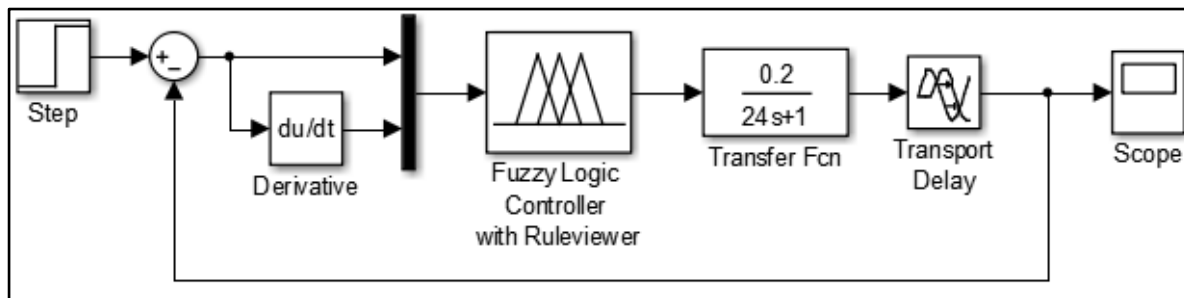


Рис. 5. Функциональная схема ЭМС в Simulink

Блоки на схеме:

1) Step – задает желаемое значение. (управляющее воздействие).

2) Derivative (du/dt) – блок вычисления производной от сигнала ошибки.

Вычисляет скорость изменения ошибки, формируя второй входной сигнал для регулятора.

3) Fuzzy Logic Controller with Ruleviewer – в блок загружена экспортированная из рабочей области переменная, содержащая базу продукционных правил.

4) Transfer Fcn – передаточная функция электрической части.

5) Transport Delay – задерживает входной сигнал на заданно времени.

Используется для временных задержек.

Результаты моделирования представлены на рис 6.

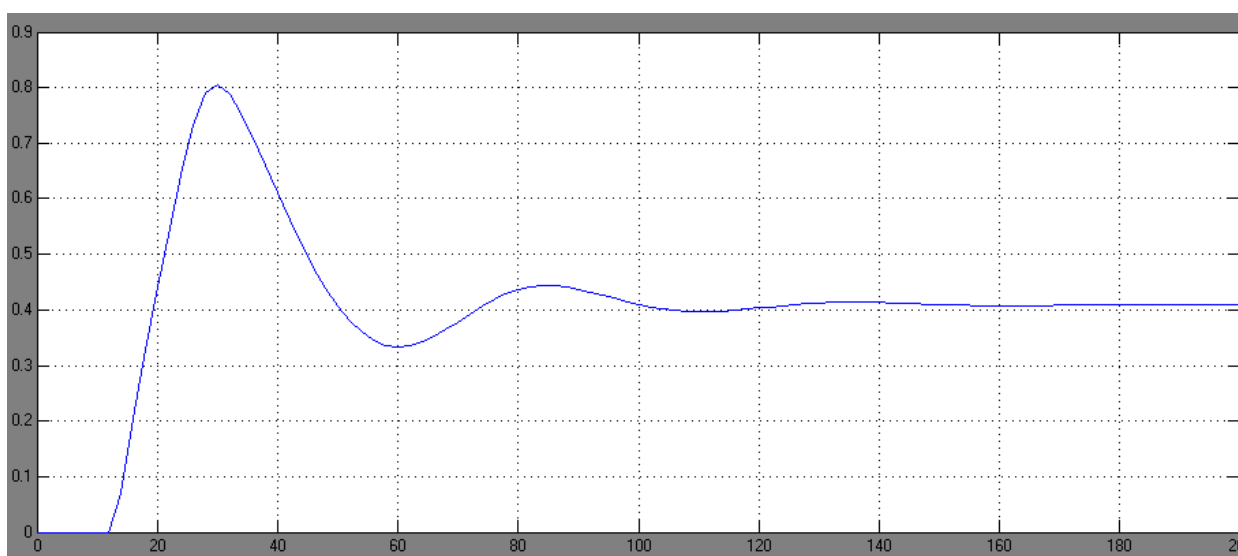


Рис. 6. Результат моделирования схемы системы интеллектуального управления

В начальный момент времени реакция системы отсутствует. Выходная величина (давление) начинает изменяться только после $t = 13$ с, что строго соответствует звену транспортного запаздывания e^{-13p} в передаточной функции объекта.

Переходный процесс носит ярко выраженный колебательный, затухающий характер:

- Первое максимальное отклонение (пик) достигается примерно на $t = 30$ с и составляет значение около 0.8;
- После прохождения максимума наблюдается спад до локального минимума (≈ 0.33 на $t = 60$ с), за которым следует затухающая волна.

Система практически полностью успокаивается и входит в 5%-ную зону установившегося значения примерно к $t = 180...200$ с.

Процесс стабилизируется на уровне примерно 0.41 (при задающем воздействии, равном 1.0). Таким образом, в системе присутствует значительная статическая ошибка $e_{уст} \approx 0.59$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров, С. В. Проектирование и исследование мультидифференциального операционного усилителя вторичных преобразователей датчиков для систем контроля и управления / С. В. Федоров // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2021. – № 11. – С. 1-8. – DOI 10.25791/pribor.11.2021.1300. – EDN QMTSVC.
2. Федоров, С. В. Регрессионный метод определения параметров дифференциальных усилителей для интегральных схем / С. В. Федоров // Информатика и системы управления. – 2025. – № 1(83). – С. 57-68. – DOI 10.22250/18142400_2025_83_1_57. – EDN SHNKQQ.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024669469 Российская Федерация. Линейная регрессия вольт-амперной характеристики нелинейной активной нагрузки дифференциальных усилителей на основе чувствительности коэффициента усиления к изменению сопротивления активной нагрузки : № 2024668458 : заявл. 01.08.2024 : опубл. 19.08.2024 / С. В. Федоров. – EDN RQNCHI.
4. Патент № 2821422 С1 Российская Федерация, МПК H03F 3/45. Многоканальный мультидифференциальный операционный усилитель : № 2023131037 : заявл. 28.11.2023 : опубл. 24.06.2024 / С. В. Федоров. – EDN WIJUC.
5. Патент № 2824647 С1 Российская Федерация, МПК H03M 1/06, H03M 1/76. цифроаналоговый преобразователь : № 2023126367 : заявл. 15.10.2023 : опубл. 12.08.2024 / С. В. Федоров. – EDN NBIIGA.

Астанов Али Черкез Оглы (Азербайджан)

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Стерлитамаке

Федоров С. В., Фахруллина А. Р.

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
в г. Кумертау

Astanov Ali Cherkiz Ogly (Azerbaijan)

Branch of the Ufa State Petroleum Technological University

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАРОВОГО КОТЛА БКЗ-210-140Ф НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА

RESEARCH OF THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF THE BKZ-210- 140F STEAM BOILER BASED ON A FUZZY CONTROLLER

Аннотация: в статье описан принцип формирования структуры централизованной системы управления технологическими процессами. Предложены новые схемотехнические решения при построении элементов системы управления. Представлена передаточная функция парового котла БКЗ-210-140Ф. Осуществлен синтез нечеткого регулятора в пакете Matlab на основе описания функции принадлежности входных и выходных переменных и правила нечеткого логического вывода. Проведено моделирование замкнутой системы интеллектуального управления паровым котлом БКЗ-210-140Ф с нечетким регулятором. На основании моделирования была построена переходная функция и сделаны выводы о качестве переходного процесса.

Abstract: The article describes the principle of forming the structure of a centralized process control system. New circuit design solutions are proposed for building control system elements. The transfer function of the BKZ-210-140F steam boiler is presented. A fuzzy controller is synthesized in the Matlab package based on the description of the membership function of input and output variables and the fuzzy inference rule. The closed-loop intelligent control system of the BKZ-210-140F steam boiler with a fuzzy controller is simulated. Based on the simulation, a transition function was constructed and conclusions were drawn about the quality of the transition process.

Ключевые слова: паровой котел БКЗ-210-140Ф, нечеткий регулятор, интеллектуальная система управления

Keywords: BKZ-210-140F steam boiler, fuzzy controller, intelligent control system

Централизованная структура АСУ ТП предполагает концентрацию всех управленческих функций в одном органе. Этот орган собирает и обрабатывает

информацию об объектах, анализирует ее по заданным критериям и вырабатывает управляющие сигналы. Подобные структуры стали актуальны в связи с ростом числа контролируемых и регулируемых параметров, а также часто с территориальной рассредоточенностью объектов управления (рисунок1).

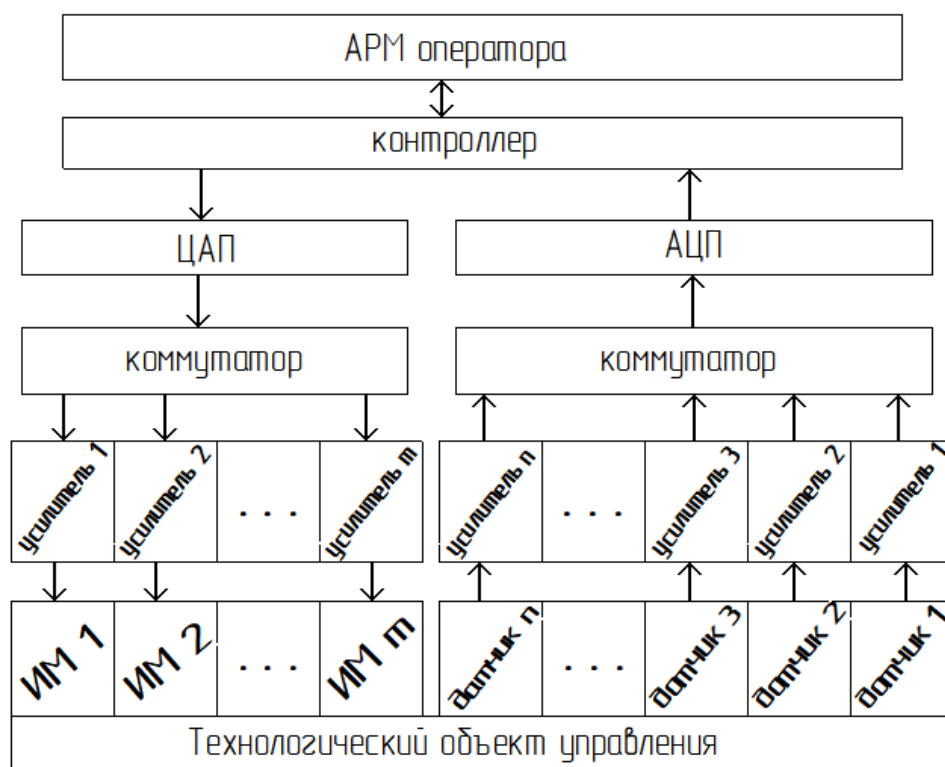


Рис. 1. Структура централизованной АСУ ТП

Входная информация для системы управления формируется посредством сигналов, поступающих с обширной сети сенсоров. К ним относятся датчики, регистрирующие температуру, уровень заполнения, перемещение, давление и прочие физические величины. Учитывая, что первичные сигналы с сенсоров характеризуются низким уровнем, требуется их последующее усиление и приведение к унифицированному диапазону. Реализацию этой задачи обеспечивают усилители, а также нормирующие преобразователи.

На сегодняшний день наиболее перспективным направлением при проектировании усилителей, таких как операционные усилители (ОУ), инструментальные усилители (ИУ) являются мультидифференциальные

операционные усилители (МОУ). Конструктивно МОУ отличаются от классических ОУ использованием в их внутренней структуре добавочных дифференциальных каскадов. В результате исследований по изучению свойств МОУ были выявлены следующие преимущества МОУ перед ОУ и инструментальными усилителями (ИУ):

1. напряжение смещения нуля в МОУ существенно ниже чем в ОУ и ИУ;
2. коэффициент ослабления синфазного сигнала в МОУ имеет более высокое значение по сравнению с ОУ и ИУ;
3. на базе МОУ возможна реализация таких преобразователей, которые не реализуемы на основе ОУ и ИУ;
4. возможность уменьшения элементных затрат при проектировании различных преобразователей.

Поэтому в качестве усилителей предлагается использовать МОУ [1]. Выбор параметров МОУ предлагается осуществлять на основе регрессионного метода [2,3].

При наличии множества датчиков возникает необходимость их последовательного опроса, один за другим. Это достигается путем кратковременного подключения каждого датчика и фиксации его показаний. Ключевую роль в этом процессе играет коммутатор. Он отвечает за то, чтобы в каждый конкретный момент времени только один датчик был соединен с аналого-цифровым преобразователем (АЦП).

В качестве коммутаторов предлагается использовать современные разработки на основе МОУ, такие как многоканальный мультидифференциальный операционный усилитель (ММОУ) [4].

Работа системы характеризуется регулярным считыванием показаний с датчиков, гарантируя постоянное обновление информации. Полученные значения параметров, преобразованные в цифровой формат, поступают в ЭВМ и сохраняются в ее памяти. Далее в ЭВМ осуществляется комплексная обработка данных и расчет управляющих команд для активации исполнительных механизмов.

Для устройств системы аналогового регулирования вычисляется сигнал, пропорциональный режиму работы данного устройства (например, частота вращения двигателя). Эти сигналы преобразуются в электрический вид с помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). Обычно такой преобразователь многоканальный. Сигналы с ЦАП поступают на исполнительные механизмы. В источнике [5] предложена схема ЦАП на основе МОУ, позволяющая получать двухполярное напряжение на выходе, обладающая более высокой разрядностью по сравнению с классическими ЦАП с суммированием взвешенных токов, и более низкой погрешностью смещения нулевого уровня. Данную схему предлагается использовать для ЦАП в структуре АСУ ТП.

Проектирование регулятора проводилось в приложении «fuzzy» пакета MATLAB. В качестве алгоритма управления реализован нечеткий ПД-регулятор. Для примера взят паровой котел БКЗ-210-140Ф со следующими данными:

- Канал: угол наклона лопаток направляющего аппарата дутьевого вентилятора – перепад давлений на воздухоподогревателе
- Передаточная функция – $W(p) = \frac{1.5 \cdot e^{3p}}{15p+1}$
- Размерность коэффициента передачи - $\frac{\text{Па}}{\theta_{\text{НАКЛОНА}}}$

Для охвата всего диапазона динамических нагрузок были заданы следующие параметры переменных (см. табл. 1-3):

Таблица 1

Входная переменная 1: Ошибка скорости (e)

Терм	Значение	x1	x2	x3	Range
N	Отрицательная	-1.8	-1	-0.2	[-1 1]
Z	Норма	-0.8	0	0.8	
P	Положительная	0.2	1	1.8	

Таблица 2

Входная переменная 1: Ошибка скорости (e)

Терм	Значение	x1	x2	x3	Range
N	Отрицательная	-2.16	-1.2	-0.24	[-1.2 1.2]
Z	Норма	-0.96	0	0.96	
P	Положительная	0.24	1.2	2.16	

Таблица 3

Входная переменная 1: Ошибка скорости (e)

Терм	Значение	x1	x2	x3	Range
N	Отрицательная	-21.6	-12	-2.4	[-12 12]
Z	Норма	-9.6	0	9.6	
P	Положительная	24	12	21.6	

Была разработана база из 9 продукционных нечетких правил:

- Правило 1: если $e = N$ и $de = N$, то $U_a = N$;
- Правило 2: если $e = Z$ и $de = N$, то $U_a = N$;
- Правило 3: если $e = P$ и $de = N$, то $U_a = Z$;
- Правило 4: если $e = N$ и $de = Z$, то $U_a = N$;
- Правило 5: если $e = Z$ и $de = Z$, то $U_a = Z$;
- Правило 6: если $e = P$ и $de = Z$, то $U_a = P$;
- Правило 7: если $e = N$ и $de = P$, то $U_a = Z$;
- Правило 8: если $e = Z$ и $de = P$, то $U_a = P$;
- Правило 9: если $e = P$ и $de = P$, то $U_a = P$.

		de/dt		
		<i>N</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>
<i>e</i>	<i>N</i>	N	Z	N
	<i>P</i>	Z	P	P
	<i>Z</i>	N	P	Z

В среде визуального моделирования Simulink была собрана схема замкнутой системы, представленная на рис. 2.

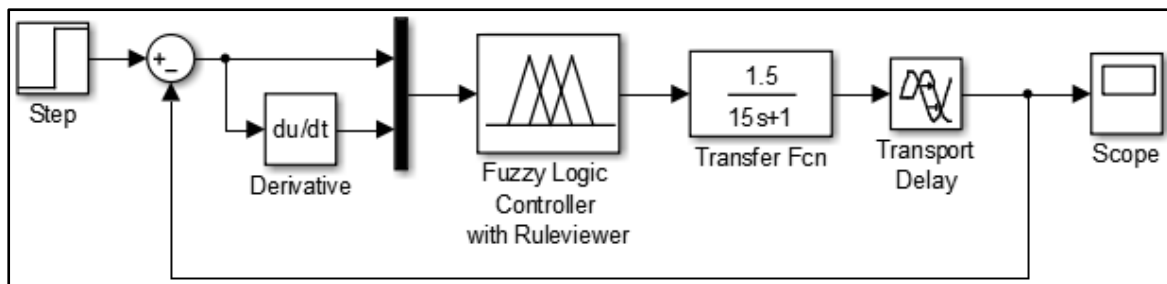


Рис. 2 – Функциональная схема ЭМС в Simulink

Блоки на схеме:

- 1) Step – задает желаемое значение. (управляющее воздействие).
- 2) Derivative (du/dt) – блок вычисления производной от сигнала ошибки. Вычисляет скорость изменения ошибки, формируя второй входной сигнал для регулятора.
- 3) Fuzzy Logic Controller with Ruleviewer – в блок загружена экспортированная из рабочей области переменная, содержащая базу продукционных правил.
- 4) Transfer Fcn – передаточная функция электрической части.
- 5) Transport Delay – задерживает входной сигнал на заданно времени.

Используется для временных задержек.

Результаты моделирования представлены на рис 3.

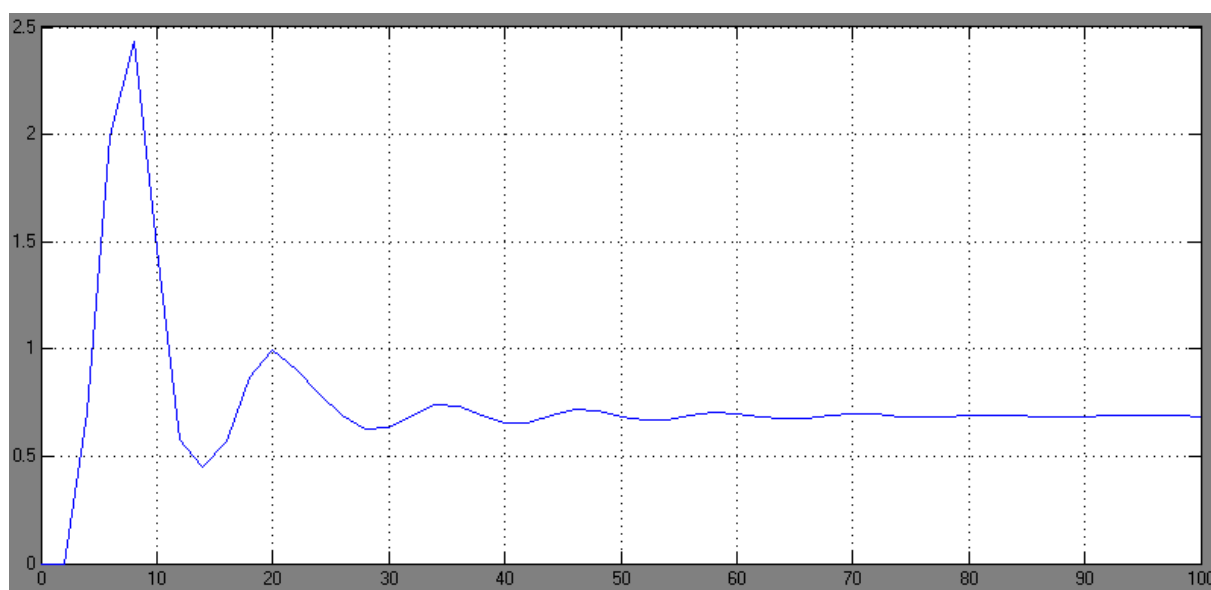


Рис. 3. Результат моделирования схемы системы интеллектуального управления

В начальный момент времени реакция системы отсутствует. Выходная величина начинает изменяться только после отметки $t = 3$ с, что строго соответствует звену транспортного запаздывания e^{-3p} в математической модели объекта управления.

Процесс носит ярко выраженный колебательный характер с экстремально высоким перерегулированием. Первое максимальное отклонение (пик) достигается примерно на $t \approx 8...9$ с и составляет около 2.45. При единичном задающем воздействии это означает перерегулирование порядка 145%.

После прохождения первого максимума наблюдается серия затухающих колебаний. Амплитуда колебаний быстро снижается (первый минимум на отметке около 0.45 при $t \approx 14$ с).

Система гасит основные колебания и входит в установившийся режим примерно к $t = 60...70$ с.

Переходный процесс стабилизируется на уровне примерно 0.68 (при задающем воздействии, равном 1.0). Таким образом, в системе присутствует статическая ошибка, равная ≈ 0.32 .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров, С. В. Проектирование и исследование мультидифференциального операционного усилителя вторичных преобразователей датчиков для систем контроля и управления / С. В. Федоров // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2021. – № 11. – С. 1-8. – DOI 10.25791/pribor.11.2021.1300. – EDN QMTSVC.
2. Федоров, С. В. Регрессионный метод определения параметров дифференциальных усилителей для интегральных схем / С. В. Федоров // Информатика и системы управления. – 2025. – № 1(83). – С. 57-68. – DOI 10.22250/18142400_2025_83_1_57. – EDN SHNKQQ.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024669469 Российская Федерация. Линейная регрессия вольт-амперной характеристики нелинейной активной нагрузки дифференциальных усилителей на основе чувствительности коэффициента усиления к изменению сопротивления активной нагрузки : № 2024668458 : заявл. 01.08.2024 : опубл. 19.08.2024 / С. В. Федоров. – EDN RQNCHI.
4. Патент № 2821422 С1 Российская Федерация, МПК H03F 3/45. Многоканальный мультидифференциальный операционный усилитель : № 2023131037 : заявл. 28.11.2023 : опубл. 24.06.2024 / С. В. Федоров. – EDN WIJUC.
5. Патент № 2824647 С1 Российская Федерация, МПК H03M 1/06, H03M 1/76. цифроаналоговый преобразователь : № 2023126367 : заявл. 15.10.2023 : опубл. 12.08.2024 / С. В. Федоров. – EDN NBIIGA.

Ахмед Ислам Махмуд Халаф (Египет)

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Стерлитамаке

Федоров С. В., Фахруллина А. Р.

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
в г. Кумертау

Ahmed Islam Mahmoud Khalaf (Egypt)

Branch of the Ufa State Petroleum Technological University

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ БАРАБАННОЙ КОНВЕКТИВНОЙ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ ДЛЯ СУШКИ ЖЕЛЕЗНОГО КОНЦЕНТРАТА В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

FUZZY LOGIC-BASED AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR A DRUM CONVECTIVE DRYING UNIT FOR DRYING IRON CONCENTRATE IN THE MINING INDUSTRY

Аннотация: в статье описан принцип формирования структуры централизованной системы управления технологическими процессами. Предложены новые схемотехнические решения при построении элементов системы управления. Представлена передаточная функция барабанной конвективной сушильной установки для сушки железного концентрата. Осуществлен синтез нечеткого регулятора в пакете Matlab на основе описания функции принадлежности входных и выходных переменных и правила нечеткого логического вывода. Проведено моделирование замкнутой системы интеллектуального управления барабанной конвективной сушильной установкой для сушки железного концентрата с нечетким регулятором. На основании моделирования была построена переходная функция и сделаны выводы о качестве переходного процесса.

Abstract: The article describes the principle of forming the structure of a centralized process control system. New circuit design solutions are proposed for building control system elements. The transfer function of a drum convective dryer for drying iron concentrate is presented. A fuzzy controller is synthesized in the Matlab package based on the description of the membership function of input and output variables and the fuzzy inference rule. The closed-loop intelligent control system of a drum convective dryer for drying iron concentrate with a fuzzy controller is simulated. Based on the simulation, a transition function was constructed and conclusions were drawn about the quality of the transition process.

Ключевые слова: барабанной конвективной сушильная установка, сушка железного концентрата, нечеткий регулятор, интеллектуальная система управления

Keywords: drum convective drying unit, drying of iron concentrate, fuzzy controller, intelligent control system

Централизованная структура АСУ ТП предполагает концентрацию всех управленческих функций в одном органе. Этот орган собирает и обрабатывает информацию об объектах, анализирует ее по заданным критериям и вырабатывает управляющие сигналы. Подобные структуры стали актуальны в связи с ростом числа контролируемых и регулируемых параметров, а также часто с территориальной рассредоточенностью объектов управления (рисунок1).

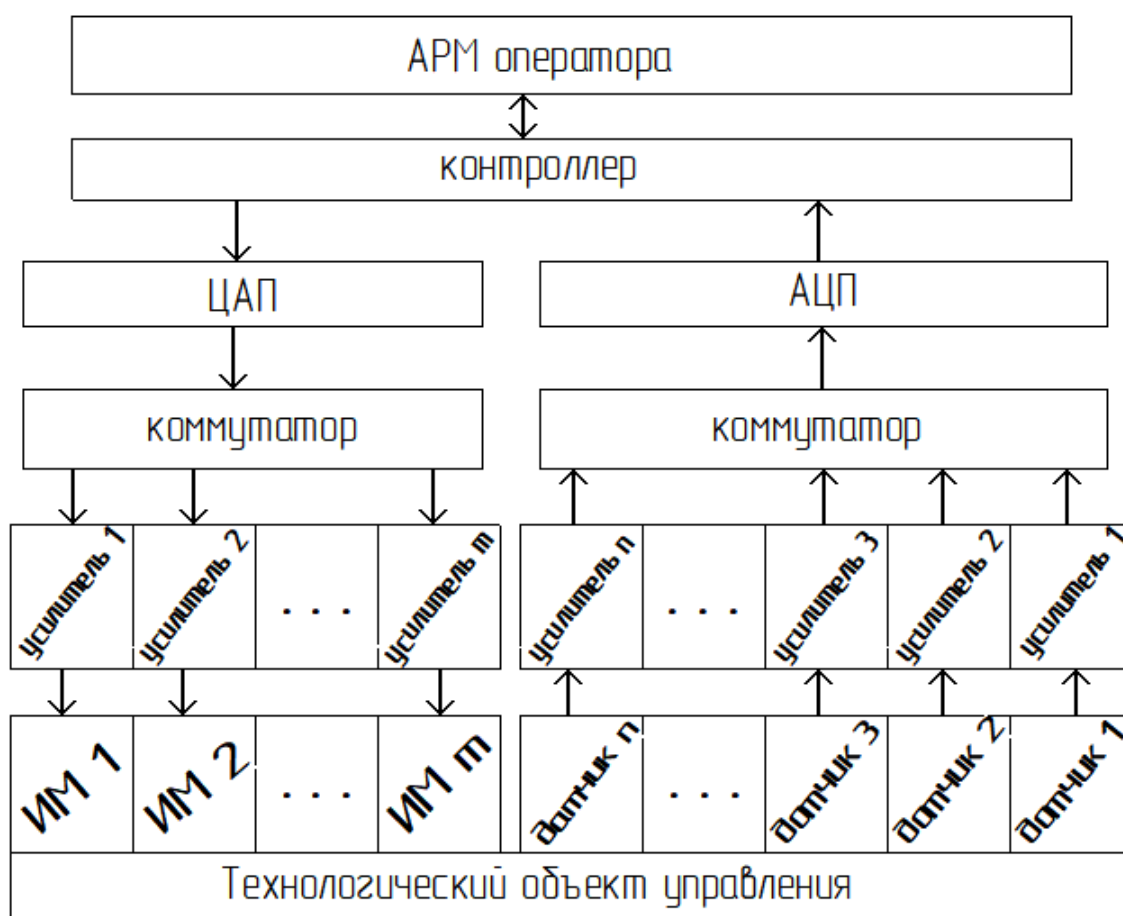


Рис. 1. Структура централизованной АСУ ТП

Входная информация для системы управления формируется посредством сигналов, поступающих с обширной сети сенсоров. К ним относятся датчики, регистрирующие температуру, уровень заполнения, перемещение, давление и прочие физические величины. Учитывая, что первичные сигналы с сенсоров

характеризуются низким уровнем, требуется их последующее усиление и приведение к унифицированному диапазону. Реализацию этой задачи обеспечивают усилители, а также нормирующие преобразователи.

На сегодняшний день наиболее перспективным направлением при проектировании усилителей, таких как операционные усилители (ОУ), инструментальные усилители (ИУ) являются мультидифференциальные операционные усилители (МОУ). Конструктивно МОУ отличаются от классических ОУ использованием в их внутренней структуре добавочных дифференциальных каскадов. В результате исследований по изучению свойств МОУ были выявлены следующие преимущества МОУ перед ОУ и инструментальными усилителями (ИУ):

1. напряжение смещения нуля в МОУ существенно ниже чем в ОУ и ИУ;
2. коэффициент ослабления синфазного сигнала в МОУ имеет более высокое значение по сравнению с ОУ и ИУ;
3. на базе МОУ возможна реализация таких преобразователей, которые не реализуемы на основе ОУ и ИУ;
4. возможность уменьшения элементных затрат при проектировании различных преобразователей.

Поэтому в качестве усилителей предлагается использовать МОУ [1]. Выбор параметров МОУ предлагается осуществлять на основе регрессионного метода [2,3].

При наличии множества датчиков возникает необходимость их последовательного опроса, один за другим. Это достигается путем кратковременного подключения каждого датчика и фиксации его показаний. Ключевую роль в этом процессе играет коммутатор. Он отвечает за то, чтобы в каждый конкретный момент времени только один датчик был соединен с аналого-цифровым преобразователем (АЦП).

В качестве коммутаторов предлагается использовать современные разработки на основе МОУ, такие как многоканальный мультидифференциальный операционный усилитель (ММОУ) [4].

Работа системы характеризуется регулярным считыванием показаний с датчиков, гарантируя постоянное обновление информации. Полученные значения параметров, преобразованные в цифровой формат, поступают в ЭВМ и сохраняются в ее памяти. Далее в ЭВМ осуществляется комплексная обработка данных и расчет управляющих команд для активации исполнительных механизмов.

Для устройств системы аналогового регулирования вычисляется сигнал, пропорциональный режиму работы данного устройства (например, частота вращения двигателя). Эти сигналы преобразуются в электрический вид с помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). Обычно такой преобразователь многоканальный. Сигналы с ЦАП поступают на исполнительные механизмы. В источнике [5] предложена схема ЦАП на основе МОУ, позволяющая получать двухполярное напряжение на выходе, обладающая более высокой разрядностью по сравнению с классическими ЦАП с суммированием взвешенных токов, и более низкой погрешностью смещения нулевого уровня. Данную схему предлагается использовать для ЦАП в структуре АСУ ТП.

Проектирование регулятора проводилось в приложении «fuzzy» пакета MATLAB. В качестве алгоритма управления реализован нечеткий ПД-регулятор. Для примера взята барабанная конвективная сушильная установка для сушки железного концентрата в горнодобывающей промышленности со следующими данными:

- Канал: расход мазута – температура в топке
- Передаточная функция – $W(p) = \frac{0.65 \cdot e^{45p}}{89p + 1}$
- Размерность коэффициента передачи $\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{кг/ч}}$

Для охвата всего диапазона динамических нагрузок были заданы следующие параметры переменных (см. табл. 1-3 и рис.2-4):

Таблица 1

Входная переменная 1: Ошибка скорости (e)

Терм	Значение	x1	x2	x3	Range
N	Отрицательная	-400	-200	0	[-200 200]
Z	Норма	-200	0	200	
P	Положительная	0	200	400	

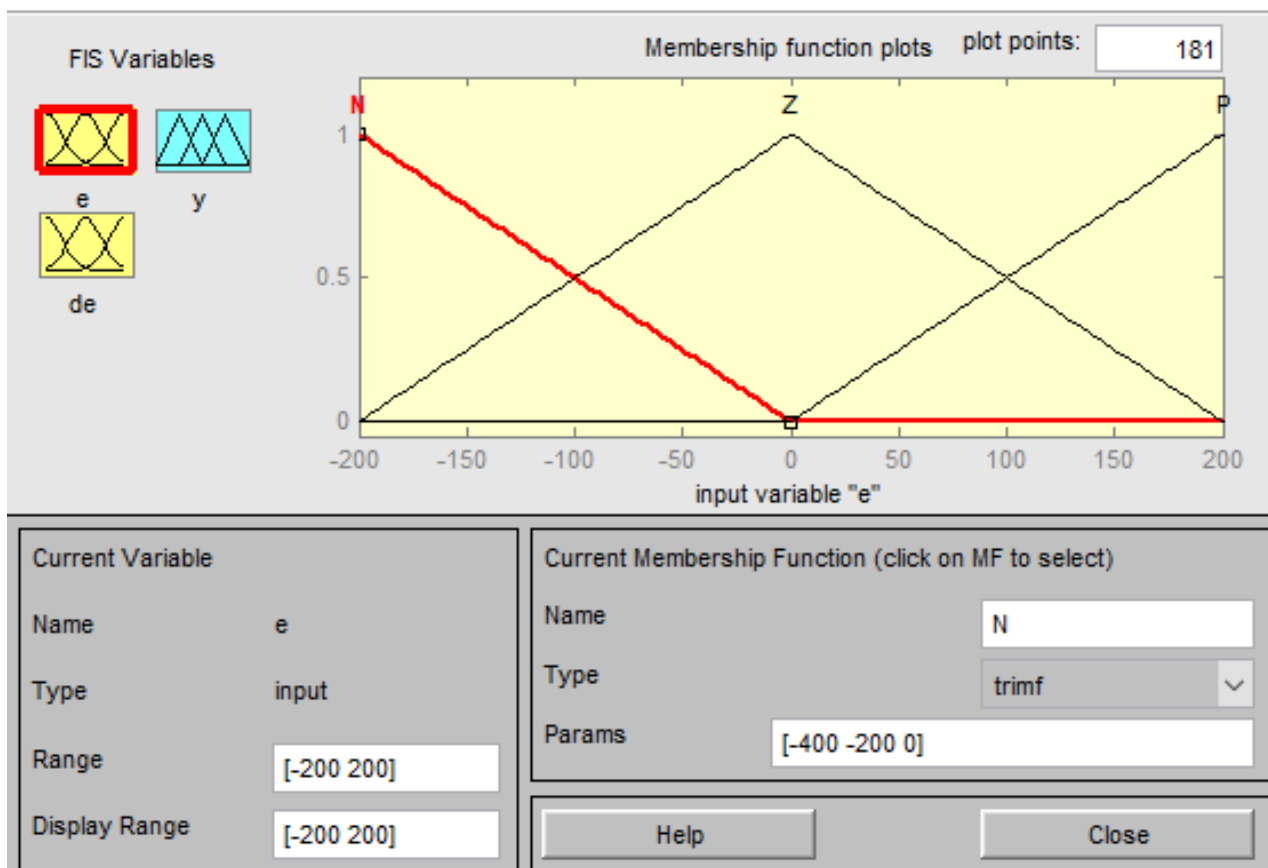


Рис. 2. Входная переменная 1: Ошибка скорости (e)

Таблица 2

Входная переменная 1: Ошибка скорости (e)

Терм	Значение	x1	x2	x3	Range
N	Отрицательная	-4	-2	0	[-2 2]
P	Положительная	0	2	4	

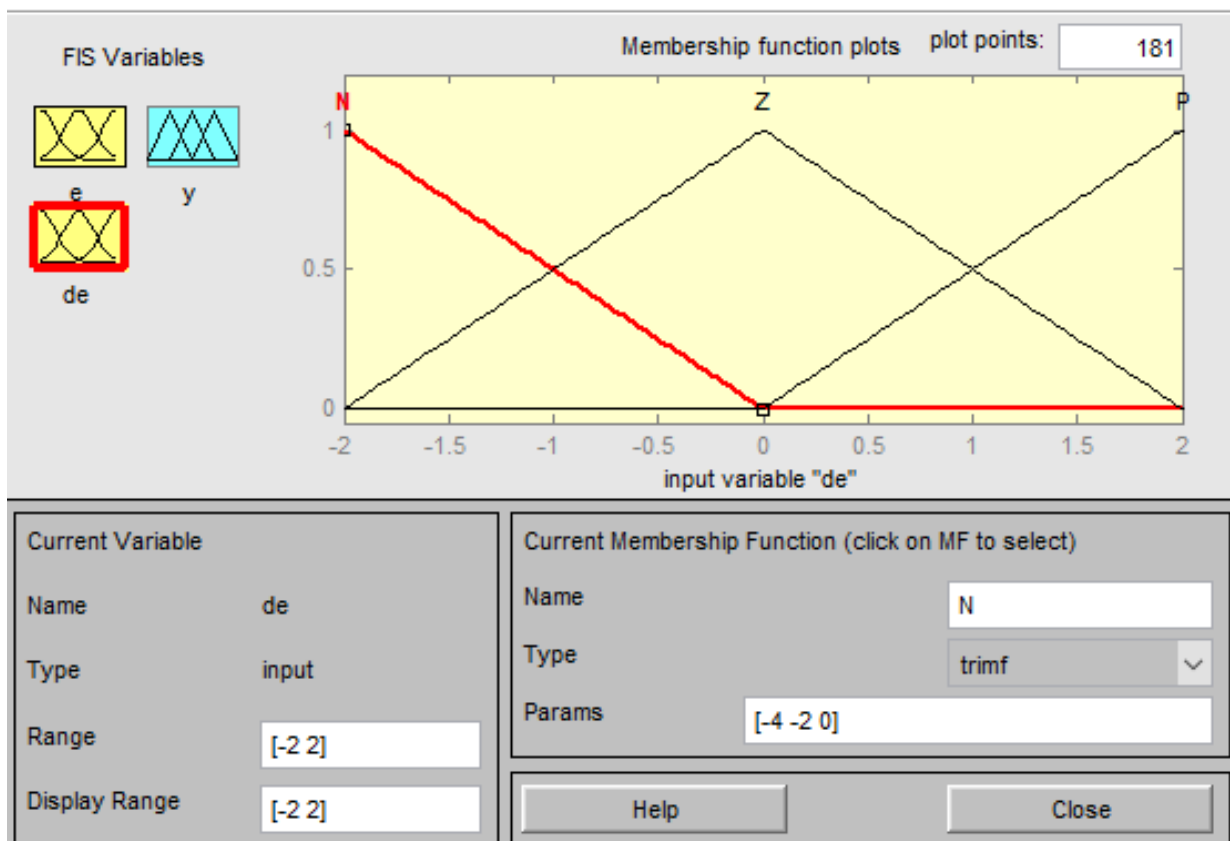


Рис. 3. Входная переменная 2:Производная ошибки (de)

Таблица 3

Входная переменная 1: Ошибка скорости (e)

Терм	Значение	x1	x2	x3	Range
N	Отрицательная	-10	-5	0	[-5 5]
Z	Норма	-5	0	5	
P	Положительная	0	5	10	

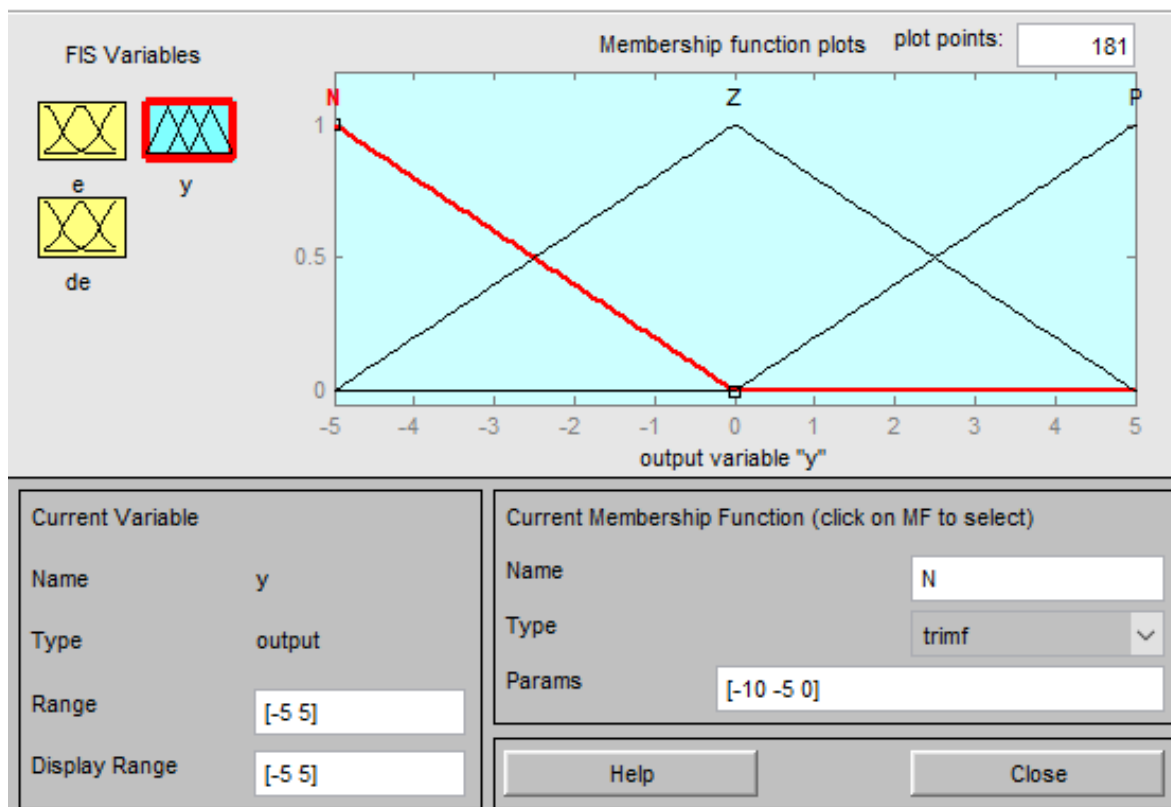


Рис. 4. Выходная переменная: Управляющее напряжение (U_a)

Была разработана база из 9 продукционных нечетких правил:

- Правило 1: если $e = N$ и $de = N$, то $U_a = N$;
- Правило 2: если $e = N$ и $de = Z$, то $U_a = N$;
- Правило 3: если $e = N$ и $de = P$, то $U_a = Z$;
- Правило 4: если $e = Z$ и $de = N$, то $U_a = N$;
- Правило 5: если $e = Z$ и $de = Z$, то $U_a = Z$;
- Правило 6: если $e = Z$ и $de = P$, то $U_a = P$;
- Правило 7: если $e = P$ и $de = N$, то $U_a = Z$;
- Правило 8: если $e = P$ и $de = Z$, то $U_a = P$;
- Правило 9: если $e = P$ и $de = P$, то $U_a = P$.

		$\frac{de}{dt}$		
		P		
e	N		Z	
	P		P	
	Z		P	

В среде визуального моделирования Simulink была собрана схема замкнутой системы, представленная на рис. 5.

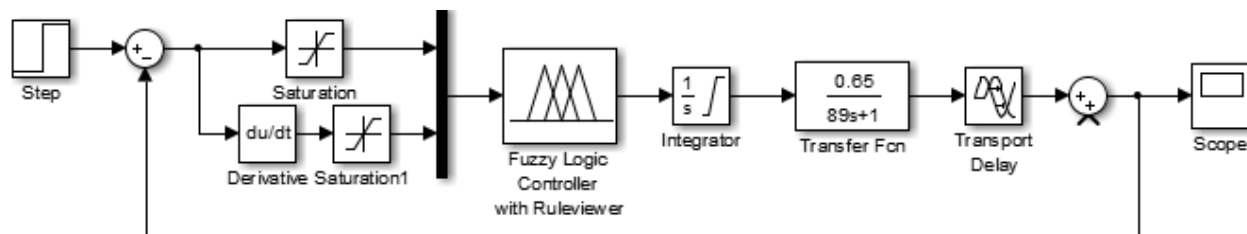


Рис. 5. Функциональная схема ЭМС в Simulink

Блоки на схеме:

- 1) Step – задает желаемое значение. (управляющее воздействие)
- 2) Saturation – блок, принимает входной сигнал и ограничивает его значения на основе заданных верхнего и нижнего пределов.
- 3) Derivative (du/dt) – блок вычисления производной от сигнала ошибки. Вычисляет скорость изменения ошибки, формируя второй входной сигнал для регулятора.
- 4) Fuzzy Logic Controller with Ruleviewer – в блок загружена экспортированная из рабочей области переменная, содержащая базу продукционных правил.
- 5) Integrator – блок, который интегрирует входной сигнал относительно времени и выдаёт результат на выходе.
- 6) Transfer Fcn – передаточная функция электрической части.
- 7) Transport Delay – задерживает входной сигнал на заданно времени. Используется для временных задержек.

Результаты моделирования представлены на рис 6.

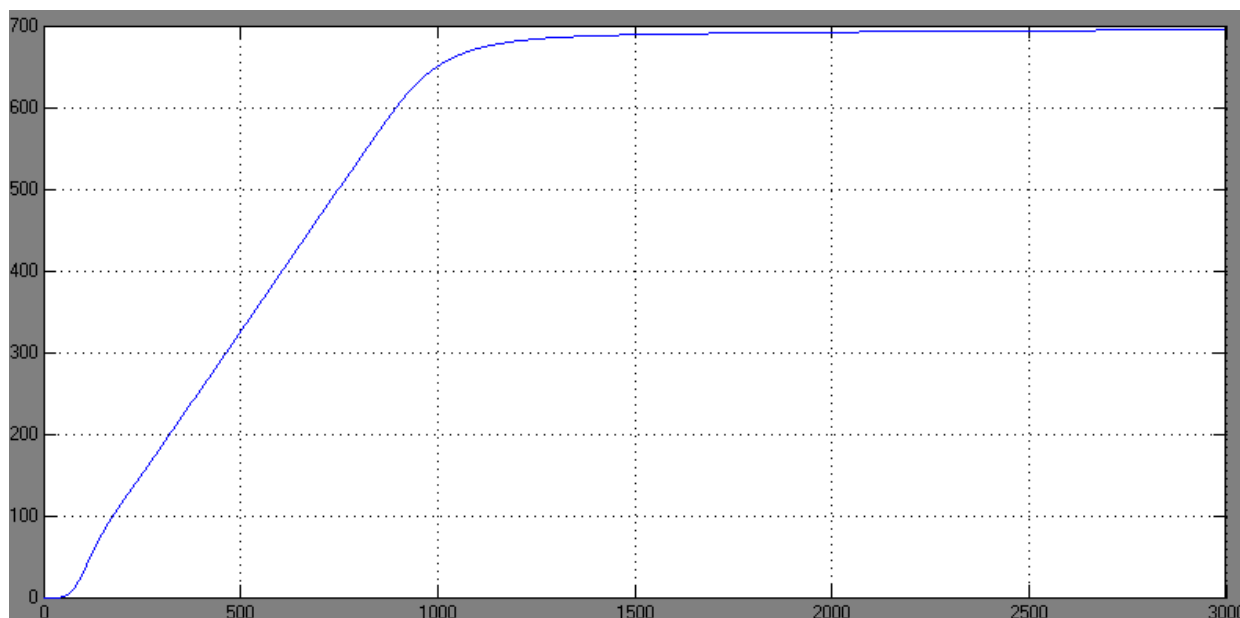


Рис. 6. Результат моделирования схемы системы интеллектуального управления

Моделирование начинается с нулевых начальных условий. До 45 с температура в топке остается равной 0 °C.

На графике зафиксировано время транспортного запаздывания объекта, равное 45 секундам. В этот период система управления уже подает управляющее воздействие (расход мазута), но выходная координата (температура) еще не реагирует из-за физической инерционности тепловых процессов.

Процесс носит аperiodический (монотонный) характер. Система плавно выходит на целевой температурный режим без перерегулирования (полностью отсутствует заброс температуры выше заданных 700 °C).

Активный рост температуры наблюдается в интервале от 45 до примерно 1200 секунд. Увеличенное время шкалы моделирования (до 3000 с) демонстрирует, что система окончательно стабилизируется примерно к 1500-й секунде. Такой плавный и продолжительный разогрев физически обоснован высокой тепловой емкостью барабанной печи (постоянная времени равна 89 с).

Система выходит на заданный уровень 700 °C. Статическая ошибка сведена к нулю.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров, С. В. Проектирование и исследование мультидифференциального операционного усилителя вторичных преобразователей датчиков для систем контроля и управления / С. В. Федоров // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2021. – № 11. – С. 1-8. – DOI 10.25791/pribor.11.2021.1300. – EDN QMTSVC.
2. Федоров, С. В. Регрессионный метод определения параметров дифференциальных усилителей для интегральных схем / С. В. Федоров // Информатика и системы управления. – 2025. – № 1(83). – С. 57-68. – DOI 10.22250/18142400_2025_83_1_57. – EDN SHNKQQ.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024669469
Российская Федерация. Линейная регрессия вольт-амперной характеристики нелинейной активной нагрузки дифференциальных усилителей на основе чувствительности коэффициента усиления к изменению сопротивления активной нагрузки : № 2024668458 : заявл. 01.08.2024 : опубл. 19.08.2024 / С. В. Федоров. – EDN RQNCHI.
4. Патент № 2821422 С1 Российская Федерация, МПК H03F 3/45. Многоканальный мультидифференциальный операционный усилитель : № 2023131037 : заявл. 28.11.2023 : опубл. 24.06.2024 / С. В. Федоров. – EDN WIJUC.
5. Патент № 2824647 С1 Российская Федерация, МПК H03M 1/06, H03M 1/76. цифроаналоговый преобразователь : № 2023126367 : заявл. 15.10.2023 : опубл. 12.08.2024 / С. В. Федоров. – EDN NBIIGA.

Бута Андерсон Наисименту Дала (Ангола)

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Стерлитамаке

Федоров С. В., Фахруллина А. Р.

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
в г. Кумертау

Buta Anderson Nascimento Dala (Angola)

Branch of the Ufa State Petroleum Technological University in Sterlitamak

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА КВГМ 70–150 НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА

DESIGN OF AN AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR THE KVGM 70- 150 WATER HEATING BOILER BASED ON A FUZZY CONTROLLER

Аннотация: в статье описан принцип формирования структуры централизованной системы управления технологическими процессами. Предложены новые схемотехнические решения при построении элементов системы управления. Представлена передаточная функция водогрейного котла КВГМ 70–150. Осуществлен синтез нечеткого регулятора в пакете Matlab на основе описания функции принадлежности входных и выходных переменных и правила нечеткого логического вывода. Проведено моделирование замкнутой системы интеллектуального управления водогрейным котлом КВГМ 70–150 с нечетким регулятором. На основании моделирования была построена переходная функция и сделаны выводы о качестве переходного процесса.

Abstract: The article describes the principle of forming the structure of a centralized process control system. New circuit design solutions are proposed for building control system elements. The transfer function of the KVGM 70-150 water heating boiler is presented. A fuzzy controller is synthesized in the Matlab package based on the description of the membership function of input and output variables and the fuzzy inference rule. The closed-loop intelligent control system of the KVGM 70-150 water heating boiler with a fuzzy controller is simulated. Based on the simulation, a transition function was constructed and conclusions were drawn about the quality of the transition process.

Ключевые слова: водогрейный котел КВГМ 70–150, нечеткий регулятор, интеллектуальная система управления

Keywords: KVGM 70–150 water heating boiler, fuzzy controller, intelligent control system

Централизованная структура АСУ ТП предполагает концентрацию всех управленческих функций в одном органе. Этот орган собирает и обрабатывает

информацию об объектах, анализирует ее по заданным критериям и вырабатывает управляющие сигналы. Подобные структуры стали актуальны в связи с ростом числа контролируемых и регулируемых параметров, а также часто с территориальной рассредоточенностью объектов управления (рисунок1).

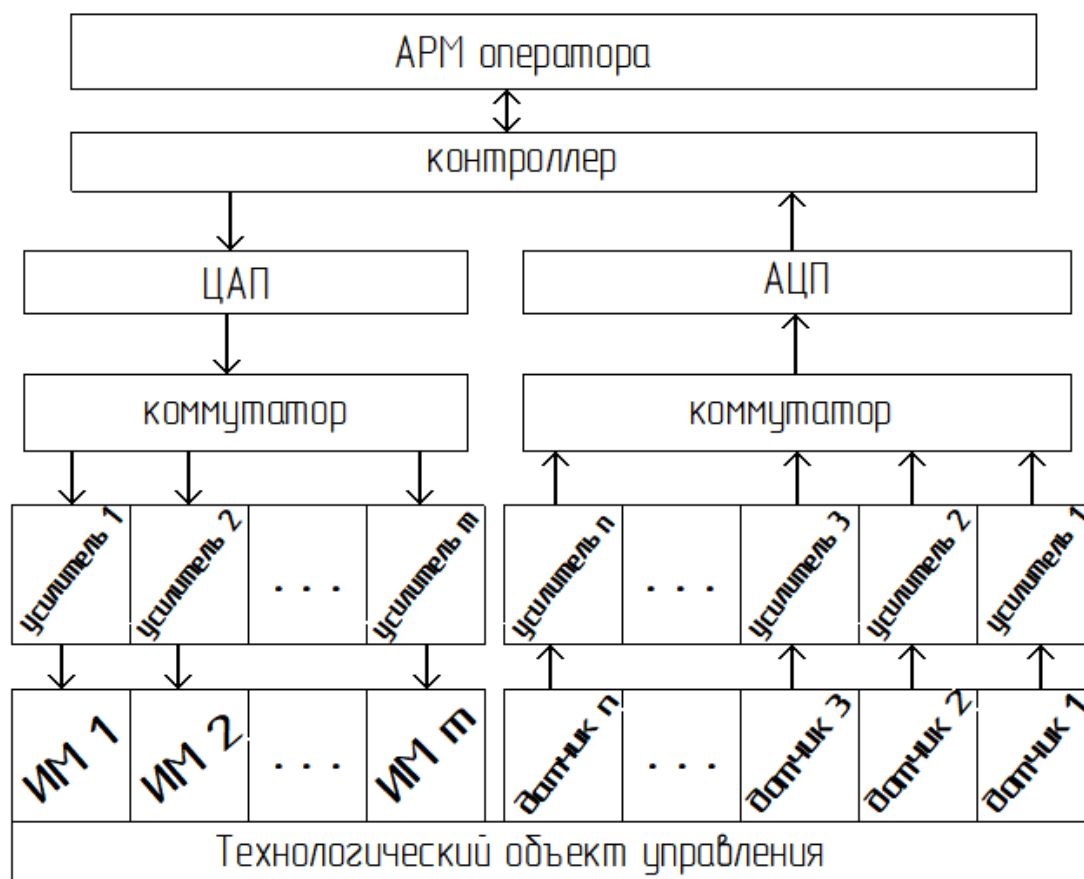


Рис. 1. Структура централизованной АСУ ТП

Входная информация для системы управления формируется посредством сигналов, поступающих с обширной сети сенсоров. К ним относятся датчики, регистрирующие температуру, уровень заполнения, перемещение, давление и прочие физические величины. Учитывая, что первичные сигналы с сенсоров характеризуются низким уровнем, требуется их последующее усиление и приведение к унифицированному диапазону. Реализацию этой задачи обеспечивают усилители, а также нормирующие преобразователи.

На сегодняшний день наиболее перспективным направлением при проектировании усилителей, таких как операционные усилители (ОУ), инструментальные усилители (ИУ) являются мультидифференциальные операционные усилители (МОУ). Конструктивно МОУ отличаются от классических ОУ использованием в их внутренней структуре добавочных дифференциальных каскадов. В результате исследований по изучению свойств МОУ были выявлены следующие преимущества МОУ перед ОУ и инструментальными усилителями (ИУ):

1. напряжение смещения нуля в МОУ существенно ниже чем в ОУ и ИУ;
2. коэффициент ослабления синфазного сигнала в МОУ имеет более высокое значение по сравнению с ОУ и ИУ;
3. на базе МОУ возможна реализация таких преобразователей, которые не реализуемы на основе ОУ и ИУ;
4. возможность уменьшения элементных затрат при проектировании различных преобразователей.

Поэтому в качестве усилителей предлагается использовать МОУ [1]. Выбор параметров МОУ предлагается осуществлять на основе регрессионного метода [2,3].

При наличии множества датчиков возникает необходимость их последовательного опроса, один за другим. Это достигается путем кратковременного подключения каждого датчика и фиксации его показаний. Ключевую роль в этом процессе играет коммутатор. Он отвечает за то, чтобы в каждый конкретный момент времени только один датчик был соединен с аналого-цифровым преобразователем (АЦП).

В качестве коммутаторов предлагается использовать современные разработки на основе МОУ, такие как многоканальный мультидифференциальный операционный усилитель (ММОУ) [4].

Работа системы характеризуется регулярным считыванием показаний с датчиков, гарантируя постоянное обновление информации. Полученные значения параметров, преобразованные в цифровой формат, поступают в ЭВМ и

сохраняются в ее памяти. Далее в ЭВМ осуществляется комплексная обработка данных и расчет управляющих команд для активации исполнительных механизмов.

Для устройств системы аналогового регулирования вычисляется сигнал, пропорциональный режиму работы данного устройства (например, частота вращения двигателя). Эти сигналы преобразуются в электрический вид с помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). Обычно такой преобразователь многоканальный. Сигналы с ЦАП поступают на исполнительные механизмы. В источнике [5] предложена схема ЦАП на основе МОУ, позволяющая получать двухполярное напряжение на выходе, обладающая более высокой разрядностью по сравнению с классическими ЦАП с суммированием взвешенных токов, и более низкой погрешностью смещения нулевого уровня. Данную схему предлагается использовать для ЦАП в структуре АСУ ТП.

Проектирование регулятора проводилось в приложении «fuzzy» пакета MATLAB. В качестве алгоритма управления реализован нечеткий ПД-регулятор. Для примера взят водогрейный котел КВГМ 70–150 со следующими данными:

- Температура свежей воды на входе котла – 70 С, температура теплофикационной воды на выходе котла – 150 С. Расход свежей воды– 750 т/ч, расход топлива (природный газ) – 8000 м³/ч.

- Канал: степень открытия направляющего аппарата дымососа - разрежение в верхней части топки

- Передаточная функция – $W(p) = \frac{0.028 * e^{-52p}}{74p+1}$

- Размерность коэффициента передачи - $\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{м}^3/\text{ч}}$

Для охвата всего диапазона динамических нагрузок были заданы следующие параметры переменных (см. табл. 1-3):

Таблица 1

Входная переменная 1: Ошибка скорости (e)

Терм	Значение	x ₁	x ₂	x ₃	Range
N	Отрицательная	-3.6	-2	-0.4	[-2 2]
Z	Норма	-1.6	0	1.6	
P	Положительная	0.4	2	3.6	

Таблица 2

Входная переменная 1: Ошибка скорости (e)

Терм	Значение	x ₁	x ₂	x ₃	Range
N	Отрицательная	-3.6	-2	-0.4	[-2 2]
Z	Норма	-1.6	0	1.6	
P	Положительная	0.4	2	3.6	

Таблица 3

Входная переменная 1: Ошибка скорости (e)

Терм	Значение	x ₁	x ₂	x ₃	Range
N	Отрицательная	-36	-20	-4	[-20 20]
Z	Норма	-16	0	16	
P	Положительная	4	20	36	

Была разработана база из 9 продукционных нечетких правил:

- Правило 1: если $e = N$ и $de = N$, то $U_a = N$;
- Правило 2: если $e = Z$ и $de = N$, то $U_a = N$;
- Правило 3: если $e = P$ и $de = N$, то $U_a = Z$;
- Правило 4: если $e = N$ и $de = Z$, то $U_a = N$;
- Правило 5: если $e = Z$ и $de = Z$, то $U_a = Z$;
- Правило 6: если $e = P$ и $de = Z$, то $U_a = P$;
- Правило 7: если $e = N$ и $de = P$, то $U_a = Z$;
- Правило 8: если $e = Z$ и $de = P$, то $U_a = P$;
- Правило 9: если $e = P$ и $de = P$, то $U_a = P$.

		de/dt		
		N	P	Z
e	N	N	Z	N
	P	Z	P	P
	Z	N	P	Z

В среде визуального моделирования Simulink была собрана схема замкнутой системы, представленная на рис. 2.

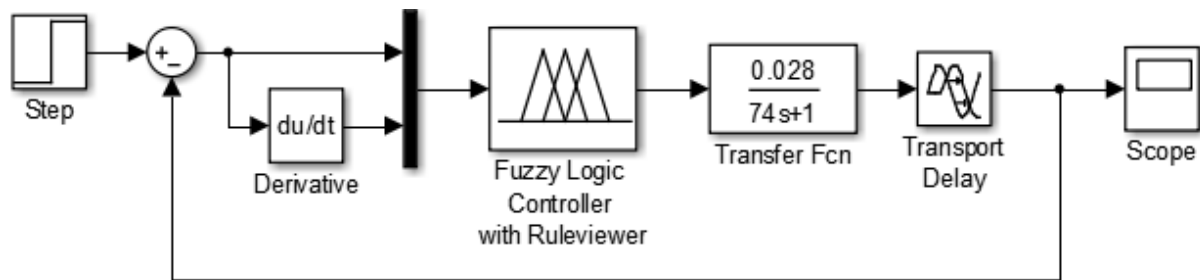


Рис. 2. Функциональная схема ЭМС в Simulink

Блоки на схеме:

- 1) Step – задает желаемое значение. (управляющее воздействие).
- 2) Derivative (du/dt) – блок вычисления производной от сигнала ошибки. Вычисляет скорость изменения ошибки, формируя второй входной сигнал для регулятора.
- 3) Fuzzy Logic Controller with Ruleviewer – в блок загружена экспортированная из рабочей области переменная, содержащая базу продукционных правил.
- 4) Transfer Fcn – передаточная функция электрической части.
- 5) Transport Delay – задерживает входной сигнал на заданно времени. Используется для временных задержек.

Результаты моделирования представлены на рис 3.

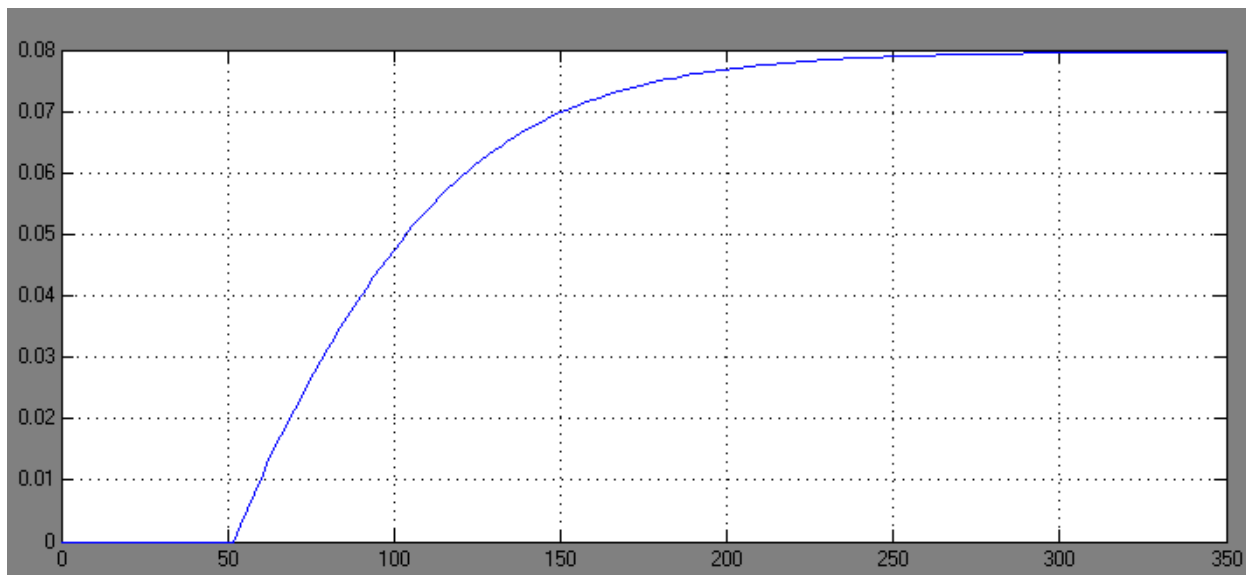


Рис. 3. Результат моделирования схемы системы интеллектуального управления

На графике четко виден участок полного отсутствия реакции системы в интервале времени от $t = 0$ до $t = 52$ с. Это значение соответствует звену чистого запаздывания e^{-52p} , заложенному в передаточную функцию объекта.

Процесс носит апериодический характер. Кривая разгона плавно стремится к установившемуся значению без каких-либо выбросов. Перерегулирование и колебания в системе полностью отсутствуют (0%).

Ввиду большой инерционности объекта (постоянная времени $T = 74$ с), система выходит на установившийся режим достаточно долго. Переходный процесс практически завершается на отметке $t \approx 300$ с.

Выходная величина стабилизируется на крайне низком уровне – приблизительно 0.08 (при задающем воздействии 1.0). Таким образом, в системе наблюдается колоссальная статическая ошибка, составляющая $e_{уст} \approx 0.92$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров, С. В. Проектирование и исследование мультидифференциального операционного усилителя вторичных преобразователей датчиков для систем контроля и управления / С. В. Федоров // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2021. – № 11. – С. 1-8. – DOI 10.25791/pribor.11.2021.1300. – EDN QMTSVC.

2. Федоров, С. В. Регрессионный метод определения параметров дифференциальных усилителей для интегральных схем / С. В. Федоров // Информатика и системы управления. – 2025. – № 1(83). – С. 57-68. – DOI 10.22250/18142400_2025_83_1_57. – EDN SHNKQQ.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024669469 Российская Федерация. Линейная регрессия вольт-амперной характеристики нелинейной активной нагрузки дифференциальных усилителей на основе чувствительности коэффициента усиления к изменению сопротивления активной нагрузки : № 2024668458 : заявл. 01.08.2024 : опубл. 19.08.2024 / С. В. Федоров. – EDN RQNCHI.
4. Патент № 2821422 С1 Российская Федерация, МПК H03F 3/45. Многоканальный мультидифференциальный операционный усилитель : № 2023131037 : заявл. 28.11.2023 : опубл. 24.06.2024 / С. В. Федоров. – EDN WIJUC.
5. Патент № 2824647 С1 Российская Федерация, МПК H03M 1/06, H03M 1/76. цифроаналоговый преобразователь : № 2023126367 : заявл. 15.10.2023 : опубл. 12.08.2024 / С. В. Федоров. – EDN NBIIGA.

Джакупов Олжас Сапарович (Казахстан)

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Стерлитамаке

Федоров С. В., Фахруллина А. Р.

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
в г. Кумертау

Dzhakupov O. S. (Kazakhstan)

Branch of the Ufa State Petroleum Technological University

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАРОВОГО КОТЛА ТГМП-344А НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА В MATLAB

MODELING OF THE TGMP-344A STEAM BOILER AUTOMATIC CONTROL SYSTEM BASED ON A FUZZY CONTROLLER IN MATLAB

Аннотация: в статье описан принцип формирования структуры централизованной системы управления технологическими процессами. Предложены новые схемотехнические решения при построении элементов системы управления. Представлена передаточная функция парового котла ТГМП-344А. Осуществлен синтез нечеткого регулятора в пакете Matlab на основе описания функции принадлежности входных и выходных переменных и правила нечеткого логического вывода. Проведено моделирование замкнутой системы интеллектуального управления паровым котлом ТГМП-344А с нечетким регулятором. На основании моделирования была построена переходная функция и сделаны выводы о качестве переходного процесса.

Abstract: The article describes the principle of forming the structure of a centralized process control system. New circuit solutions are proposed for building control system elements. The transfer function of the TGMP-344A steam boiler is presented. A fuzzy controller is synthesized in the Matlab package based on the description of the membership function of input and output variables and the fuzzy inference rule. The closed-loop intelligent control system of the TGMP-344A steam boiler with a fuzzy controller is simulated. Based on the simulation, a transition function was constructed and conclusions were drawn about the quality of the transition process.

Ключевые слова: паровой котел ТГМП-344А, нечеткий регулятор, интеллектуальная система управления

Keywords: TGMP-344A steam boiler, fuzzy controller, intelligent control system

Централизованная структура АСУ ТП предполагает концентрацию всех управленческих функций в одном органе. Этот орган собирает и обрабатывает

информацию об объектах, анализирует ее по заданным критериям и вырабатывает управляющие сигналы. Подобные структуры стали актуальны в связи с ростом числа контролируемых и регулируемых параметров, а также часто с территориальной рассредоточенностью объектов управления (рисунок1).

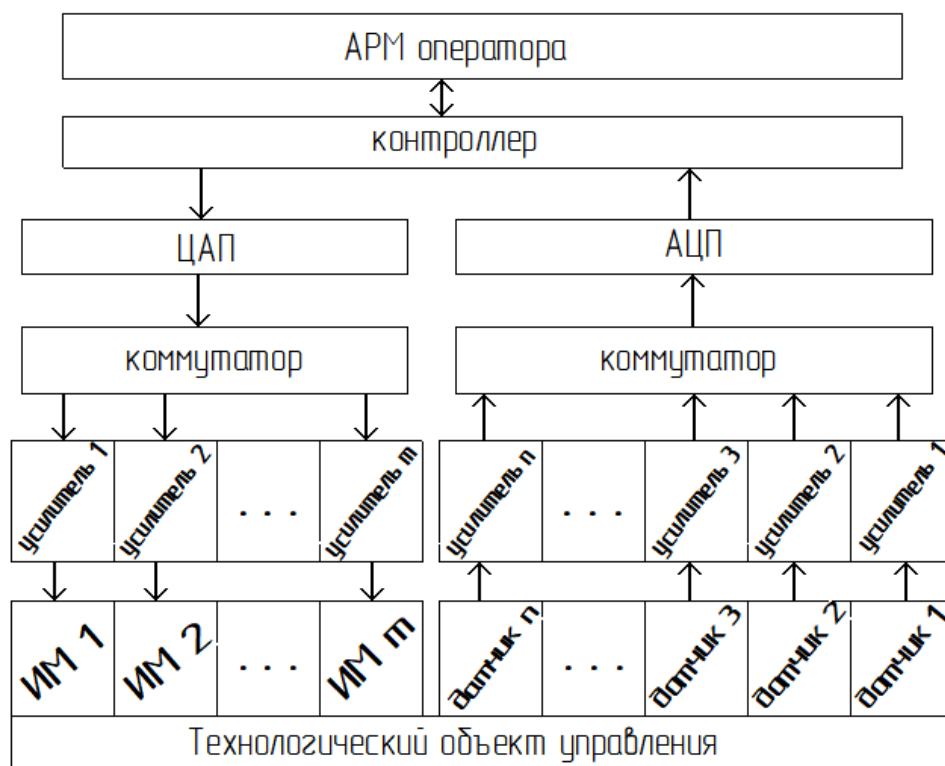


Рис. 1. Структура централизованной АСУ ТП

Входная информация для системы управления формируется посредством сигналов, поступающих с обширной сети сенсоров. К ним относятся датчики, регистрирующие температуру, уровень заполнения, перемещение, давление и прочие физические величины. Учитывая, что первичные сигналы с сенсоров характеризуются низким уровнем, требуется их последующее усиление и приведение к унифицированному диапазону. Реализацию этой задачи обеспечивают усилители, а также нормирующие преобразователи.

На сегодняшний день наиболее перспективным направлением при проектировании усилителей, таких как операционные усилители (ОУ), инструментальные усилители (ИУ) являются мультидифференциальные операционные усилители (МОУ). Конструктивно МОУ отличаются от

классических ОУ использованием в их внутренней структуре добавочных дифференциальных каскадов. В результате исследований по изучению свойств МОУ были выявлены следующие преимущества МОУ перед ОУ и инструментальными усилителями (ИУ):

1. напряжение смещения нуля в МОУ существенно ниже чем в ОУ и ИУ;
2. коэффициент ослабления синфазного сигнала в МОУ имеет более высокое значение по сравнению с ОУ и ИУ;
3. на базе МОУ возможна реализация таких преобразователей, которые не реализуемы на основе ОУ и ИУ;
4. возможность уменьшения элементных затрат при проектировании различных преобразователей.

Поэтому в качестве усилителей предлагается использовать МОУ [1]. Выбор параметров МОУ предлагается осуществлять на основе регрессионного метода [2,3].

При наличии множества датчиков возникает необходимость их последовательного опроса, один за другим. Это достигается путем кратковременного подключения каждого датчика и фиксации его показаний. Ключевую роль в этом процессе играет коммутатор. Он отвечает за то, чтобы в каждый конкретный момент времени только один датчик был соединен с аналого-цифровым преобразователем (АЦП).

В качестве коммутаторов предлагается использовать современные разработки на основе МОУ, такие как многоканальный мультидифференциальный операционный усилитель (ММОУ) [4].

Работа системы характеризуется регулярным считыванием показаний с датчиков, гарантируя постоянное обновление информации. Полученные значения параметров, преобразованные в цифровой формат, поступают в ЭВМ и сохраняются в ее памяти. Далее в ЭВМ осуществляется комплексная обработка данных и расчет управляющих команд для активации исполнительных механизмов.

Для устройств системы аналогового регулирования вычисляется сигнал, пропорциональный режиму работы данного устройства (например, частота вращения двигателя). Эти сигналы преобразуются в электрический вид с помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). Обычно такой преобразователь многоканальный. Сигналы с ЦАП поступают на исполнительные механизмы. В источнике [5] предложена схема ЦАП на основе МОУ, позволяющая получать двухполярное напряжение на выходе, обладающая более высокой разрядностью по сравнению с классическими ЦАП с суммированием взвешенных токов, и более низкой погрешностью смещения нулевого уровня. Данную схему предлагается использовать для ЦАП в структуре АСУ ТП.

Проектирование регулятора проводилось в приложении «fuzzy» пакета MATLAB. В качестве алгоритма управления реализован нечеткий ПД-регулятор. Для примера взят паровой котел ТГМП-344А со следующими данными:

- Канал: степень открытия направляющего аппарата дымососа - разрежение в верхней части топки
- Передаточная функция – $W(p) = \frac{0.4 \cdot e^{-15p}}{11p+1}$
- Размерность коэффициента передачи - $\frac{\text{Па}}{\%}$

Для охвата всего диапазона динамических нагрузок были заданы следующие параметры переменных (см. табл. 1-3):

Таблица 1

Входная переменная 1: Ошибка скорости (e)

Терм	Значение	x1	x2	x3	Range
N	Отрицательная	-2.34	-1.3	-0.26	[-1.3 1.3]
Z	Норма	-1.04	0	1.04	
P	Положительная	0.26	1.3	2.34	

Таблица 2

Входная переменная 1: Ошибка скорости (e)

Терм	Значение	x_1	x_2	x_3	Range
N	Отрицательная	-2.34	-1.3	-0.26	[-1.3 1.3]
Z	Норма	-1.04	0	1.04	
P	Положительная	0.26	1.3	2.34	

Таблица 3

Входная переменная 1: Ошибка скорости (e)

Терм	Значение	x_1	x_2	x_3	Range
N	Отрицательная	-2.34	-1.3	-0.26	[-1.3 1.3]
Z	Норма	-1.04	0	1.04	
P	Положительная	0.26	1.3	2.34	

Была разработана база из 9 продукционных нечетких правил:

- Правило 1: если $e = N$ и $de = N$, то $U_a = N$;
- Правило 2: если $e = Z$ и $de = N$, то $U_a = N$;
- Правило 3: если $e = P$ и $de = N$, то $U_a = Z$;
- Правило 4: если $e = N$ и $de = Z$, то $U_a = N$;
- Правило 5: если $e = Z$ и $de = Z$, то $U_a = Z$;
- Правило 6: если $e = P$ и $de = Z$, то $U_a = P$;
- Правило 7: если $e = N$ и $de = P$, то $U_a = Z$;
- Правило 8: если $e = Z$ и $de = P$, то $U_a = P$;
- Правило 9: если $e = P$ и $de = P$, то $U_a = P$.

		de/dt		
		N	P	Z
e	N	N	Z	N
	P	Z	P	P
	Z	N	P	Z

В среде визуального моделирования Simulink была собрана схема замкнутой системы, представленная на рис. 2.

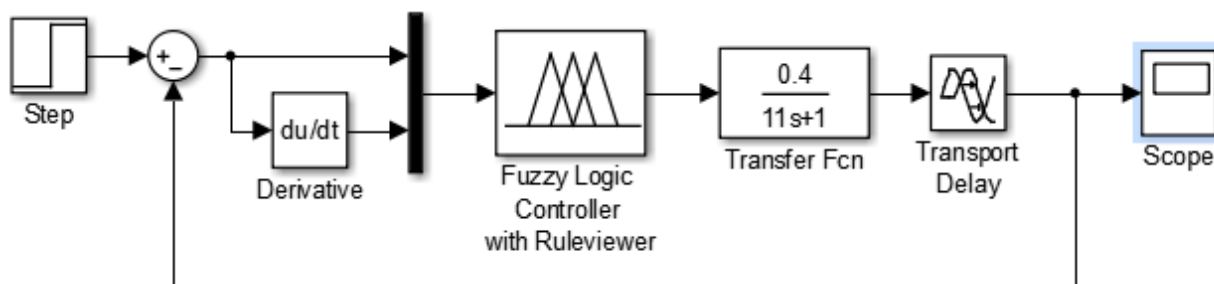


Рис. 2. Функциональная схема ЭМС в Simulink

Блоки на схеме:

- 1) Step – задает желаемое значение. (управляющее воздействие).
- 2) Derivative (du/dt) – блок вычисления производной от сигнала ошибки.

Вычисляет скорость изменения ошибки, формируя второй входной сигнал для регулятора.

3) Fuzzy Logic Controller with Ruleviewer – в блок загружена экспортированная из рабочей области переменная, содержащая базу продукционных правил.

- 4) Transfer Fcn – передаточная функция электрической части.

- 5) Transport Delay – задерживает входной сигнал на заданно времени.

Используется для временных задержек.

Результаты моделирования представлены на рис 3.

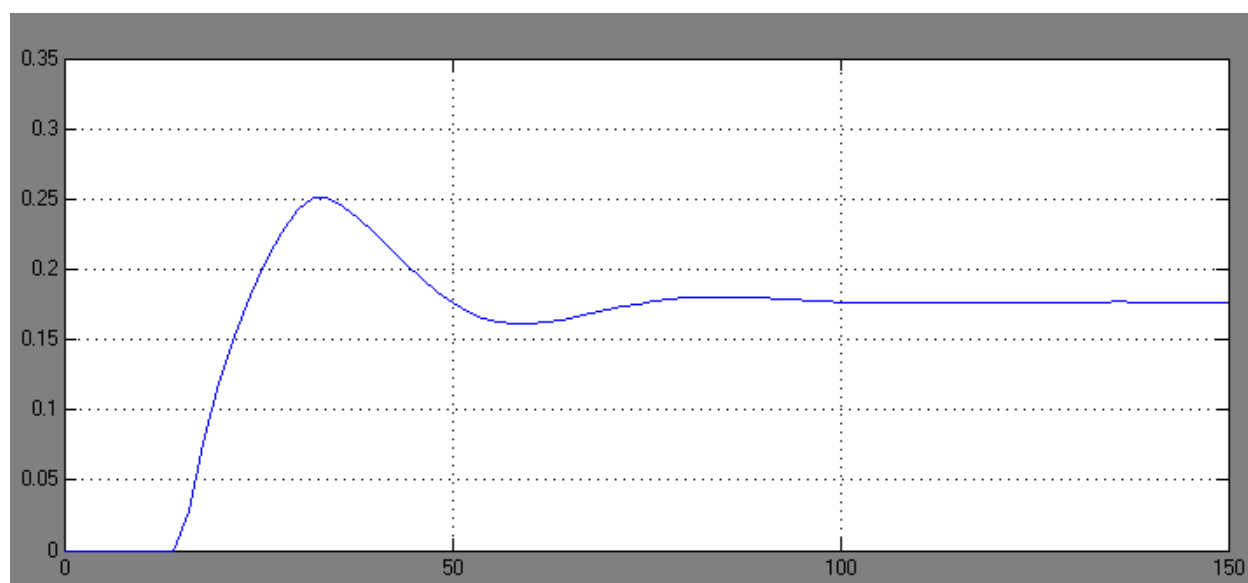


Рис. 3. Результат моделирования схемы системы интеллектуального управления

Система строго отрабатывает инерционность объекта управления. В интервале времени от 0 до 15 секунд выходная координата не изменяется, что полностью соответствует звену запаздывания e^{-15p} в математической модели.

Переходный процесс носит плавный, слабоколебательный характер. Кривая делает один аккуратный выброс (максимум достигается на отметке около 0.25 при времени 35 с), после чего колебания быстро и надежно затухают. Раскачка системы отсутствует.

Система обладает хорошим быстродействием для данного объекта – переходный процесс полностью завершается и входит в установившийся режим примерно к 100-й секунде.

График стабилизируется на уровне примерно 0.175 (при единичном задающем воздействии). Таким образом, система работает со значительной статической ошибкой, равной 0.825.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров, С. В. Проектирование и исследование мультидифференциального операционного усилителя вторичных преобразователей датчиков для систем контроля и управления / С. В. Федоров // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2021. – № 11. – С. 1-8. – DOI 10.25791/pribor.11.2021.1300. – EDN QMTSVC.
2. Федоров, С. В. Регрессионный метод определения параметров дифференциальных усилителей для интегральных схем / С. В. Федоров // Информатика и системы управления. – 2025. – № 1(83). – С. 57-68. – DOI 10.22250/18142400_2025_83_1_57. – EDN SHNKQQ.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024669469 Российская Федерация. Линейная регрессия вольт-амперной характеристики нелинейной активной нагрузки дифференциальных усилителей на основе чувствительности коэффициента усиления к изменению сопротивления активной нагрузки : № 2024668458 : заявл. 01.08.2024 : опубл. 19.08.2024 / С. В. Федоров. – EDN RQNCHI.
4. Патент № 2821422 С1 Российская Федерация, МПК H03F 3/45. Многоканальный мультидифференциальный операционный усилитель : № 2023131037 : заявл. 28.11.2023 : опубл. 24.06.2024 / С. В. Федоров. – EDN WIJUC.
5. Патент № 2824647 С1 Российская Федерация, МПК H03M 1/06, H03M 1/76. цифроаналоговый преобразователь : № 2023126367 : заявл. 15.10.2023 : опубл. 12.08.2024 / С. В. Федоров. – EDN NBIIGA.

Ербулатулы Нурсултан (Казахстан)

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Стерлитамаке

Федоров С. В., Фахруллина А. Р.

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
в г. Кумертау

Yerbulatuly Nursultan (Kazakhstan)

Branch of the Ufa State Petroleum Technological University in Sterlitamak

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЕАЭРАТОРА АТМОСФЕРНОГО ТИПА ДСА-15070 НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА

CREATION OF AN AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR THE DSA- 15070 ATMOSPHERIC DEAERATOR BASED ON A FUZZY CONTROLLER

Аннотация: в статье описан принцип формирования структуры централизованной системы управления технологическими процессами. Предложены новые схемотехнические решения при построении элементов системы управления. Представлена передаточная функция деаэратора атмосферного типа ДСА-15070. Осуществлен синтез нечеткого регулятора в пакете Matlab на основе описания функции принадлежности входных и выходных переменных и правила нечеткого логического вывода. Проведено моделирование замкнутой системы интеллектуального управления деаэратором атмосферного типа ДСА-15070 с нечетким регулятором. На основании моделирования была построена переходная функция и сделаны выводы о качестве переходного процесса.

Abstract: The article describes the principle of forming the structure of a centralized process control system. New circuit solutions are proposed for building control system elements. The transfer function of the atmospheric-type deaerator DSA-15070 is presented. A fuzzy controller is synthesized in the Matlab package based on the description of the membership function of input and output variables and the fuzzy inference rule. The closed-loop intelligent control system of the atmospheric-type deaerator DSA-15070 with a fuzzy controller is simulated. Based on the simulation, a transition function was constructed and conclusions were drawn about the quality of the transition process.

Ключевые слова: деаэратор атмосферного типа ДСА-15070, нечеткий регулятор, интеллектуальная система управления

Keywords: atmospheric-type deaerator DSA-15070, fuzzy controller, intelligent control system

Централизованная структура АСУ ТП предполагает концентрацию всех управленческих функций в одном органе. Этот орган собирает и обрабатывает

информацию об объектах, анализирует ее по заданным критериям и вырабатывает управляющие сигналы. Подобные структуры стали актуальны в связи с ростом числа контролируемых и регулируемых параметров, а также часто с территориальной рассредоточенностью объектов управления (рисунок1).

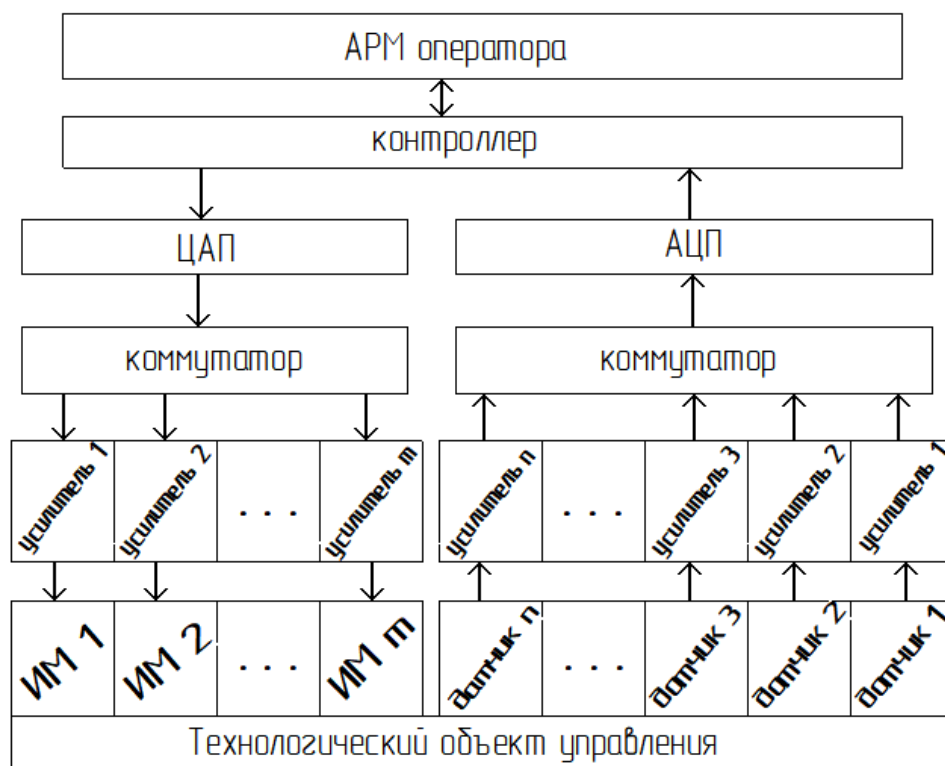


Рис. 1. Структура централизованной АСУ ТП

Входная информация для системы управления формируется посредством сигналов, поступающих с обширной сети сенсоров. К ним относятся датчики, регистрирующие температуру, уровень заполнения, перемещение, давление и прочие физические величины. Учитывая, что первичные сигналы с сенсоров характеризуются низким уровнем, требуется их последующее усиление и приведение к унифицированному диапазону. Реализацию этой задачи обеспечивают усилители, а также нормирующие преобразователи.

На сегодняшний день наиболее перспективным направлением при проектировании усилителей, таких как операционные усилители (ОУ), инструментальные усилители (ИУ) являются мультидифференциальные операционные усилители (МОУ). Конструктивно МОУ отличаются от

классических ОУ использованием в их внутренней структуре добавочных дифференциальных каскадов. В результате исследований по изучению свойств МОУ были выявлены следующие преимущества МОУ перед ОУ и инструментальными усилителями (ИУ):

1. напряжение смещения нуля в МОУ существенно ниже чем в ОУ и ИУ;
2. коэффициент ослабления синфазного сигнала в МОУ имеет более высокое значение по сравнению с ОУ и ИУ;
3. на базе МОУ возможна реализация таких преобразователей, которые не реализуемы на основе ОУ и ИУ;
4. возможность уменьшения элементных затрат при проектировании различных преобразователей.

Поэтому в качестве усилителей предлагается использовать МОУ [1]. Выбор параметров МОУ предлагается осуществлять на основе регрессионного метода [2,3].

При наличии множества датчиков возникает необходимость их последовательного опроса, один за другим. Это достигается путем кратковременного подключения каждого датчика и фиксации его показаний. Ключевую роль в этом процессе играет коммутатор. Он отвечает за то, чтобы в каждый конкретный момент времени только один датчик был соединен с аналого-цифровым преобразователем (АЦП).

В качестве коммутаторов предлагается использовать современные разработки на основе МОУ, такие как многоканальный мультидифференциальный операционный усилитель (ММОУ) [4].

Работа системы характеризуется регулярным считыванием показаний с датчиков, гарантируя постоянное обновление информации. Полученные значения параметров, преобразованные в цифровой формат, поступают в ЭВМ и сохраняются в ее памяти. Далее в ЭВМ осуществляется комплексная обработка данных и расчет управляющих команд для активации исполнительных механизмов.

Для устройств системы аналогового регулирования вычисляется сигнал, пропорциональный режиму работы данного устройства (например, частота вращения двигателя). Эти сигналы преобразуются в электрический вид с помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). Обычно такой преобразователь многоканальный. Сигналы с ЦАП поступают на исполнительные механизмы. В источнике [5] предложена схема ЦАП на основе МОУ, позволяющая получать двухполярное напряжение на выходе, обладающая более высокой разрядностью по сравнению с классическими ЦАП с суммированием взвешенных токов, и более низкой погрешностью смещения нулевого уровня. Данную схему предлагается использовать для ЦАП в структуре АСУ ТП.

Проектирование регулятора проводилось в приложении «fuzzy» пакета MATLAB. В качестве алгоритма управления реализован нечеткий ПД-регулятор. Для примера взят деаэратор атмосферного типа ДСА-150/70 со следующими данными:

- Канал: расход пара в деаэрационную колонку температура парогазовой смеси в паровом пространстве деаэратора.

- Расход воды 250 т/ч – $W(p) = \frac{2.6 * e^{180p}}{220p+1}$
- Размерность коэффициента передачи - °С/т/ч

Для охвата всего диапазона динамических нагрузок были заданы следующие параметры переменных (см. табл. 1-3):

Таблица 1

Входная переменная 1: Ошибка скорости (e)

Терм	Значение	x1	x2	x3	Range
N	Отрицательная	-2.16	-1.2	-0.24	[-1.2 1.2]
Z	Норма	-0.96	0	0.96	
P	Положительная	0.24	1.2	2.16	

Таблица 2

Входная переменная 1: Ошибка скорости (e)

Терм	Значение	x1	x2	x3	Range
N	Отрицательная	-2.16	-1.2	-0.24	[-1.2 1.2]
Z	Норма	-0.96	0	0.96	
P	Положительная	0.24	1.2	2.16	

Таблица 3

Входная переменная 1: Ошибка скорости (e)

Терм	Значение	x1	x2	x3	Range
N	Отрицательная	-0.216	-0.12	-0.024	[-0.12 0.12]
Z	Норма	-0.0954	0.000635	0.966	
P	Положительная	0.024	0.12	0.216	

Была разработана база из 9 продукционных нечетких правил:

- Правило 1: если $e = N$ и $de = N$, то $U_a = N$;
- Правило 2: если $e = Z$ и $de = N$, то $U_a = N$;
- Правило 3: если $e = P$ и $de = N$, то $U_a = Z$;
- Правило 4: если $e = N$ и $de = Z$, то $U_a = N$;
- Правило 5: если $e = Z$ и $de = Z$, то $U_a = Z$;
- Правило 6: если $e = P$ и $de = Z$, то $U_a = P$;
- Правило 7: если $e = N$ и $de = P$, то $U_a = Z$;
- Правило 8: если $e = Z$ и $de = P$, то $U_a = P$;
- Правило 9: если $e = P$ и $de = P$, то $U_a = P$.

		de/dt		
		N	P	Z
e	N	N	Z	N
	P	Z	P	P
	Z	N	P	Z

В среде визуального моделирования Simulink была собрана схема замкнутой системы, представленная на рис. 2.

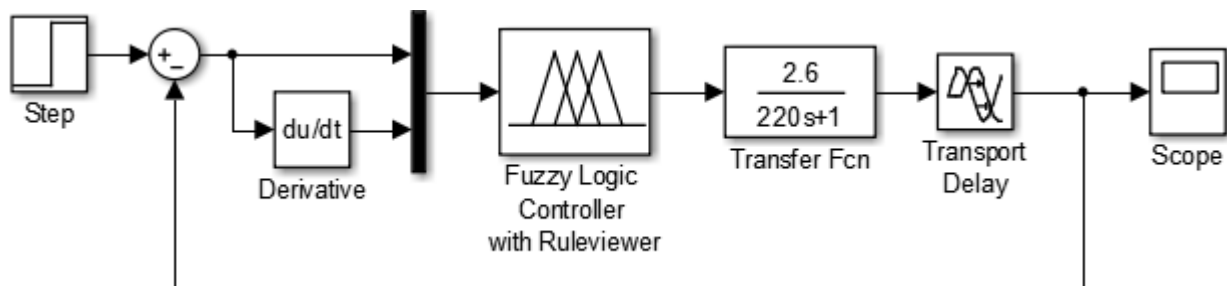


Рис. 2. Функциональная схема ЭМС в Simulink

Блоки на схеме:

- 1) Step – задает желаемое значение. (управляющее воздействие).
- 2) Derivative (du/dt) – блок вычисления производной от сигнала ошибки.

Вычисляет скорость изменения ошибки, формируя второй входной сигнал для регулятора.

3) Fuzzy Logic Controller with Ruleviewer – в блок загружена экспортированная из рабочей области переменная, содержащая базу продукционных правил.

- 4) Transfer Fcn – передаточная функция электрической части.

- 5) Transport Delay – задерживает входной сигнал на заданно времени.

Используется для временных задержек.

Результаты моделирования представлены на рис 3.

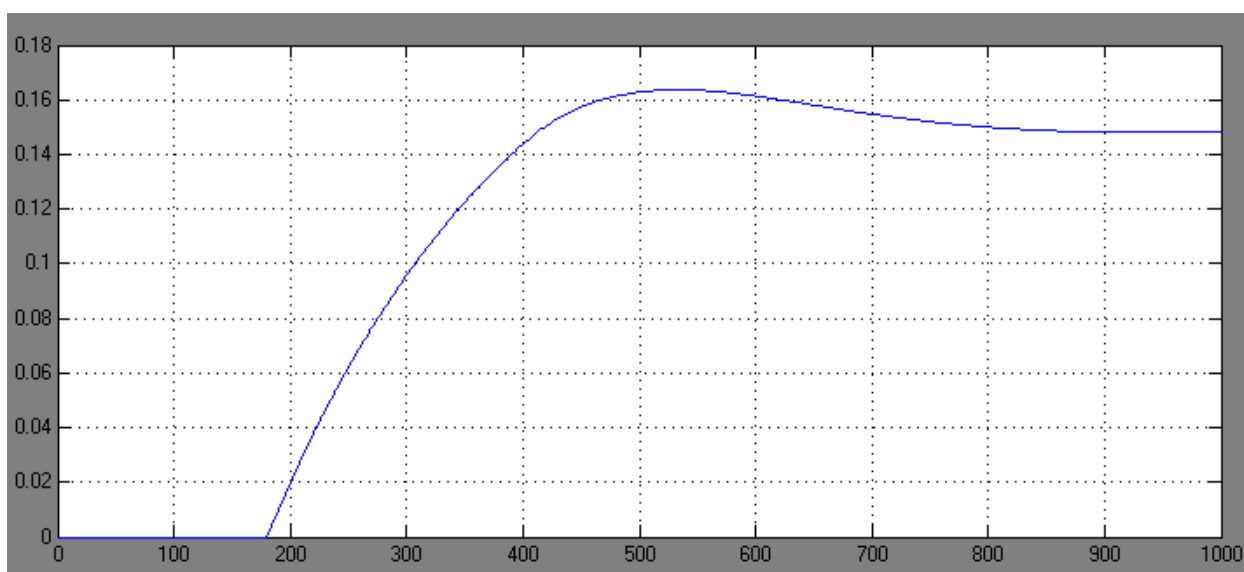


Рис. 3. Результат моделирования схемы системы интеллектуального управления

На графике наблюдается отсутствия реакции системы – первые 180 секунд выходная величина остается равной нулю. Это соответствует звену транспортного запаздывания e^{-180p} в математической модели деаэратора.

Благодаря значительному уменьшению диапазона выходной переменной регулятора, удалось полностью устранить автоколебательную раскачку, характерную для объектов с преобладающим запаздыванием. Процесс стал устойчивым и слабоколебательным.

На графике виден единственный плавный выброс. Максимальное значение составляет приблизительно 0.165 и достигается к 530-й секунде симуляции. Относительно установившегося значения перерегулирование невелико, что свидетельствует о качественной настройке демпфирования системы.

Система практически полностью стабилизируется и входит в зону установившегося значения к 1000-1100 секундам. Учитывая огромную инерционность объекта (постоянная времени 220 с), данное время регулирования является оптимальным.

Процесс стабилизируется на уровне около 0.15 при задающем воздействии 1.0. Большая статическая ошибка (≈ 0.85) обусловлена отсутствием интегрального звена в структуре нечеткого регулятора и сознательным ограничением мощности управляющего сигнала для обеспечения устойчивости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров, С. В. Проектирование и исследование мультидифференциального операционного усилителя вторичных преобразователей датчиков для систем контроля и управления / С. В. Федоров // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2021. – № 11. – С. 1-8. – DOI 10.25791/pribor.11.2021.1300. – EDN QMTSVC.
2. Федоров, С. В. Регрессионный метод определения параметров дифференциальных усилителей для интегральных схем / С. В. Федоров // Информатика и системы управления. – 2025. – № 1(83). – С. 57-68. – DOI 10.22250/18142400_2025_83_1_57. – EDN SHNKQQ.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024669469 Российская Федерация. Линейная регрессия вольт-амперной характеристики нелинейной активной нагрузки дифференциальных усилителей на основе чувствительности коэффициента усиления к изменению сопротивления активной нагрузки : № 2024668458 : заявл. 01.08.2024 : опубл. 19.08.2024 / С. В. Федоров. – EDN RQNCHI.

4. Патент № 2821422 С1 Российская Федерация, МПК H03F 3/45. Многоканальный мультидифференциальный операционный усилитель : № 2023131037 : заявл. 28.11.2023 : опубл. 24.06.2024 / С. В. Федоров. – EDN WIJUC.
5. Патент № 2824647 С1 Российская Федерация, МПК H03M 1/06, H03M 1/76. цифроаналоговый преобразователь : № 2023126367 : заявл. 15.10.2023 : опубл. 12.08.2024 / С. В. Федоров. – EDN NBIIGA.

Исмаилел Мухамед Хемдан Ибрахим (Египет)

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Стерлитамаке

Федоров С. В., Фахруллина А. Р.

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
в г. Кумертау

Ismail el Muhammad Hemdan Ibrahim (Egypt)

Branch of the Ufa State Petroleum Technological University in Sterlitamak

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ИСПАРИТЕЛЯ ДЛЯ АСУ ТП РЕГЕНЕРАЦИИ МЕТАНОЛА

MATHEMATICAL DESCRIPTION OF AN EVAPORATOR FOR METHANOL REGENERATION AUTOMATED CONTROL SYSTEM

Аннотация: в статье описан принцип формирования структуры централизованной автоматизированной системы управления технологическими процессами. Предложены новые схмотехнические решения при построении элементов автоматизированной системы управления. Приведено математическое описание испарителя для автоматизированной системы управления технологическим процессом регенерации метанола на основе экспериментальных характеристик. Проведена идентификация переходного процесса по графикам экспериментальной и расчетной переходной функции.

Abstract: The article describes the principle of forming the structure of a centralized automated process control system. New circuit design solutions are proposed for building elements of an automated control system. A mathematical description of an evaporator for an automated process control system for methanol regeneration based on experimental characteristics is provided. The transient process is identified using graphs of the experimental and calculated transient functions.

Ключевые слова: регенерации метанола, математическое описание, централизованная автоматизированная система

Keywords: methanol regeneration, mathematical description, centralized automated system

Централизованная структура АСУ ТП предполагает концентрацию всех управленческих функций в одном органе. Этот орган собирает и обрабатывает информацию об объектах, анализирует ее по заданным критериям и вырабатывает управляющие сигналы. Подобные структуры стали актуальны в связи с ростом числа контролируемых и регулируемых параметров, а также часто с территориальной рассредоточенностью объектов управления (рисунок 1).

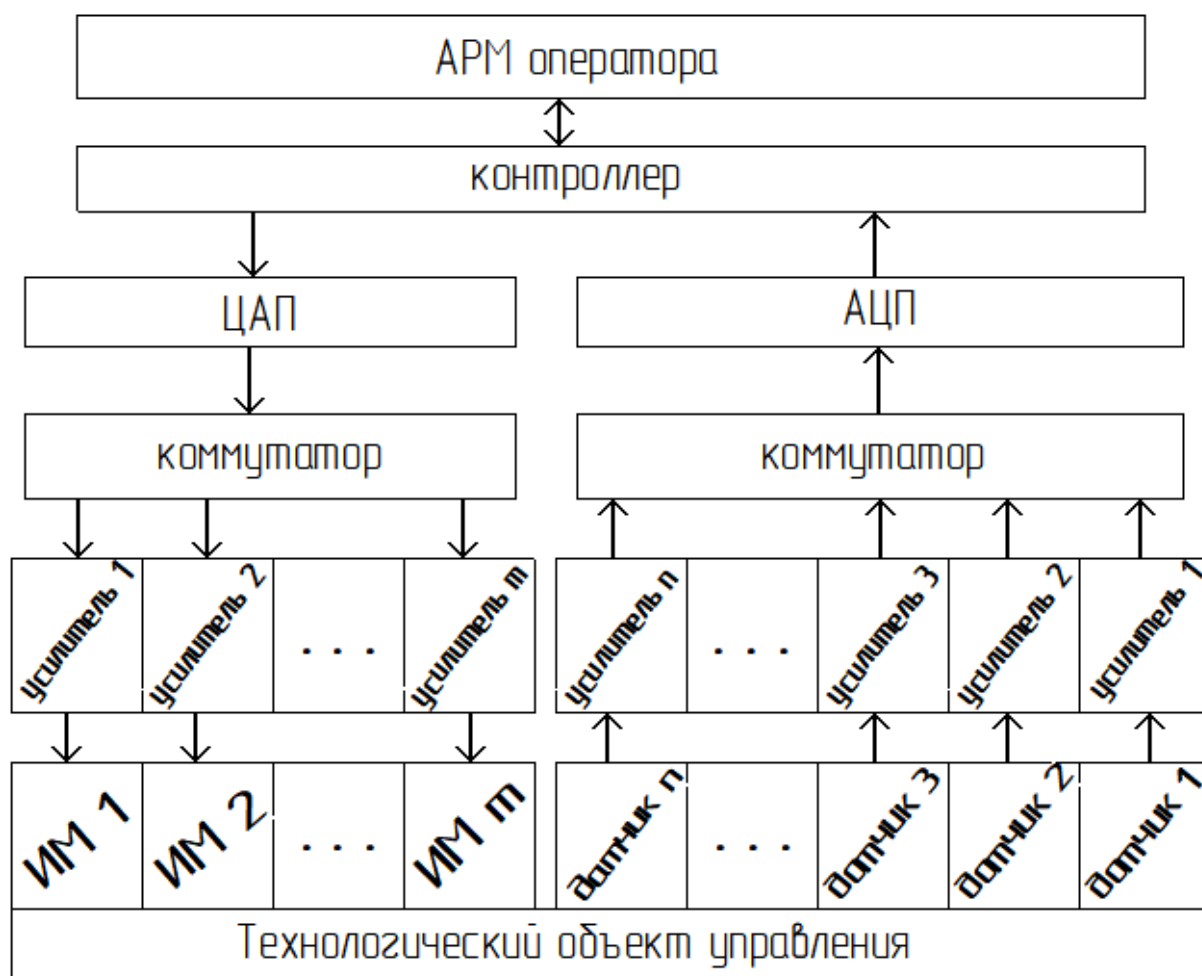


Рис. 1. Структура централизованной АСУ ТП

Входная информация для системы управления формируется посредством сигналов, поступающих с обширной сети сенсоров. К ним относятся датчики, регистрирующие температуру, уровень заполнения, перемещение, давление и прочие физические величины. Учитывая, что первичные сигналы с сенсоров характеризуются низким уровнем, требуется их последующее усиление и приведение к унифицированному диапазону. Реализацию этой задачи обеспечивают усилители, а также нормирующие преобразователи.

На сегодняшний день наиболее перспективным направлением при проектировании усилителей, таких как операционные усилители (ОУ), инструментальные усилители (ИУ) являются мультидифференциальные операционные усилители (МОУ). Конструктивно МОУ отличаются от классических ОУ использованием в их внутренней структуре добавочных

дифференциальных каскадов. В результате исследований по изучению свойств МОУ были выявлены следующие преимущества МОУ перед ОУ и инструментальными усилителями (ИУ):

1. напряжение смещения нуля в МОУ существенно ниже чем в ОУ и ИУ;
2. коэффициент ослабления синфазного сигнала в МОУ имеет более высокое значение по сравнению с ОУ и ИУ;
3. на базе МОУ возможна реализация таких преобразователей, которые не реализуемы на основе ОУ и ИУ;
4. возможность уменьшения элементных затрат при проектировании различных преобразователей.

Поэтому в качестве усилителей предлагается использовать МОУ [1]. Выбор параметров МОУ предлагается осуществлять на основе регрессионного метода [2,3].

При наличии множества датчиков возникает необходимость их последовательного опроса, один за другим. Это достигается путем кратковременного подключения каждого датчика и фиксации его показаний. Ключевую роль в этом процессе играет коммутатор. Он отвечает за то, чтобы в каждый конкретный момент времени только один датчик был соединен с аналого-цифровым преобразователем (АЦП).

В качестве коммутаторов предлагается использовать современные разработки на основе МОУ, такие как многоканальный мультидифференциальный операционный усилитель (ММОУ) [4].

Работа системы характеризуется регулярным считыванием показаний с датчиков, гарантируя постоянное обновление информации. Полученные значения параметров, преобразованные в цифровой формат, поступают в ЭВМ и сохраняются в ее памяти. Далее в ЭВМ осуществляется комплексная обработка данных и расчет управляющих команд для активации исполнительных механизмов.

Для устройств системы аналогового регулирования вычисляется сигнал, пропорциональный режиму работы данного устройства (например, частота

вращения двигателя). Эти сигналы преобразуются в электрический вид с помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). Обычно такой преобразователь многоканальный. Сигналы с ЦАП поступают на исполнительные механизмы. В источнике [5] предложена схема ЦАП на основе МОУ, позволяющая получать двухполярное напряжение на выходе, обладающая более высокой разрядностью по сравнению с классическими ЦАП с суммированием взвешенных токов, и более низкой погрешностью смещения нулевого уровня. Данную схему предлагается использовать для ЦАП в структуре АСУ ТП.

Формальную модель объекта можно представить в виде множества величин, описывающих процесс функционирования и образующих в общем случае следующие результирующие величины (в соответствии с рисунком 2).

Регулируемый объект (ОУ) представляет собой испаритель И-201.

Регулируемой величиной (выходной) $y(t)$ здесь является температура метанола в испарителе И-201 [6].



Рис. 2. Объект управления

Регулирующей величиной (управлением) $x(t)$ является расход газового конденсата.

Возмущающим воздействием $f(t)$ – температура окружающего воздуха.

По данным таблицы 1 строится экспериментальная переходная функция объекта управления $y(t)$ в программе MathCad [7].

Экспериментальная характеристика

Время, мин.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Входное ступенчатое воздействие, м ³ /час	1.2	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Изменение выходной величины, °С	45	45	48	51	54	57	60	64	67	70	73	76	79	82

Для построения экспериментальной переходной функции объекта управления на вход подается ступенчатое воздействие $x(t)$ – расход конденсата от 1.2 до 1.8 м³/ч.

На рисунке 3 представлен график скачкообразного внешнего воздействия на объект, выполненный в MathCad. Ниже приведены данные для построения данного графика.

Объект регулирования идентифицируем с помощью графоаналитического метода как апериодическое звено первого порядка с запаздыванием.

Общий вид передаточной функции будет иметь следующий вид:

$$W(p) = \frac{K_{об} e^{-\tau \cdot p}}{T_{об} p + 1}, \quad (1)$$

где $K_{об}$ - коэффициент усиления объекта регулирования;

$T_{об}$ - постоянная времени объекта;

$\tau_{об}$ - время запаздывания объекта.

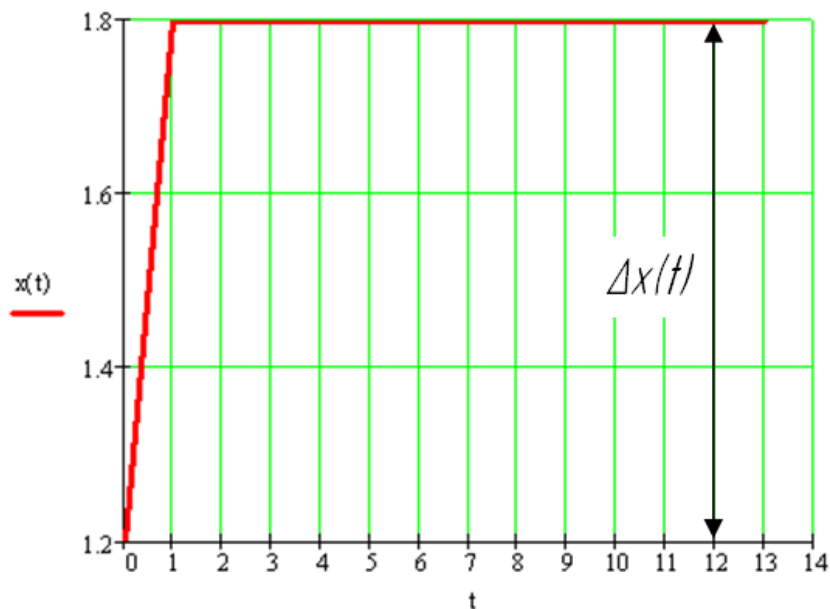


Рис. 3. Входное ступенчатое воздействие $x(t)$

Постоянная времени объекта $T_{об}$ представляет собой временной отрезок от точки пересечения касательной, проведенной к переходной характеристике с линией установившегося значения параметра.

По графику, приведенному на рисунке 4, определяем, что $T_{об}=9.9$ мин., $\tau_{об}=1.3$ мин.

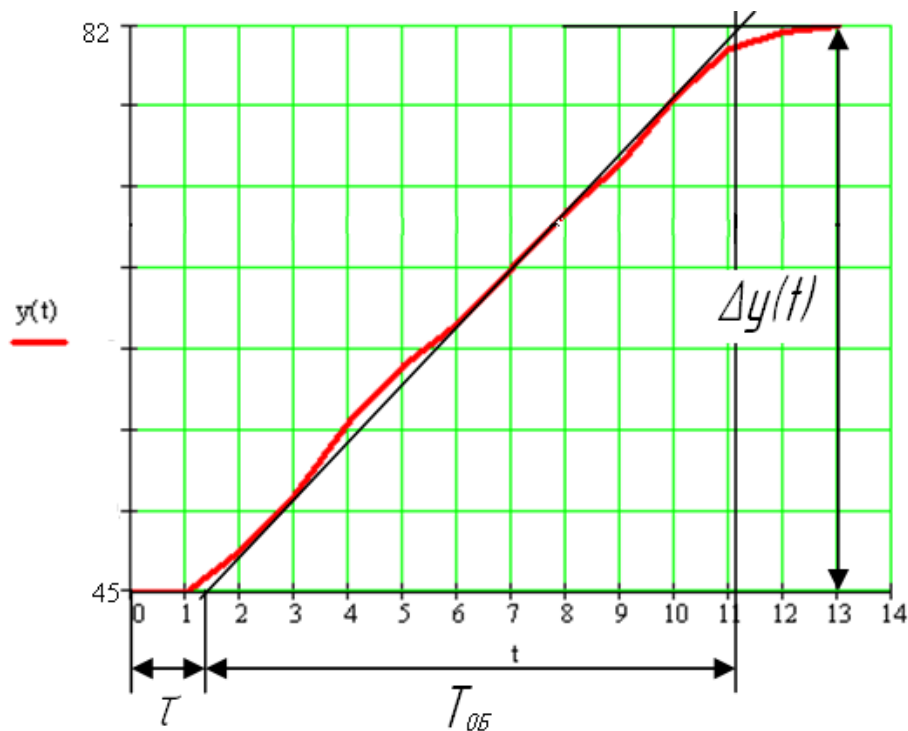


Рис. 4. Экспериментальная переходная функция ОУ $y(t)$

Для статического объекта коэффициент усиления может быть непосредственно найден из графика переходной функции:

$$K_{y0} = \frac{\Delta y}{\Delta x}, \quad (2)$$

где Δy - относительное изменение выходной величины;

Δx - относительное изменение входной величины.

Эти параметры рассчитываются по следующим формулам:

Из графика переходного процесса определяем:

$$\begin{aligned} \Delta y &= 7; \\ \Delta x &= 0.6 \end{aligned}$$

Тогда:

$$K_{об} = 7/0.6 = 11.7.$$

В результате, передаточная функция объекта регулирования имеет следующий вид:

$$W(p) = \frac{11.7}{9.9p+1} e^{-1.3p}$$

В программном пакете Mathcad по полученной передаточной функции определим расчетную переходную функцию объекта управления.

$$\tau := 1.5 \quad T := 12.5 \quad K := -11.7$$

$$W(p) := \frac{K}{T \cdot p + 1} \cdot e^{-p \cdot \tau}$$

$$\frac{W(p)}{p} \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace, } p \\ \text{float, } 2 \end{array} \right. \rightarrow 12 \cdot \Phi(t - 1.5) \cdot \exp\{-8.0 \cdot 10^{-2} \cdot t + .12\} - 12 \cdot \Phi(t - 1.5)$$

$$h(t) := 12 \cdot \Phi(t - 1.5) \cdot \exp\{-8.0 \cdot 10^{-2} \cdot t + .12\} - 12 \cdot \Phi(t - 1.5)$$

$$t := 0, 1 \dots 35$$

Для проведения идентификации переходного процесса построим графики экспериментальной и расчетной переходной функции.

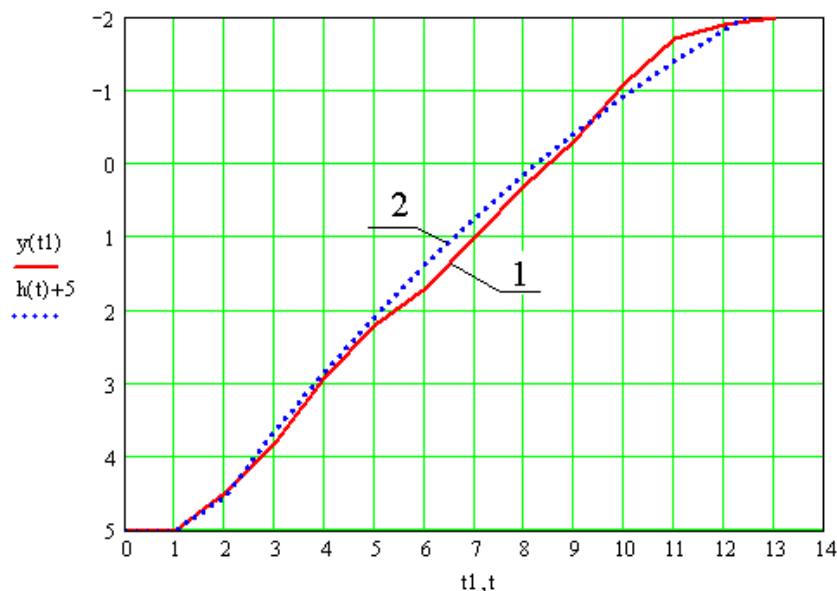


Рис. 5. Идентификация экспериментальной и расчетной переходных функций
 1 - расчетная переходная функция $h(t)$, 2 - экспериментальная переходная функция $Y(t)$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров, С. В. Проектирование и исследование мультидифференциального операционного усилителя вторичных преобразователей датчиков для систем контроля и управления / С. В. Федоров // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2021. – № 11. – С. 1-8. – DOI 10.25791/pribor.11.2021.1300. – EDN QMTSVC.
2. Федоров, С. В. Регрессионный метод определения параметров дифференциальных усилителей для интегральных схем / С. В. Федоров // Информатика и системы управления. – 2025. – № 1(83). – С. 57-68. – DOI 10.22250/18142400_2025_83_1_57. – EDN SHNKQQ.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024669469 Российская Федерация. Линейная регрессия вольт-амперной характеристики нелинейной активной нагрузки дифференциальных усилителей на основе чувствительности коэффициента усиления к изменению сопротивления активной нагрузки : № 2024668458 : заявл. 01.08.2024 : опубл. 19.08.2024 / С. В. Федоров. – EDN RQNCHI.
4. Патент № 2821422 С1 Российская Федерация, МПК H03F 3/45. Многоканальный мультидифференциальный операционный усилитель : № 2023131037 : заявл. 28.11.2023 : опубл. 24.06.2024 / С. В. Федоров. – EDN WIJUC.
5. Патент № 2824647 С1 Российская Федерация, МПК H03M 1/06, H03M 1/76. цифроаналоговый преобразователь : № 2023126367 : заявл. 15.10.2023 : опубл. 12.08.2024 / С. В. Федоров. – EDN NBIIGA.
6. Костюк, С. В. О возможности использования центробежного ректификационного аппарата для регенерации метанола / С. В. Костюк, А. В. Рязанов, А. К. Апарин // Молодой ученый. – 2016. – № 10(114). – С. 246-249. – EDN WAOBDT.
7. Федоров, С. В. Моделирование управляющих систем : Учебное пособие / С. В. Федоров, А. В. Бондарев. – Уфа : УФИМСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ, 2024. – 108 с. – ISBN 978-5-7477-5877-3. – EDN HBXZIA.

Куанышкалиев Акжол Сабыржанулы (Казахстан)

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Стерлитамаке

Федоров С. В., Фахруллина А. Р.

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
в г. Кумертау

Kuanyshkaliyev Akzhol Sabyrzhanuly (Kazakhstan)

Branch of the Ufa State Petroleum Technological University

РЕГУЛЯТОР НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОПАРОЧНЫМ БУНКЕРОМ CBRB-4000 (METSO PAPER)

FUZZY-BASED CONTROLLER FOR THE CBRB-4000 AUTOMATIC CONTROL SYSTEM (METSO PAPER)

Аннотация: в статье описан принцип формирования структуры централизованной системы управления технологическими процессами. Предложены новые схемотехнические решения при построении элементов системы управления. Представлена передаточная функция пропарочного бункера CBRB-4000. Осуществлен синтез нечеткого регулятора в пакете Matlab на основе описания функции принадлежности входных и выходных переменных и правила нечеткого логического вывода. Проведено моделирование замкнутой системы интеллектуального управления пропарочным бункером CBRB-4000 с нечетким регулятором. На основании моделирования была построена переходная функция и сделаны выводы о качестве переходного процесса.

Abstract: The article describes the principle of forming the structure of a centralized process control system. New circuit design solutions are proposed for building control system elements. The transfer function of the CBRB-4000 steaming hopper is presented. A fuzzy controller is synthesized in the Matlab package based on the description of the membership function of input and output variables and the fuzzy inference rule. The closed-loop intelligent control system of the CBRB-4000 steaming hopper with a fuzzy controller is simulated. Based on the simulation, a transition function was constructed and conclusions were drawn about the quality of the transition process.

Ключевые слова: пропарочный бункер CBRB-4000, нечеткий регулятор, интеллектуальная система управления

Keywords: CBRB-4000 steaming hopper, fuzzy controller, intelligent control system

Централизованная структура АСУ ТП предполагает концентрацию всех управленческих функций в одном органе. Этот орган собирает и обрабатывает

информацию об объектах, анализирует ее по заданным критериям и вырабатывает управляющие сигналы. Подобные структуры стали актуальны в связи с ростом числа контролируемых и регулируемых параметров, а также часто с территориальной рассредоточенностью объектов управления (рисунок1).

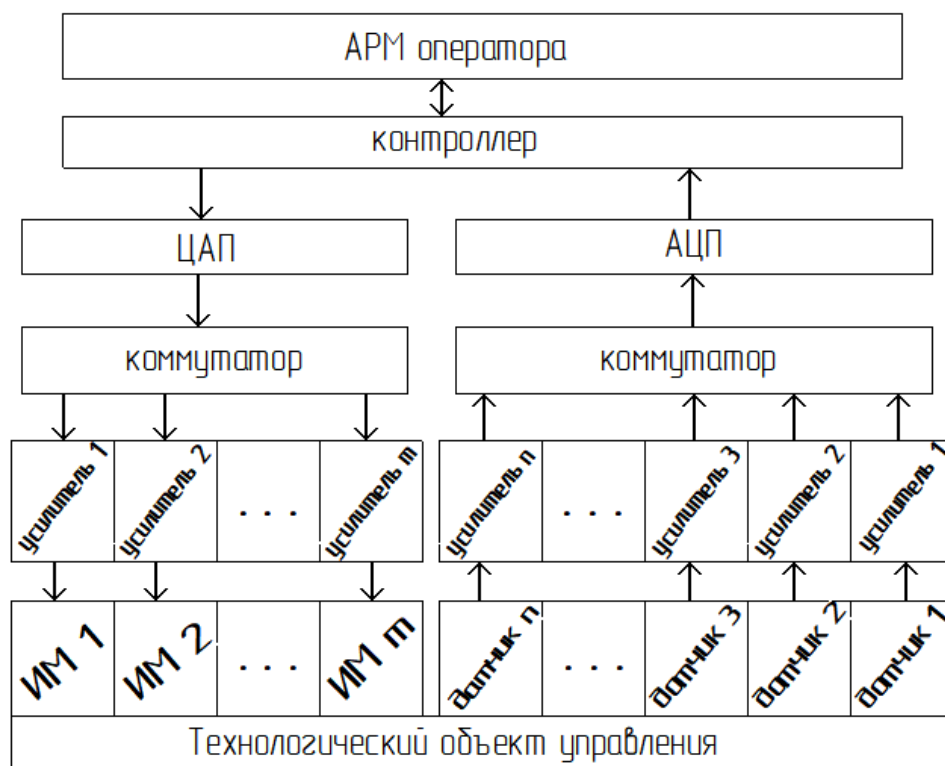


Рис. 1. Структура централизованной АСУ ТП

Входная информация для системы управления формируется посредством сигналов, поступающих с обширной сети сенсоров. К ним относятся датчики, регистрирующие температуру, уровень заполнения, перемещение, давление и прочие физические величины. Учитывая, что первичные сигналы с сенсоров характеризуются низким уровнем, требуется их последующее усиление и приведение к унифицированному диапазону. Реализацию этой задачи обеспечивают усилители, а также нормирующие преобразователи.

На сегодняшний день наиболее перспективным направлением при проектировании усилителей, таких как операционные усилители (ОУ), инструментальные усилители (ИУ) являются мультидифференциальные операционные усилители (МОУ). Конструктивно МОУ отличаются от

классических ОУ использованием в их внутренней структуре добавочных дифференциальных каскадов. В результате исследований по изучению свойств МОУ были выявлены следующие преимущества МОУ перед ОУ и инструментальными усилителями (ИУ):

1. напряжение смещения нуля в МОУ существенно ниже чем в ОУ и ИУ;
2. коэффициент ослабления синфазного сигнала в МОУ имеет более высокое значение по сравнению с ОУ и ИУ;
3. на базе МОУ возможна реализация таких преобразователей, которые не реализуемы на основе ОУ и ИУ;
4. возможность уменьшения элементных затрат при проектировании различных преобразователей.

Поэтому в качестве усилителей предлагается использовать МОУ [1]. Выбор параметров МОУ предлагается осуществлять на основе регрессионного метода [2,3].

При наличии множества датчиков возникает необходимость их последовательного опроса, один за другим. Это достигается путем кратковременного подключения каждого датчика и фиксации его показаний. Ключевую роль в этом процессе играет коммутатор. Он отвечает за то, чтобы в каждый конкретный момент времени только один датчик был соединен с аналого-цифровым преобразователем (АЦП).

В качестве коммутаторов предлагается использовать современные разработки на основе МОУ, такие как многоканальный мультидифференциальный операционный усилитель (ММОУ) [4].

Работа системы характеризуется регулярным считыванием показаний с датчиков, гарантируя постоянное обновление информации. Полученные значения параметров, преобразованные в цифровой формат, поступают в ЭВМ и сохраняются в ее памяти. Далее в ЭВМ осуществляется комплексная обработка данных и расчет управляющих команд для активации исполнительных механизмов.

Для устройств системы аналогового регулирования вычисляется сигнал, пропорциональный режиму работы данного устройства (например, частота вращения двигателя). Эти сигналы преобразуются в электрический вид с помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). Обычно такой преобразователь многоканальный. Сигналы с ЦАП поступают на исполнительные механизмы. В источнике [5] предложена схема ЦАП на основе МОУ, позволяющая получать двухполярное напряжение на выходе, обладающая более высокой разрядностью по сравнению с классическими ЦАП с суммированием взвешенных токов, и более низкой погрешностью смещения нулевого уровня. Данную схему предлагается использовать для ЦАП в структуре АСУ ТП.

Проектирование регулятора проводилось в приложении «fuzzy» пакета MATLAB. В качестве алгоритма управления реализован нечеткий ПД-регулятор. Для примера пропарочный бункер CBRB-4000 (Metso Paper) в производстве ХТММ со следующими данными:

- Канал: степень открытия клапана на паропроводе в бункер – температура щепы в нижней части бункера
- Передаточная функция – $W(p) = \frac{0.132 \cdot e^{-182p}}{259p+1}$
- Размерность коэффициента передачи – $\frac{^{\circ}\text{C}}{\%}$

Для охвата всего диапазона динамических нагрузок были заданы следующие параметры переменных (см. табл. 1-3 и рис. 2-4):

Таблица 1

Входная переменная 1: Ошибка скорости (e)

Терм	Значение	x1	x2	x3	Range
N	Отрицательная	-20	-10	0	[-10 10]
Z	Норма	-10	0	10	
P	Положительная	0	10	20	

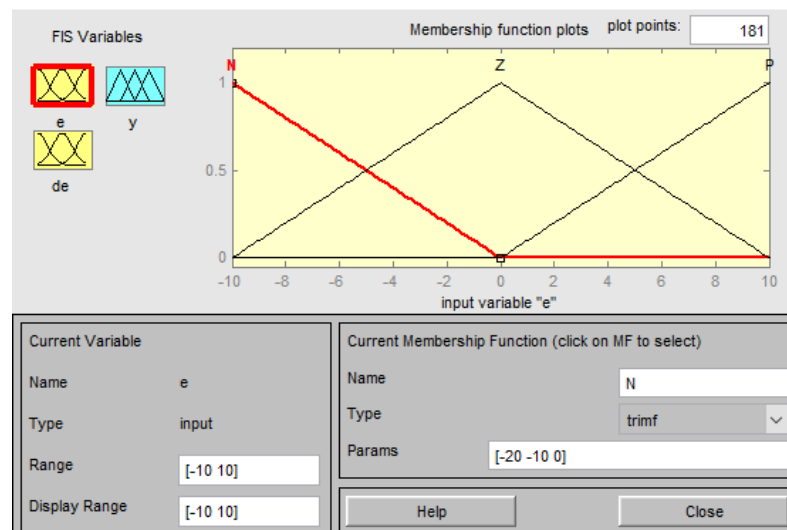


Рис. 2. Входная переменная 1: Ошибка скорости (e)

Таблица 2

Входная переменная 1: Ошибка скорости (e)

Терм	Значение	x1	x2	x3	Range
N	Отрицательная	-0.2	-0.1	0	[-0.1 0.1]
Z	Норма	-0.1	0	0.1	
P	Положительная	0	0.1	0.2	

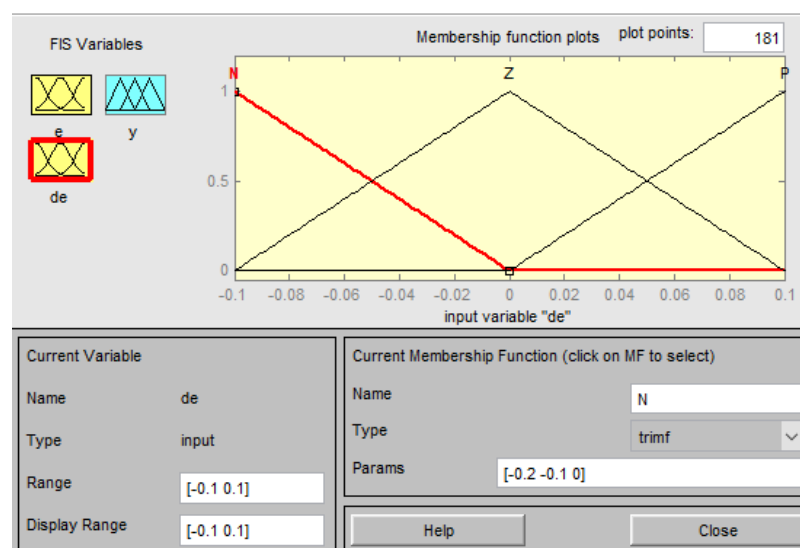


Рис. 3. Входная переменная 2: Производная ошибки (de)

Входная переменная 1: Ошибка скорости (e)

Терм	Значение	x1	x2	x3	Range
N	Отрицательная	-2	-1	0	[-1 1]
Z	Норма	-1	0	1	
P	Положительная	0	1	2	

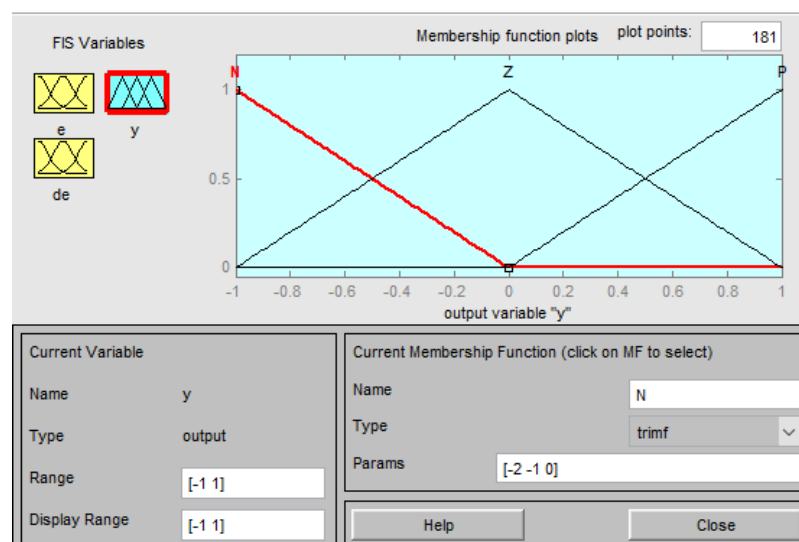


Рис. 4. Выходная переменная: Управляющее напряжение (Ua)

Была разработана база из 9 продукционных нечетких правил:

- Правило 1: если $e = N$ и $de = N$, то $U_a = N$;
- Правило 2: если $e = N$ и $de = Z$, то $U_a = N$;
- Правило 3: если $e = N$ и $de = P$, то $U_a = Z$;
- Правило 4: если $e = Z$ и $de = N$, то $U_a = N$;
- Правило 5: если $e = Z$ и $de = Z$, то $U_a = Z$;
- Правило 6: если $e = Z$ и $de = P$, то $U_a = P$;
- Правило 7: если $e = P$ и $de = N$, то $U_a = Z$;
- Правило 8: если $e = P$ и $de = Z$, то $U_a = P$;
- Правило 9: если $e = P$ и $de = P$, то $U_a = P$.

		de/dt		
		<i>N</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>
<i>e</i>	<i>N</i>	N	Z	N
	<i>P</i>	Z	P	P
	<i>Z</i>	N	P	Z

В среде визуального моделирования Simulink была собрана схема замкнутой системы, представленная на рис. 5.

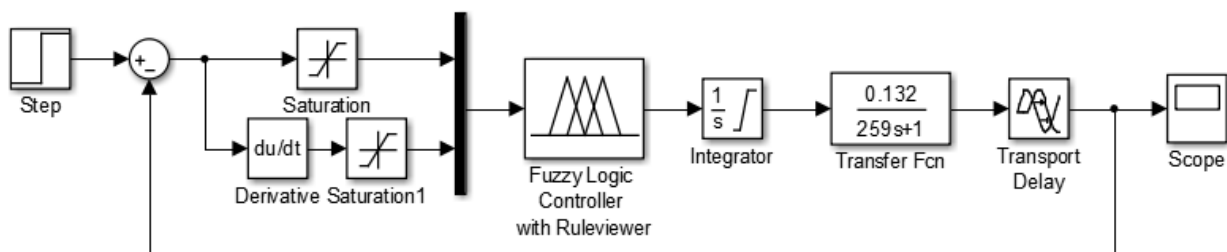


Рис. 5. Функциональная схема ЭМС в Simulink

Блоки на схеме:

- 1) Step – задает желаемое значение. (управляющее воздействие)
- 2) Saturation – блок, принимает входной сигнал и ограничивает его значения на основе заданных верхнего и нижнего пределов.
- 3) Derivative (du/dt) – блок вычисления производной от сигнала ошибки. Вычисляет скорость изменения ошибки, формируя второй входной сигнал для регулятора.
- 4) Fuzzy Logic Controller with Ruleviewer – в блок загружена экспортированная из рабочей области переменная, содержащая базу продукционных правил.
- 5) Integrator – блок, который интегрирует входной сигнал относительно времени и выдаёт результат на выходе.
- 6) Transfer Fcn – передаточная функция электрической части.
- 7) Transport Delay – задерживает входной сигнал на заданно времени. Используется для временных задержек.

Результаты моделирования представлены на рис 6.

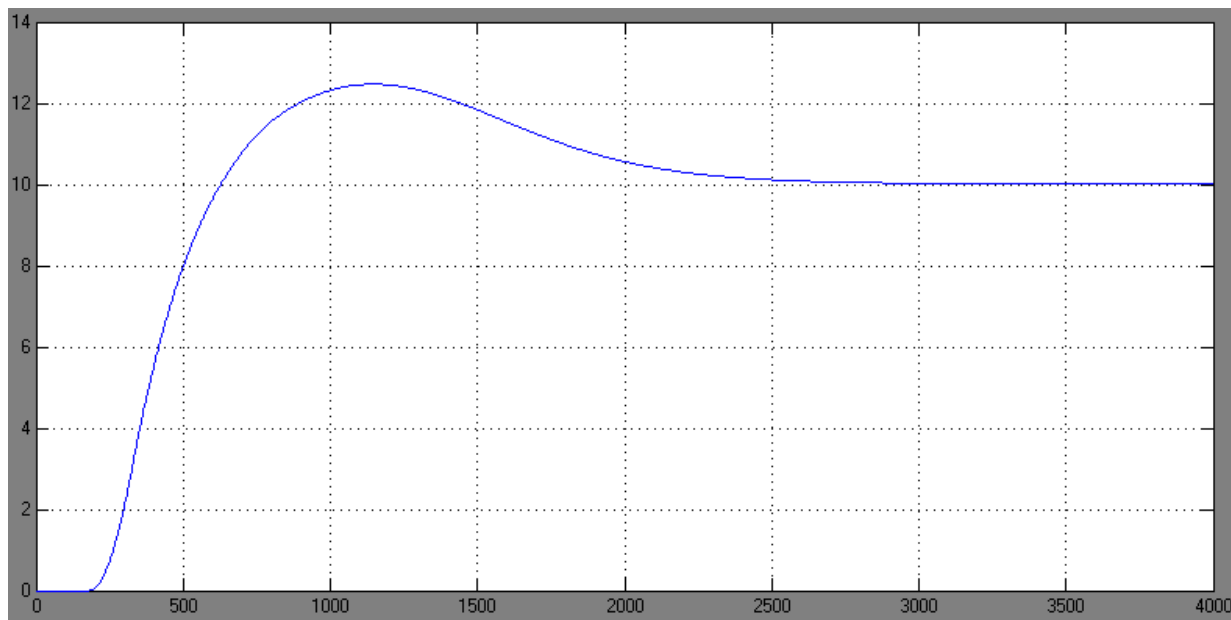


Рис. 6. Результат моделирования схемы системы интеллектуального управления

Процесс стартует с нулевой отметки. На графике выражено огромное время транспортного запаздывания объекта $\tau = 182$ с. В этот период (первые 3 минуты) температура остается неизменной, несмотря на уже начавшееся открытие парового клапана.

Процесс носит колебательный (слабодемпфированный) характер с одним ярко выраженным циклом перерегулирования.

Перерегулирование составляет около 25% (температура достигает пика ≈ 12.5 °C при уставке 10 °C).

Время регулирования составляет около 2500–3000 секунд, что полностью соответствует динамике тяжелого промышленного бункера (постоянная времени $T = 259$ с).

После прохождения пика система плавно возвращается к заданному значению и стабилизируется на отметке 10 °C. Статическая ошибка стремится к нулю.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров, С. В. Проектирование и исследование мультидифференциального операционного усилителя вторичных преобразователей датчиков для систем контроля и управления / С. В.

- Федоров // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2021. – № 11. – С. 1-8. – DOI 10.25791/pribor.11.2021.1300. – EDN QMTSVC.
2. Федоров, С. В. Регрессионный метод определения параметров дифференциальных усилителей для интегральных схем / С. В. Федоров // Информатика и системы управления. – 2025. – № 1(83). – С. 57-68. – DOI 10.22250/18142400_2025_83_1_57. – EDN SHNKQQ.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024669469 Российская Федерация. Линейная регрессия вольт-амперной характеристики нелинейной активной нагрузки дифференциальных усилителей на основе чувствительности коэффициента усиления к изменению сопротивления активной нагрузки : № 2024668458 : заявл. 01.08.2024 : опубл. 19.08.2024 / С. В. Федоров. – EDN RQNCHI.
4. Патент № 2821422 С1 Российская Федерация, МПК H03F 3/45. Многоканальный мультидифференциальный операционный усилитель : № 2023131037 : заявл. 28.11.2023 : опубл. 24.06.2024 / С. В. Федоров. – EDN WIJUC.
5. Патент № 2824647 С1 Российская Федерация, МПК H03M 1/06, H03M 1/76. цифроаналоговый преобразователь : № 2023126367 : заявл. 15.10.2023 : опубл. 12.08.2024 / С. В. Федоров. – EDN NBIIGA.

Рахматов Шахбоз Шухрат угли (Узбекистан)

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Стерлитамаке

Федоров С. В., Фахруллина А. Р.

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
в г. Кумертау

Rakhmatov Shakhboz Shukhrat Ugli (Uzbekistan)

Branch of the Ufa State Petroleum Technological University

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПЕЧИ ДЛЯ АСУ ТП ПРОИЗВОДСТВА ФОРМОВОГО ХЛЕБА

MATHEMATICAL DESCRIPTION OF A FURNACE FOR AUTOMATED PROCESS CONTROL OF MOLDED BREAD PRODUCTION

Аннотация: в статье описан принцип формирования структуры централизованной автоматизированной системы управления технологическими процессами. Предложены новые схмотехнические решения при построении элементов автоматизированной системы управления. Приведено математическое описание печи для автоматизированной системы управления технологическим процессом производства формового хлеба на основе экспериментальных характеристик. Проведена идентификация переходного процесса по графикам экспериментальной и расчетной переходной функции.

Abstract: The article describes the principle of forming the structure of a centralized automated process control system. New circuit design solutions are proposed for building elements of an automated control system. A mathematical description of a furnace for an automated process control system for the production of molded bread is provided based on experimental characteristics. The transient process is identified using graphs of the experimental and calculated transient functions.

Ключевые слова: печь, производства формового хлеба, математическое описание, централизованная автоматизированная система

Keywords: oven, production of molded bread, mathematical description, centralized automated system

Централизованная структура АСУ ТП предполагает концентрацию всех управленческих функций в одном органе. Этот орган собирает и обрабатывает информацию об объектах, анализирует ее по заданным критериям и вырабатывает управляющие сигналы. Подобные структуры стали актуальны в

связи с ростом числа контролируемых и регулируемых параметров, а также часто с территориальной рассредоточенностью объектов управления (рисунк1).

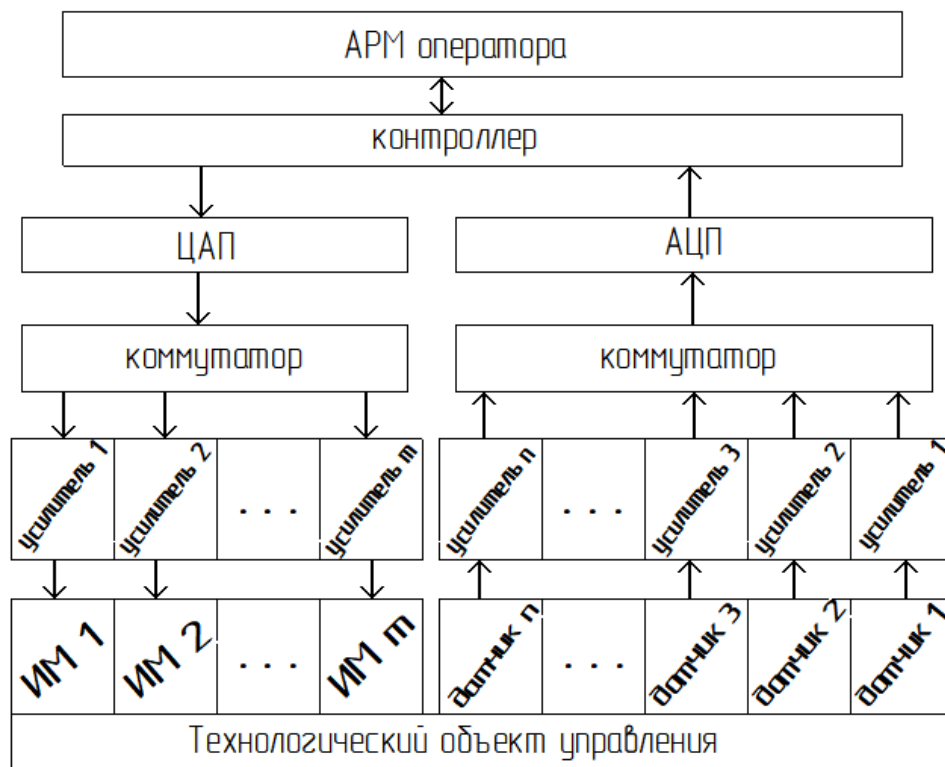


Рис. 1. Структура централизованной АСУ ТП

Входная информация для системы управления формируется посредством сигналов, поступающих с обширной сети сенсоров. К ним относятся датчики, регистрирующие температуру, уровень заполнения, перемещение, давление и прочие физические величины. Учитывая, что первичные сигналы с сенсоров характеризуются низким уровнем, требуется их последующее усиление и приведение к унифицированному диапазону. Реализацию этой задачи обеспечивают усилители, а также нормирующие преобразователи.

На сегодняшний день наиболее перспективным направлением при проектировании усилителей, таких как операционные усилители (ОУ), инструментальные усилители (ИУ) являются мультидифференциальные операционные усилители (МОУ). Конструктивно МОУ отличаются от классических ОУ использованием в их внутренней структуре добавочных дифференциальных каскадов. В результате исследований по изучению свойств

МОУ были выявлены следующие преимущества МОУ перед ОУ и инструментальными усилителями (ИУ):

1. напряжение смещения нуля в МОУ существенно ниже чем в ОУ и ИУ;
2. коэффициент ослабления синфазного сигнала в МОУ имеет более высокое значение по сравнению с ОУ и ИУ;
3. на базе МОУ возможна реализация таких преобразователей, которые не реализуемы на основе ОУ и ИУ;
4. возможность уменьшения элементных затрат при проектировании различных преобразователей.

Поэтому в качестве усилителей предлагается использовать МОУ [1]. Выбор параметров МОУ предлагается осуществлять на основе регрессионного метода [2,3].

При наличии множества датчиков возникает необходимость их последовательного опроса, один за другим. Это достигается путем кратковременного подключения каждого датчика и фиксации его показаний. Ключевую роль в этом процессе играет коммутатор. Он отвечает за то, чтобы в каждый конкретный момент времени только один датчик был соединен с аналого-цифровым преобразователем (АЦП).

В качестве коммутаторов предлагается использовать современные разработки на основе МОУ, такие как многоканальный мультидифференциальный операционный усилитель (ММОУ) [4].

Работа системы характеризуется регулярным считыванием показаний с датчиков, гарантируя постоянное обновление информации. Полученные значения параметров, преобразованные в цифровой формат, поступают в ЭВМ и сохраняются в ее памяти. Далее в ЭВМ осуществляется комплексная обработка данных и расчет управляющих команд для активации исполнительных механизмов.

Для устройств системы аналогового регулирования вычисляется сигнал, пропорциональный режиму работы данного устройства (например, частота вращения двигателя). Эти сигналы преобразуются в электрический вид с

помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). Обычно такой преобразователь многоканальный. Сигналы с ЦАП поступают на исполнительные механизмы. В источнике [5] предложена схема ЦАП на основе МОУ, позволяющая получать двухполярное напряжение на выходе, обладающая более высокой разрядностью по сравнению с классическими ЦАП с суммированием взвешенных токов, и более низкой погрешностью смещения нулевого уровня. Данную схему предлагается использовать для ЦАП в структуре АСУ ТП.

Формальную модель объекта моделирования можно представить в виде множества величин, описывающих процесс функционирования реального объекта и образующих в общем случае следующие подмножества:

1 совокупность входных воздействий на объект

$$g_i \in G, \quad i = 1, \dots, p;$$

2 совокупность воздействий внешней среды

$$v_i \in V, \quad i = 1, \dots, q;$$

3 совокупность внутренних (собственных) параметров объекта

$$h_i \in H, \quad i = 1, \dots, k;$$

4 совокупность выходных характеристик объекта

$$y_i \in Y, \quad i = 1, \dots, r.$$

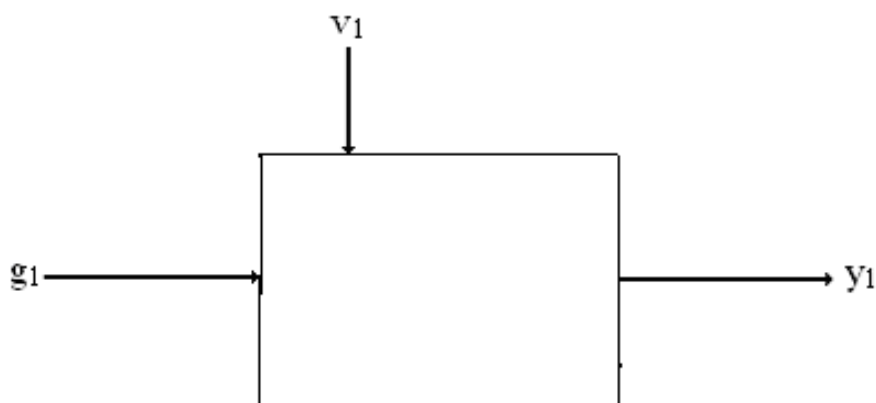


Рис. 2. Структурная схема объекта

Регулируемый объект: печь ФТЛ-2-66 [6,7].

Регулируемой величиной (y) здесь является температура пара.

Регулирующие величины (g): давление в печи.

Возмущения (ν): количество воздуха.

Проведение эксперимента начинают с установки на объекте выбранного режима работы, который характеризуется постоянством выходной переменной и всех влияющих на нее переменных. Установившийся режим работы при заранее выбранном значении выходной переменной $x_{\text{вых0}}$ выдерживают 2,0—2,5 мин для медленно протекающих процессов, связанных, например, с изменением температуры или влажности, и 0,3—0,5 мин — для более быстро протекающих процессов, таких как изменение давления или расхода.

Затем как можно быстрее вводят испытательное воздействие и одновременно начинают регистрировать изменение выходной переменной во времени. Для дальнейшей оценки вида испытательного воздействия необходимо также определить время его внесения. Помимо регистрации выходной переменной в процессе эксперимента желательно, если это возможно, записывать изменения основных возмущающих переменных и, в первую очередь, нагрузки объекта.

Исходя из вышесказанного производится эксперимент по определению динамической характеристики объекта. Для этого выбирается разомкнутая система состоящая из объекта, регулирующего органа и измерительного преобразователя. В качестве PO служит клапан. Выбираем номинальный режим в окрестности которого мы будем изменять наши параметры. Так выходное значение номинального режима выберем равным 220 °С. Данное давление требуется поддерживать на заданном уровне. Давление, необходимое для поддержания данной температуры, равно $P=1,3$ Мпа. Производится изменение расхода пара на величину равную расходу в номинальном режиме. При этом изменение давления будет происходить так, как показано на рисунке 2.

Таблица 1

Выходной параметр	Значения, °С	Время	Значения, мин.	Входной параметр	Значения, Мпа
y_0	220	t_0	1	x_0	1,3
y_1	220	t_1	2	x_1	1,42
y_2	235	t_2	4		
y_3	240	t_3	5		
y_4	243	t_4	10		
y_5	245	t_5	12		
y_6	246	t_6	16		
y_7	247	t_7	18		
y_8	249	t_8	19		
y_9	250	t_9	20		

По этим экспериментальным данным строится график переходной функции.

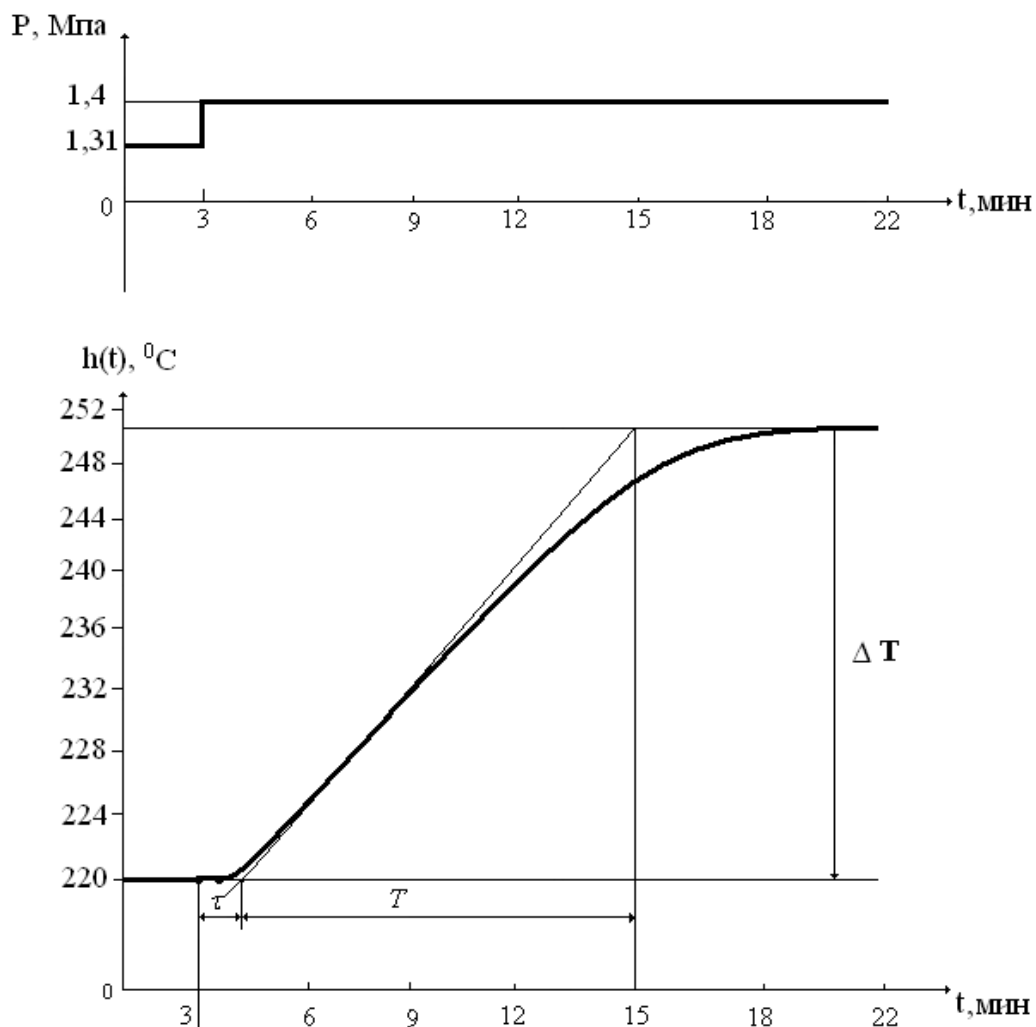


Рис. 2. График переходного процесса с определением τ , Тоб, К

Данные графики применимы для диапазонов давления $P=1,31-1,4$ МПа и температуры $h(t)=220-250$ °С. Кривая разгона (динамическая характеристика) объекта регулирования приведена на рисунке 2. Из графика видно, что печь типа ФТЛ-2-66 как объект регулирования представляет собой звено, близкое к апериодическому звену второго порядка. С достаточной для практических задач точностью данные объекты могут быть аппроксимированы звеном первого порядка. В этом случае для нашего объекта управления основные динамические параметры:

$$1 \quad K = \frac{\Delta y}{\Delta x} = 1.14.$$

$$2 \quad \tau = 1.8 \text{ мин} = 108 \text{ с.}$$

$$3 \quad T = 10.2 \text{ мин} = 612 \text{ с.}$$

Исходя из анализа технологического процесса, получаем, что передаточная функция объекта по каналу управления имеет вид

$$W(p) = \frac{K_{oy}}{Tp + 1} e^{-p\tau} \quad (1)$$

С помощью Matcad 2001 перешли от передаточной функции (1) к переходной функции объекта управления $h(t)$ [8].

$$T = 367$$

$$K = 333$$

$$\tau = 108$$

$$F(p) = W_{об}(p)W_{пез}(p)$$

$$\frac{F(p)}{p} \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace, p} \\ \text{float, 2} \end{array} \right. \rightarrow 3.3 \cdot 10^2 \cdot \Phi(t - 1.1 \cdot 10^2) - 3.3 \cdot 10^2 \cdot \Phi(t - 1.1 \cdot 10^2) \cdot \exp(-1.5 \cdot 10^{-3} \cdot t + .17)$$

$$h(t) := 3.3 \cdot 10^2 \cdot \Phi(t - 1.1 \cdot 10^2) - 3.3 \cdot 10^2 \cdot \Phi(t - 1.1 \cdot 10^2) \cdot \exp(-1.5 \cdot 10^{-3} \cdot t + .17)$$

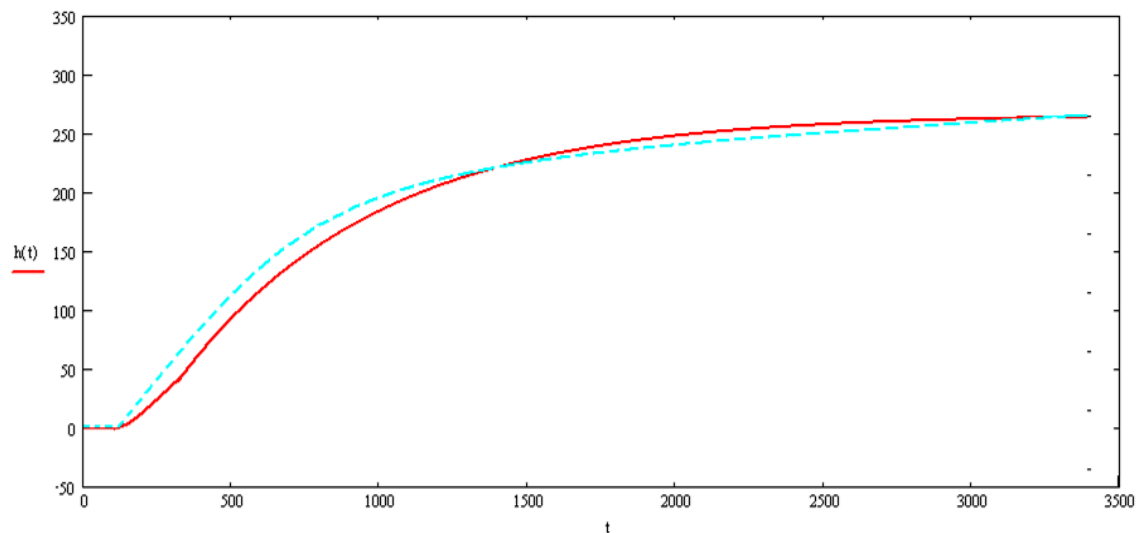


Рис. 3. Идентификация экспериментальной и расчетной переходных функций
 1 – экспериментальная функция переходного процесса $Y(t)$;
 2 – расчетная переходная функция $h(t)$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров, С. В. Проектирование и исследование мультидифференциального операционного усилителя вторичных преобразователей датчиков для систем контроля и управления / С. В. Федоров // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2021. – № 11. – С. 1-8. – DOI 10.25791/pribor.11.2021.1300. – EDN QMTSVC.
2. Федоров, С. В. Регрессионный метод определения параметров дифференциальных усилителей для интегральных схем / С. В. Федоров // Информатика и системы управления. – 2025. – № 1(83). – С. 57-68. – DOI 10.22250/18142400_2025_83_1_57. – EDN SHNKQQ.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024669469 Российская Федерация. Линейная регрессия вольт-амперной характеристики нелинейной активной нагрузки дифференциальных усилителей на основе чувствительности коэффициента усиления к изменению сопротивления активной нагрузки : № 2024668458 : заявл. 01.08.2024 : опубл. 19.08.2024 / С. В. Федоров. – EDN RQNCNI.
4. Патент № 2821422 С1 Российская Федерация, МПК H03F 3/45. Многоканальный мультидифференциальный операционный усилитель : № 2023131037 : заявл. 28.11.2023 : опубл. 24.06.2024 / С. В. Федоров. – EDN WIJUC.
5. Патент № 2824647 С1 Российская Федерация, МПК H03M 1/06, H03M 1/76. цифроаналоговый преобразователь : № 2023126367 : заявл. 15.10.2023 : опубл. 12.08.2024 / С. В. Федоров. – EDN NBPIGA.
6. Сериков, С. В. О лучистом теплообмене хлебопекарной печи ФТЛ-2-66 / С. В. Сериков // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 160-летию со дня рождения В.Г. Шухова, Белгород, 01–20 мая 2013 года. – Белгород: шухова, 2013. – С. 280-283. – EDN QMBJWI.
7. Тупольских, Т. И. Процессы и аппараты пищевых производств : практикум / Т. И. Тупольских, Н. Н. Шумская, Н. В. Гучева. – Ростов-на-Дону : Донской государственный технический университет, 2023. – 58 с. – ISBN 978-5-7890-2174-3. – EDN NUQLMA.
8. Федоров, С. В. Моделирование управляющих систем : Учебное пособие / С. В. Федоров, А. В. Бондарев. – Уфа : УФИМСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ, 2024. – 108 с. – ISBN 978-5-7477-5877-3. – EDN HBXZIA.

Свайди Абдуллах Тахсин Фалих (Ирак)

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Стерлитамаке

Федоров С. В., Фахруллина А. Р.

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
в г. Кумертау

Swaidi Abdullah Tahsin Falih (Iraq)

Branch of the Ufa State Petroleum Technological University

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ТЕПЛООБМЕННИКА ДЛЯ АСУ ПОДГОТОВКИ ЭЛЕКТРОЛИЗНОГО РАССОЛА

MATHEMATICAL DESCRIPTION OF A HEAT EXCHANGER FOR ACS PREPARATION OF ELECTROLYTE BRINE

Аннотация: в статье описан принцип формирования структуры централизованной автоматизированной системы управления технологическими процессами. Предложены новые схемотехнические решения при построении элементов автоматизированной системы управления. Приведено математическое описание теплообменника для автоматизированной системы управления технологическим процессом подготовки электролизного рассола на основе экспериментальных характеристик. Проведена идентификация переходного процесса по графикам экспериментальной и расчетной переходной функции.

Abstract: The article describes the principle of forming the structure of a centralized automated process control system. New circuit design solutions are proposed for building elements of an automated control system. A mathematical description of a heat exchanger for an automated process control system for preparing electrolyte brine based on experimental characteristics is provided. The transient process is identified using graphs of the experimental and calculated transient functions.

Ключевые слова: теплообменник, подготовка электролизного рассола, математическое описание, централизованная автоматизированная система

Keywords: heat exchanger, preparation of electrolyte brine, mathematical description, centralized automated system

Централизованная структура АСУ ТП предполагает концентрацию всех управленческих функций в одном органе. Этот орган собирает и обрабатывает информацию об объектах, анализирует ее по заданным критериям и вырабатывает управляющие сигналы. Подобные структуры стали актуальны в

связи с ростом числа контролируемых и регулируемых параметров, а также часто с территориальной рассредоточенностью объектов управления (рисунк1).

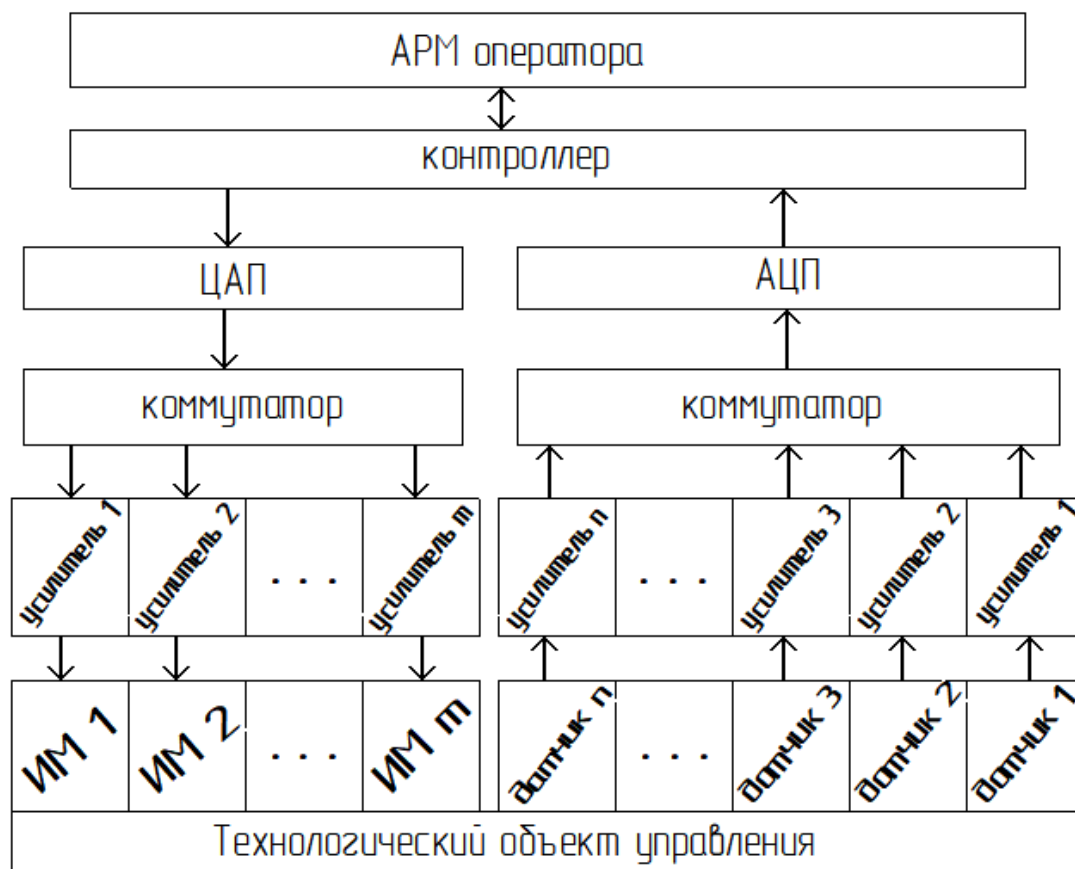


Рис. 1. Структура централизованной АСУ ТП

Входная информация для системы управления формируется посредством сигналов, поступающих с обширной сети сенсоров. К ним относятся датчики, регистрирующие температуру, уровень заполнения, перемещение, давление и прочие физические величины. Учитывая, что первичные сигналы с сенсоров характеризуются низким уровнем, требуется их последующее усиление и приведение к унифицированному диапазону. Реализацию этой задачи обеспечивают усилители, а также нормирующие преобразователи.

На сегодняшний день наиболее перспективным направлением при проектировании усилителей, таких как операционные усилители (ОУ), инструментальные усилители (ИУ) являются мультидифференциальные операционные усилители (МОУ). Конструктивно МОУ отличаются от

классических ОУ использованием в их внутренней структуре добавочных дифференциальных каскадов. В результате исследований по изучению свойств МОУ были выявлены следующие преимущества МОУ перед ОУ и инструментальными усилителями (ИУ):

1. напряжение смещения нуля в МОУ существенно ниже чем в ОУ и ИУ;
2. коэффициент ослабления синфазного сигнала в МОУ имеет более высокое значение по сравнению с ОУ и ИУ;
3. на базе МОУ возможна реализация таких преобразователей, которые не реализуемы на основе ОУ и ИУ;
4. возможность уменьшения элементных затрат при проектировании различных преобразователей.

Поэтому в качестве усилителей предлагается использовать МОУ [1]. Выбор параметров МОУ предлагается осуществлять на основе регрессионного метода [2,3].

При наличии множества датчиков возникает необходимость их последовательного опроса, один за другим. Это достигается путем кратковременного подключения каждого датчика и фиксации его показаний. Ключевую роль в этом процессе играет коммутатор. Он отвечает за то, чтобы в каждый конкретный момент времени только один датчик был соединен с аналого-цифровым преобразователем (АЦП).

В качестве коммутаторов предлагается использовать современные разработки на основе МОУ, такие как многоканальный мультидифференциальный операционный усилитель (ММОУ) [4].

Работа системы характеризуется регулярным считыванием показаний с датчиков, гарантируя постоянное обновление информации. Полученные значения параметров, преобразованные в цифровой формат, поступают в ЭВМ и сохраняются в ее памяти. Далее в ЭВМ осуществляется комплексная обработка данных и расчет управляющих команд для активации исполнительных механизмов.

Для устройств системы аналогового регулирования вычисляется сигнал, пропорциональный режиму работы данного устройства (например, частота вращения двигателя). Эти сигналы преобразуются в электрический вид с помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). Обычно такой преобразователь многоканальный. Сигналы с ЦАП поступают на исполнительные механизмы. В источнике [5] предложена схема ЦАП на основе МОУ, позволяющая получать двухполярное напряжение на выходе, обладающая более высокой разрядностью по сравнению с классическими ЦАП с суммированием взвешенных токов, и более низкой погрешностью смещения нулевого уровня. Данную схему предлагается использовать для ЦАП в структуре АСУ ТП.

Объектом исследования является теплообменник Е-506 для АСУТП подготовки электролизного рассола [6].

При исследовании одноконтурных замкнутых систем автоматического регулирования (САР) используется следующая структурная схема:

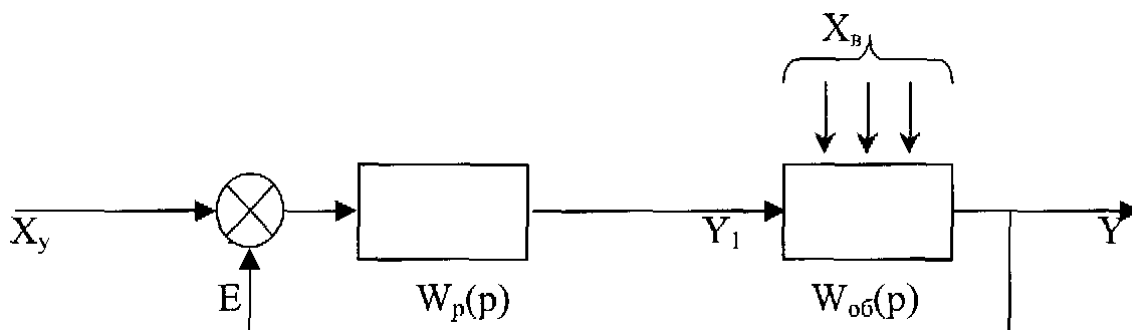


Рис. 2. Структурная схема одноконтурной САР давления рассола в теплообменнике Е-506
 X_y - задающее воздействие; Y_1 - регулирующее воздействие; $X_в$ - возмущающее воздействие; Y - текущее значение регулируемой величины; E - величина рассогласования; $W_{об}(p)$ - передаточная функция объекта регулирования; $W_p(p)$ - передаточная функция регулятора.

Одноконтурная САР работает следующим образом: при воздействии на объект регулирования возмущений изменяется текущее значение регулируемой величины, сравнивается с заданием и соответственно рассогласованию E регулятором вырабатывается управляющий сигнал Y .

Исходными данными для расчёта служит экспериментально снятая кривая

разгона объекта системы автоматического регулирования (САР).

Время запаздывания $\tau = 0,15$ мин.

Оцифровываем кривую разгона и составляем таблицу 1 для экспериментальной кривой разгона. Приводим значения выходных параметров к безразмерному виду по формуле [7]:

$$Z(t_i) = 1 - \frac{y(t)}{\Delta y(\infty)}, \quad (1)$$

где: $y(t)$ - текущее значение выходного сигнала;

$\Delta y(\infty)$ - новое установившееся значение выходного сигнала.

Определяем площадь под кривой $Z(t)$ по формуле:

$$F_1 = \left[\frac{1}{2} \cdot (z(0) + z(\infty)) + \sum_{i=1}^n z_i(t) \right] \cdot \Delta t, \quad (2)$$

$$F_1 = \left[\frac{1}{2} \cdot (1 + 0) + 19,375 \right] \cdot 0,15 = 2,981 \text{ мин.}$$

Определяем площадь под кривой $Z(t)t$ по формуле:

$$F_2 = \left[\frac{1}{2} \cdot (t \cdot z(0) + z(\infty)) + \sum_{i=1}^n t \cdot z_i(t) \right] \cdot \Delta t, \quad (3)$$

$$F_2 = \left[\frac{1}{2} \cdot (0 + 0) + 35,043 \right] \cdot 0,15 = 5,256 \text{ мин.}$$

Определяем площадь под кривой $Z(t)t^2$ по формуле:

$$F_3 = \left[\frac{1}{2} \cdot (t^2 \cdot z(0) + z(\infty)) + \sum_{i=1}^n t^2 \cdot z_i(t) \right] \cdot \Delta t, \quad (4)$$

$$F_1 = \left[\frac{1}{2} \cdot (0 + 0) + 91,111 \right] \cdot 0,15 = 13,667 \text{ мин.}$$

Экспериментальные данные

Время, мин	Амплитуда	z	t*z	t²*z
0	0	1	0	0
0,15	0,06	0,993	0,149	0,022
0,3	0,09	0,989	0,297	0,089
0,45	0,15	0,981	0,442	0,199
0,6	0,21	0,974	0,584	0,351
0,75	0,3	0,963	0,722	0,541
0,9	0,42	0,948	0,853	0,767
1,05	0,58	0,928	0,974	1,023
1,2	0,75	0,906	1,088	1,305
1,35	0,95	0,881	1,190	1,606
1,5	1,16	0,855	1,283	1,924
1,65	1,37	0,829	1,367	2,256
1,8	1,6	0,800	1,440	2,592
1,95	1,84	0,770	1,502	2,928
2,1	2,09	0,739	1,551	3,258
2,25	2,35	0,706	1,589	3,575
2,4	2,63	0,671	1,611	3,866
2,55	2,94	0,633	1,613	4,113
2,7	3,3	0,588	1,586	4,283
2,85	3,66	0,543	1,546	4,406
3	4,01	0,499	1,496	4,489
3,15	4,38	0,453	1,425	4,490
3,3	4,72	0,410	1,353	4,465
3,45	5,07	0,366	1,264	4,359
3,6	5,38	0,328	1,179	4,244
3,75	5,7	0,288	1,078	4,043
3,9	5,97	0,254	0,990	3,860
4,05	6,25	0,219	0,886	3,588
4,2	6,49	0,189	0,793	3,330
4,35	6,73	0,159	0,691	3,004
4,5	6,94	0,133	0,596	2,683
4,65	7,13	0,109	0,506	2,351
4,8	7,3	0,088	0,420	2,016
4,95	7,47	0,066	0,328	1,623
5,1	7,61	0,049	0,249	1,268
5,25	7,75	0,031	0,164	0,861
5,4	7,83	0,021	0,115	0,620
5,55	7,89	0,014	0,076	0,424
5,7	7,95	0,006	0,036	0,203
5,85	7,98	0,002	0,015	0,086
6	8	0	0	0
сумма		19,375	35,043	91,111

Учитывая, что

$$\int_0^{\infty} t^n \cdot z(t) dt = \int_0^{\infty} t^n \cdot e^{-pt} \cdot z(t) dt = (-1)^n \cdot \frac{d^n z(p)}{dp^n} = F_{n+1};$$

$$z(p) = \left(1 - \frac{1}{a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + 1}\right) \cdot \frac{1}{p} = \frac{a_3 p^3 + a_2 p + a_1}{a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + 1},$$

получим:

$$\begin{cases} a_1 = F_1; \\ a_2 = a_1^2 - F_2; \\ a_3 = 2 \cdot a_1 \cdot a_2 - a_1^3 + \frac{1}{2} F_3; \end{cases} \quad (5)$$

Тогда:

$$a_1 = F_1 = 2.981 \text{ мин},$$

$$a_2 = 2,981^2 - 5,256 = 3,631 \text{ мин}^2,$$

$$a_3 = 2 \cdot 2,981 \cdot 3,631 - 2,981^3 + \frac{13,667}{2} = 1,988 \text{ мин}^3.$$

Определяем тип передаточной функции:

$$W(p) = \frac{1}{a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + 1}, \quad (6)$$

где: $a_1 = 2.981 \text{ мин}$, $a_2 = 3,631 \text{ мин}^2$, $a_3 = 1,988 \text{ мин}^3$.

Определяем передаточную функцию в размерном виде:

$$W'_{об}(p) = K_{об} \cdot W(p), \quad (7)$$

где $K_{об}$ - коэффициент передачи передаточной функции объекта регулирования.

$$K_{об} = \frac{\Delta x_{вых}(\infty)}{\Delta x_{вх}(\infty)};$$

где $\Delta x_{вых}()$ изменение выходного сигнала при достижении объектом нового установившегося значения; $\Delta x_{вх}()$ - изменение входного сигнала.

Отсюда:

$$K_{об} = \frac{8}{0,15} = 53,333 \frac{\text{МПа}^2}{\text{мА}};$$

Передаточная функция объекта с учетом звена запаздывания по основному каналу регулирования будет иметь вид;

$$W_{об}(p) = \frac{53,333}{2,981 \cdot p^3 + 3,631 \cdot p^2 + 1,988 \cdot p + 1}, \quad (8)$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров, С. В. Проектирование и исследование мультидифференциального операционного усилителя вторичных преобразователей датчиков для систем контроля и управления / С. В. Федоров // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2021. – № 11. – С. 1-8. – DOI 10.25791/pribor.11.2021.1300. – EDN QMTSVC.
2. Федоров, С. В. Регрессионный метод определения параметров дифференциальных усилителей для интегральных схем / С. В. Федоров // Информатика и системы управления. – 2025. – № 1(83). – С. 57-68. – DOI 10.22250/18142400_2025_83_1_57. – EDN SHNKQQ.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024669469 Российская Федерация. Линейная регрессия вольт-амперной характеристики нелинейной активной нагрузки дифференциальных усилителей на основе чувствительности коэффициента усиления к изменению сопротивления активной нагрузки : № 2024668458 : заявл. 01.08.2024 : опубл. 19.08.2024 / С. В. Федоров. – EDN RQNCHI.
4. Патент № 2821422 С1 Российская Федерация, МПК H03F 3/45. Многоканальный мультидифференциальный операционный усилитель : № 2023131037 : заявл. 28.11.2023 : опубл. 24.06.2024 / С. В. Федоров. – EDN WIJUC.
5. Патент № 2824647 С1 Российская Федерация, МПК H03M 1/06, H03M 1/76. цифроаналоговый преобразователь : № 2023126367 : заявл. 15.10.2023 : опубл. 12.08.2024 / С. В. Федоров. – EDN NBPIGA.
6. Алпатов, Д. А. Особенности автоматизации теплообменных аппаратов / Д. А. Алпатов // Международный студенческий научный вестник. – 2021. – № 4. – С. 4. – EDN VLDBSE.
7. Федоров, С. В. Моделирование управляющих систем : Учебное пособие / С. В. Федоров, А. В. Бондарев. – Уфа : УФИМСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ, 2024. – 108 с. – ISBN 978-5-7477-5877-3. – EDN HBXXIA.

Турсунбоев Азимжон Дилшоджон угли (Узбекистан)

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Стерлитамаке

Федоров С. В., Фахруллина А. Р.

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
в г. Кумертау

Tursunboev Azimjon Dilshodjon ugli (Uzbekistan)

Branch of the Ufa State Petroleum Technological University

РЕАЛИЗАЦИЯ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛООБМЕННИКА ALFA LAVAL M15B65

IMPLEMENTATION OF A FUZZY CONTROLLER FOR THE ALFA LAVAL M15B65 HEAT EXCHANGER AUTOMATIC CONTROL SYSTEM

Аннотация: в статье описан принцип формирования структуры централизованной системы управления технологическими процессами. Предложены новые схмотехнические решения при построении элементов системы управления. Представлена передаточная функция теплообменника Alfa Laval M15B65. Осуществлен синтез нечеткого регулятора в пакете Matlab на основе описания функции принадлежности входных и выходных переменных и правила нечеткого логического вывода. Проведено моделирование замкнутой системы интеллектуального управления теплообменником Alfa Laval M15B65 с нечетким регулятором. На основании моделирования была построена переходная функция и сделаны выводы о качестве переходного процесса.

Abstract: The article describes the principle of forming the structure of a centralized process control system. New circuit solutions are proposed for building control system elements. The transfer function of the Alfa Laval M15B65 heat exchanger is presented. A fuzzy controller is synthesized in the Matlab package based on the description of the membership function of input and output variables and the fuzzy inference rule. The closed-loop intelligent control system of the Alfa Laval M15B65 heat exchanger with a fuzzy controller is simulated. Based on the simulation, a transition function was constructed and conclusions were drawn about the quality of the transition process.

Ключевые слова: теплообменник Alfa Laval M15B65, нечеткий регулятор, интеллектуальная система управления

Keywords: Alfa Laval M15B65 heat exchanger, fuzzy controller, intelligent control system

Централизованная структура АСУ ТП предполагает концентрацию всех управленческих функций в одном органе. Этот орган собирает и обрабатывает

информацию об объектах, анализирует ее по заданным критериям и вырабатывает управляющие сигналы. Подобные структуры стали актуальны в связи с ростом числа контролируемых и регулируемых параметров, а также часто с территориальной рассредоточенностью объектов управления (рисунок1).

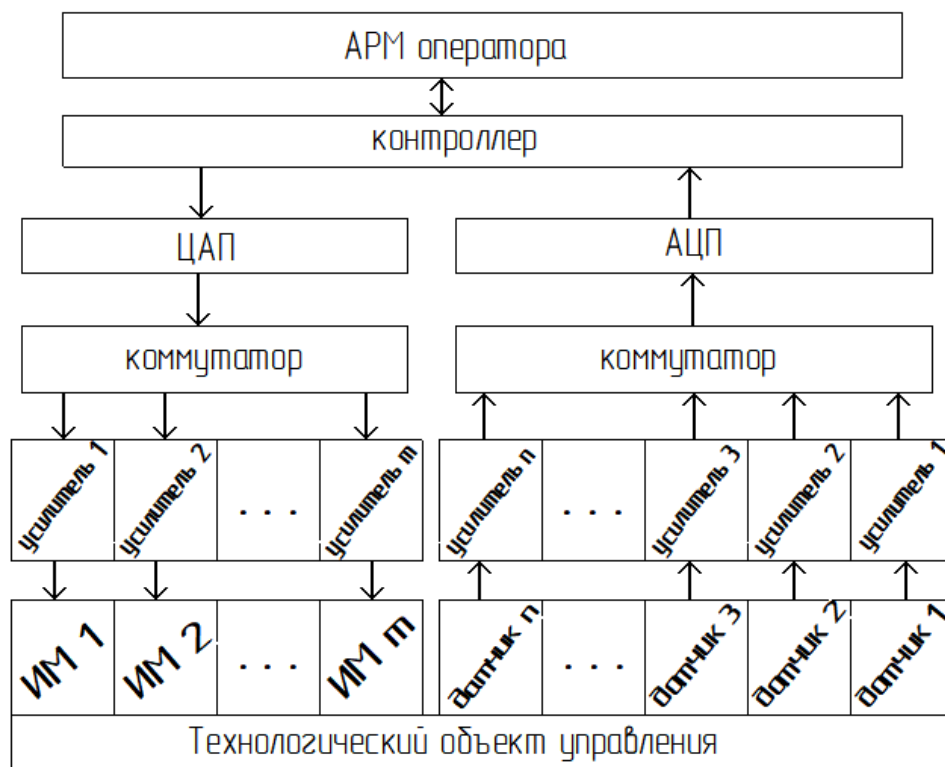


Рис. 1. Структура централизованной АСУ ТП

Входная информация для системы управления формируется посредством сигналов, поступающих с обширной сети сенсоров. К ним относятся датчики, регистрирующие температуру, уровень заполнения, перемещение, давление и прочие физические величины. Учитывая, что первичные сигналы с сенсоров характеризуются низким уровнем, требуется их последующее усиление и приведение к унифицированному диапазону. Реализацию этой задачи обеспечивают усилители, а также нормирующие преобразователи.

На сегодняшний день наиболее перспективным направлением при проектировании усилителей, таких как операционные усилители (ОУ), инструментальные усилители (ИУ) являются мультидифференциальные

операционные усилители (МОУ). Конструктивно МОУ отличаются от классических ОУ использованием в их внутренней структуре добавочных дифференциальных каскадов. В результате исследований по изучению свойств МОУ были выявлены следующие преимущества МОУ перед ОУ и инструментальными усилителями (ИУ):

1. напряжение смещения нуля в МОУ существенно ниже чем в ОУ и ИУ;
2. коэффициент ослабления синфазного сигнала в МОУ имеет более высокое значение по сравнению с ОУ и ИУ;
3. на базе МОУ возможна реализация таких преобразователей, которые не реализуемы на основе ОУ и ИУ;
4. возможность уменьшения элементных затрат при проектировании различных преобразователей.

Поэтому в качестве усилителей предлагается использовать МОУ [1]. Выбор параметров МОУ предлагается осуществлять на основе регрессионного метода [2,3].

При наличии множества датчиков возникает необходимость их последовательного опроса, один за другим. Это достигается путем кратковременного подключения каждого датчика и фиксации его показаний. Ключевую роль в этом процессе играет коммутатор. Он отвечает за то, чтобы в каждый конкретный момент времени только один датчик был соединен с аналого-цифровым преобразователем (АЦП).

В качестве коммутаторов предлагается использовать современные разработки на основе МОУ, такие как многоканальный мультидифференциальный операционный усилитель (ММОУ) [4].

Работа системы характеризуется регулярным считыванием показаний с датчиков, гарантируя постоянное обновление информации. Полученные значения параметров, преобразованные в цифровой формат, поступают в ЭВМ и сохраняются в ее памяти. Далее в ЭВМ осуществляется комплексная обработка данных и расчет управляющих команд для активации исполнительных механизмов.

Для устройств системы аналогового регулирования вычисляется сигнал, пропорциональный режиму работы данного устройства (например, частота вращения двигателя). Эти сигналы преобразуются в электрический вид с помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). Обычно такой преобразователь многоканальный. Сигналы с ЦАП поступают на исполнительные механизмы. В источнике [5] предложена схема ЦАП на основе МОУ, позволяющая получать двухполярное напряжение на выходе, обладающая более высокой разрядностью по сравнению с классическими ЦАП с суммированием взвешенных токов, и более низкой погрешностью смещения нулевого уровня. Данную схему предлагается использовать для ЦАП в структуре АСУ ТП.

Проектирование регулятора проводилось в приложении «fuzzy» пакета MATLAB. В качестве алгоритма управления реализован нечеткий ПД-регулятор. Для примера взят теплообменник Alfa Laval M15B65 контура отопления котельной (водогрейные котлы марки ТЕРМАКС) со следующими данными:

- Принцип работы: После достижения температуры в котловом контуре 600С открывается двухходовой клапан, и поток воды с помощью циркуляционного насоса подаётся в первичный контур теплообменника, в котором происходит передача тепла от котловой воды к воде отопительного контура. Расход котловой воды через теплообменник изменяется трёхходовым клапаном, установленным перед теплообменником, для ее перераспределения между теплообменником и перепуском в обратную линию на котел. Таким образом, обеспечивается заданная температура контура отопления в зависимости от требуемой тепловой мощности и температуры наружного воздуха по заранее заданной отопительной кривой. В противоточном пластинчатом теплообменнике поверхностного типа происходит передача тепла от более нагретого тела – котловой воды, к менее нагретому телу – воде отопительного контура. Пройдя теплообменник, нагретая вода отопительного контура поступает к потребителю.

- Канал: степень открытия трехходового клапана – температура теплофикационной воды на выходе контура отопления

- Передаточная функция – $W(p) = \frac{0.44 \cdot e^{-180p}}{60 \cdot p + 1}$

- Размерность коэффициента передачи - $\frac{\text{Па}}{\theta_{\text{НАКЛОНА}}}$

Для охвата всего диапазона динамических нагрузок были заданы следующие параметры переменных (см. табл. 1-3):

Таблица 1

Входная переменная 1: Ошибка скорости (e)

Терм	Значение	x1	x2	x3	Range
N	Отрицательная	-20	10	0	[-10 10]
Z	Норма	-10	0	10	
P	Положительная	0	10	20	

Таблица 2

Входная переменная 1: Ошибка скорости (e)

Терм	Значение	x1	x2	x3	Range
N	Отрицательная	-2	-1	0	[-1 1]
Z	Норма	-1	0	1	
P	Положительная	0	1	2	

Таблица 3

Входная переменная 1: Ошибка скорости (e)

Терм	Значение	x1	x2	x3	Range
N	Отрицательная	-4	-2	0	[-1 1]
Z	Норма	-2	0	2	
P	Положительная	0	2	4	

Была разработана база из 9 продукционных нечетких правил:

- Правило 1: если e = N и de = N, то Ua = N;

- Правило 2: если $e = Z$ и $de = N$, то $U_a = N$;
- Правило 3: если $e = P$ и $de = N$, то $U_a = Z$;
- Правило 4: если $e = N$ и $de = Z$, то $U_a = N$;
- Правило 5: если $e = Z$ и $de = Z$, то $U_a = Z$;
- Правило 6: если $e = P$ и $de = Z$, то $U_a = P$;
- Правило 7: если $e = N$ и $de = P$, то $U_a = Z$;
- Правило 8: если $e = Z$ и $de = P$, то $U_a = P$;
- Правило 9: если $e = P$ и $de = P$, то $U_a = P$.

		de/dt		
		N	P	Z
e	N	N	Z	N
	P	Z	P	P
	Z	N	P	Z

В среде визуального моделирования Simulink была собрана схема замкнутой системы, представленная на рис. 2.

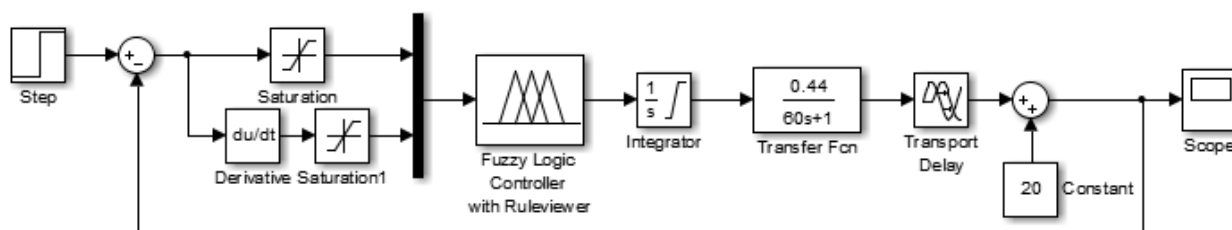


Рис. 2. Функциональная схема ЭМС в Simulink

Блоки на схеме:

1) Step – задает желаемое значение. (управляющее воздействие).

2) Derivative (du/dt) – блок вычисления производной от сигнала ошибки.

Вычисляет скорость изменения ошибки, формируя второй входной сигнал для регулятора.

3) Fuzzy Logic Controller with Ruleviewer – в блок загружена экспортированная из рабочей области переменная, содержащая базу продукционных правил.

4) Transfer Fcn – передаточная функция электрической части.

5) Transport Delay – задерживает входной сигнал на заданно времени.

Используется для временных задержек.

Результаты моделирования представлены на рис 3.

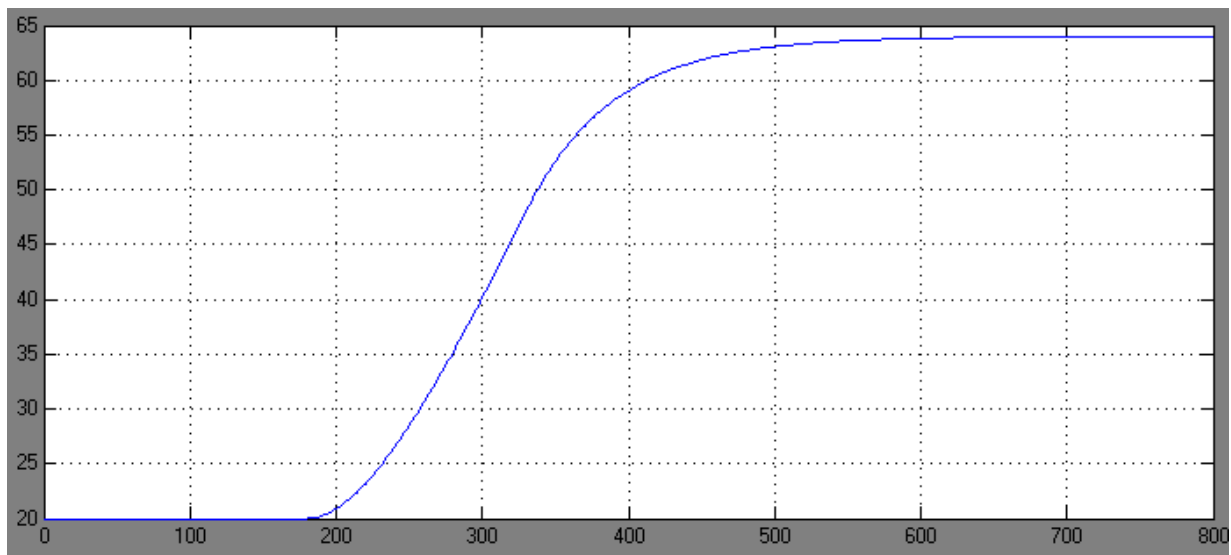


Рис. 3. Результат моделирования схемы системы интеллектуального управления

В начальный момент времени и до $t = 180$ с температура находится на базовой (исходной) отметке $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

На графике четко зафиксировано время транспортного запаздывания объекта $\tau = 180$ секунд. В этот период система уже вырабатывает управляющее воздействие, но из-за физической инерционности контура (время прохождения теплоносителя) температура на выходе не меняется.

Процесс носит аperiodический характер. Рост температуры происходит плавно, отсутствует перерегулирование (выброс температуры выше целевой) и автоколебания.

Рост температуры начинается после 180-й секунды, а в 5% зону установившегося значения система входит примерно к 600-й секунде. Само время переходного процесса (без учета запаздывания) составляет около 420 секунд, что полностью согласуется с постоянной времени объекта управления ($T = 60$ с).

Система стабильно фиксируется на уровне около $64\text{ }^{\circ}\text{C}$ (складывается из $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ базовой температуры и $44\text{ }^{\circ}\text{C}$ максимально возможного нагрева при 100% открытии трехходового клапана). Статическая ошибка сведена к минимуму.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров, С. В. Проектирование и исследование мультидифференциального операционного усилителя вторичных преобразователей датчиков для систем контроля и управления / С. В. Федоров // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2021. – № 11. – С. 1-8. – DOI 10.25791/pribor.11.2021.1300. – EDN QMTSVC.
2. Федоров, С. В. Регрессионный метод определения параметров дифференциальных усилителей для интегральных схем / С. В. Федоров // Информатика и системы управления. – 2025. – № 1(83). – С. 57-68. – DOI 10.22250/18142400_2025_83_1_57. – EDN SHNKQQ.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024669469 Российская Федерация. Линейная регрессия вольт-амперной характеристики нелинейной активной нагрузки дифференциальных усилителей на основе чувствительности коэффициента усиления к изменению сопротивления активной нагрузки : № 2024668458 : заявл. 01.08.2024 : опубл. 19.08.2024 / С. В. Федоров. – EDN RQNCHI.
4. Патент № 2821422 С1 Российская Федерация, МПК H03F 3/45. Многоканальный мультидифференциальный операционный усилитель : № 2023131037 : заявл. 28.11.2023 : опубл. 24.06.2024 / С. В. Федоров. – EDN WIJUC.
5. Патент № 2824647 С1 Российская Федерация, МПК H03M 1/06, H03M 1/76. цифроаналоговый преобразователь : № 2023126367 : заявл. 15.10.2023 : опубл. 12.08.2024 / С. В. Федоров. – EDN NBIIGA.

Урунов С. С. (Таджикистан)

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Стерлитамаке

Федоров С. В., Фахруллина А. Р.

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
в г. Кумертау

Urunov S. S. (Tadjikistan)

Branch of the Ufa State Petroleum Technological University

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ НАСОСА ТРАНСПОРТИРОВКИ СЫРОЙ НЕФТИ ДЛЯ СИНТЕЗА АСУ ТП РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ

MATHEMATICAL DESCRIPTION OF A CRUDE OIL TRANSPORTATION PUMP FOR THE SYNTHESIS OF AN AUTOMATED PRESSURE CONTROL SYSTEM

Аннотация: в статье описан принцип формирования структуры централизованной автоматизированной системы управления технологическими процессами. Предложены новые схемотехнические решения при построении элементов автоматизированной системы управления. Приведено математическое описание насоса транспортировки сырой нефти для автоматизированной системы управления технологическим процессом регулирования давления на основе экспериментальных характеристик. Проведена идентификация переходного процесса по графикам экспериментальной и расчетной переходной функции.

Abstract: The article describes the principle of forming the structure of a centralized automated process control system. New circuit design solutions are proposed for building elements of an automated control system. A mathematical description of a crude oil transportation pump for an automated process control system is provided based on experimental characteristics. The transient process is identified using graphs of the experimental and calculated transient functions.

Ключевые слова: насос транспортировки сырой нефти, математическое описание, централизованная автоматизированная система

Keywords: crude oil transportation pump, mathematical description, centralized automated system

Централизованная структура АСУ ТП предполагает концентрацию всех управленческих функций в одном органе. Этот орган собирает и обрабатывает информацию об объектах, анализирует ее по заданным критериям и вырабатывает управляющие сигналы. Подобные структуры стали актуальны в

связи с ростом числа контролируемых и регулируемых параметров, а также часто с территориальной рассредоточенностью объектов управления (рисунок1).

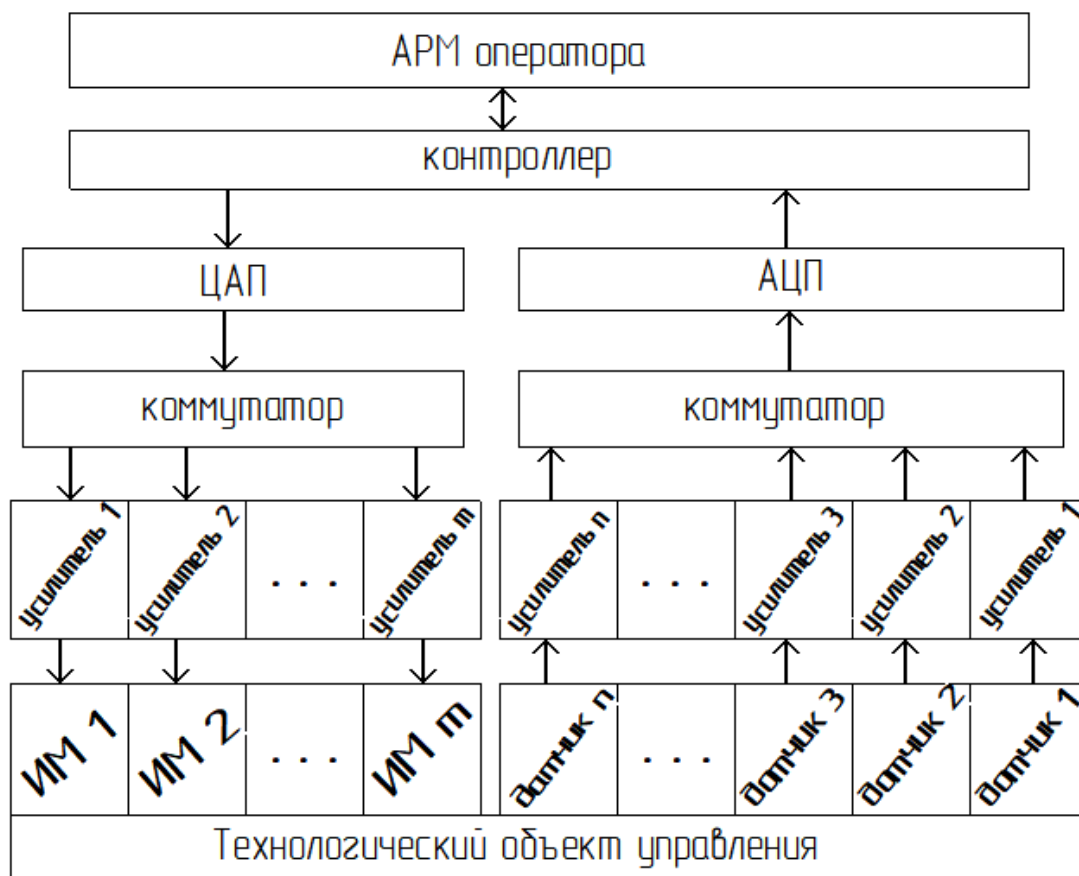


Рис. 1. Структура централизованной АСУ ТП

Входная информация для системы управления формируется посредством сигналов, поступающих с обширной сети сенсоров. К ним относятся датчики, регистрирующие температуру, уровень заполнения, перемещение, давление и прочие физические величины. Учитывая, что первичные сигналы с сенсоров характеризуются низким уровнем, требуется их последующее усиление и приведение к унифицированному диапазону. Реализацию этой задачи обеспечивают усилители, а также нормирующие преобразователи.

На сегодняшний день наиболее перспективным направлением при проектировании усилителей, таких как операционные усилители (ОУ), инструментальные усилители (ИУ) являются мультидифференциальные операционные усилители (МОУ). Конструктивно МОУ отличаются от

классических ОУ использованием в их внутренней структуре добавочных дифференциальных каскадов. В результате исследований по изучению свойств МОУ были выявлены следующие преимущества МОУ перед ОУ и инструментальными усилителями (ИУ):

1. напряжение смещения нуля в МОУ существенно ниже чем в ОУ и ИУ;
2. коэффициент ослабления синфазного сигнала в МОУ имеет более высокое значение по сравнению с ОУ и ИУ;
3. на базе МОУ возможна реализация таких преобразователей, которые не реализуемы на основе ОУ и ИУ;
4. возможность уменьшения элементных затрат при проектировании различных преобразователей.

Поэтому в качестве усилителей предлагается использовать МОУ [1]. Выбор параметров МОУ предлагается осуществлять на основе регрессионного метода [2,3].

При наличии множества датчиков возникает необходимость их последовательного опроса, один за другим. Это достигается путем кратковременного подключения каждого датчика и фиксации его показаний. Ключевую роль в этом процессе играет коммутатор. Он отвечает за то, чтобы в каждый конкретный момент времени только один датчик был соединен с аналого-цифровым преобразователем (АЦП).

В качестве коммутаторов предлагается использовать современные разработки на основе МОУ, такие как многоканальный мультидифференциальный операционный усилитель (ММОУ) [4].

Работа системы характеризуется регулярным считыванием показаний с датчиков, гарантируя постоянное обновление информации. Полученные значения параметров, преобразованные в цифровой формат, поступают в ЭВМ и сохраняются в ее памяти. Далее в ЭВМ осуществляется комплексная обработка данных и расчет управляющих команд для активации исполнительных механизмов.

Для устройств системы аналогового регулирования вычисляется сигнал, пропорциональный режиму работы данного устройства (например, частота вращения двигателя). Эти сигналы преобразуются в электрический вид с помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). Обычно такой преобразователь многоканальный. Сигналы с ЦАП поступают на исполнительные механизмы. В источнике [5] предложена схема ЦАП на основе МОУ, позволяющая получать двухполярное напряжение на выходе, обладающая более высокой разрядностью по сравнению с классическими ЦАП с суммированием взвешенных токов, и более низкой погрешностью смещения нулевого уровня. Данную схему предлагается использовать для ЦАП в структуре АСУ ТП.

Схема оснащения резервуара комплексом КИП и средств управления показана на рис. 2. Контроль за наполнением и опорожнением резервуара осуществляется при помощи уровнемера 1. При больших скоростях наполнения, учитывая опасность перелива, на резервуаре дополнительно устанавливается сигнализатор предельного уровня 5, подающий аварийный сигнал при достижении максимального уровня взлива продукта в резервуаре. Этот сигнал используется для автоматического отключения насосов, а также открытия или закрытия электроуправляемых задвижек 7 на трубопроводных коммуникациях.

Кроме аварийного сигнала, схемой автоматизации резервуара предусматривается подача предупредительных сигналов о достижении верхнего уровня непосредственно от уровнемера 1.

Многоточечный датчик температуры 2 имеет несколько сенсоров, распределенных по всей глубине резервуара, что позволяет с большей точностью контролировать неоднородность температуры нефтепродуктов, а также рассчитать среднюю температуру нефтепродуктов в резервуаре.

Датчик гидростатического давления (плотномер) 3 позволяет рассчитать (измерить) плотность нефтепродуктов в резервуаре. Данные по температуре и плотности нефтепродуктов необходимы для расчета объема и/или массы нефтепродуктов. Так как резервуары изолированы от атмосферы, необходимо

измерять давление паров нефтепродуктов, с этой целью в верхнюю часть резервуара устанавливается датчик избыточного давления 4.

При отстое воды в процессе хранения нефтепродуктов возникает необходимость в выполнении операции по контролю за уровнем воды и ее сбросом в канализацию (дренажную линию). Эта задача решается с помощью сигнализатора подтоварной воды, который управляет клапаном с электромагнитным приводом на дренажной линии.

При достижении подтоварной водой чувствительного элемента сигнализатора срабатывает реле, управляющее соленоидным клапаном.

Система состоит из следующего оборудования [6]:

- уровнемер (1);
- многоточечный датчик температуры (2);
- датчик гидростатического давления или плотномер (3);
- датчик избыточного давления паров нефтепродуктов (4);
- сигнализатор максимально допустимого уровня (5);
- предохранительный воздушный клапан (6);
- автоматический отсечной клапан (7);
- ручной отсечной клапан (8).

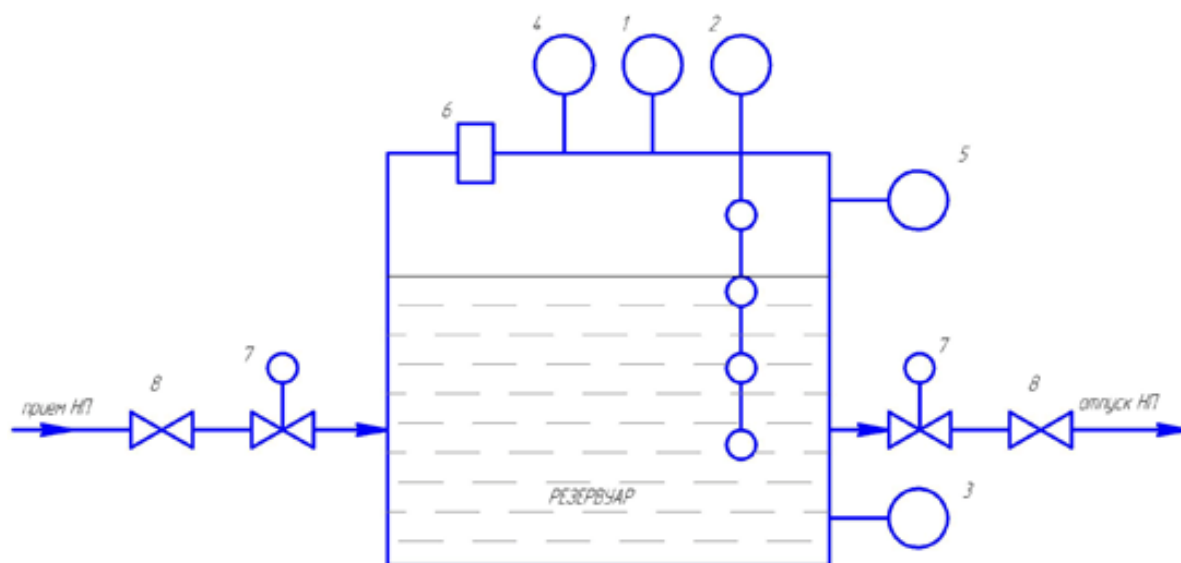


Рис. 2. Обобщенная технологическая схема резервуарного парка

Объектом исследования является насос – центробежный горизонтальный, одноступенчатый, спирального типа, с рабочим колесом двухстороннего входа, с подшипниками скольжения с принудительной смазкой.

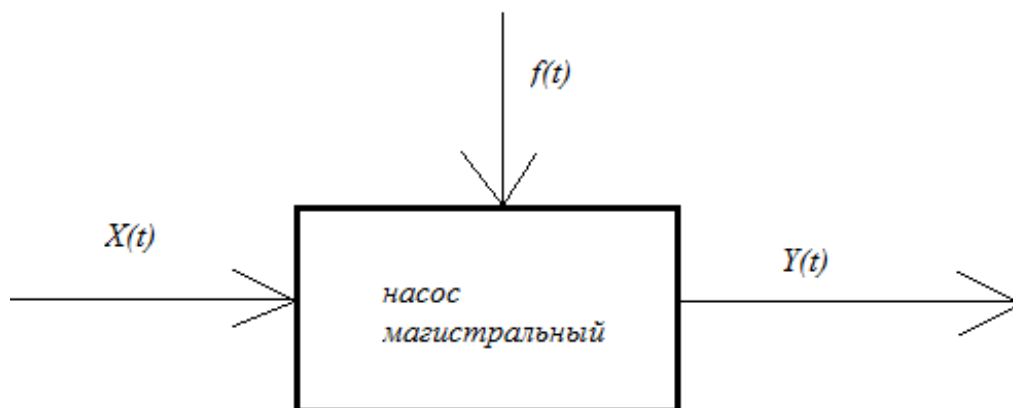


Рис. 3. Структурная схема объекта управления
 $X(t)$ – частота вращения насоса; $f(t)$ – давление в насосной; $y(t)$ – текущее значение давления на выходе .

Установившийся режим работы при заранее выбранном значении выходной переменной $x_{вых.0}$ выдерживают 2,0— 2,5 мин для медленно протекающих процессов, связанных, например, с изменением температуры или влажности, и 0,3—0,5 мин — для более быстро протекающих процессов, таких, например, как изменение давления или расхода.

Затем как можно быстрее вводят испытательное воздействие и одновременно начинают регистрировать изменение выходной переменной во времени. Для дальнейшей оценки вида испытательного воздействия необходимо также определить время его внесения. Помимо регистрации выходной переменной в процессе эксперимента желательно, если это, возможно, записывать изменения основных возмущающих переменных и, в первую очередь, нагрузки объекта.

Окончание переходного процесса определяется по значению выходной переменной. При экспериментальном определении переходной функции на объектах с самовывравниванием ($p > 0$) опыт считается законченным, если

выходная переменная, начиная с некоторого момента времени, остается практически неизменной, а на объектах без самовыравнивания ($p = 0$) - если скорость изменения переменной достигает своего постоянного максимального значения. При снятии импульсных характеристик эксперимент прекращают, когда выходная переменная достигнет своего первоначального значения на объектах с самовыравниванием или перестанет изменяться на объектах без самовыравнивания.

Результаты рассматриваемого объекта управления представлены в таблице 1.

Таблица 1

Экспериментальные данные

Время, с	Входное ступенчатое воздействие, %	Изменение выходной величины, кПа
0	20	5
2	60	5,5
3	60	7
4,5	60	11,5
6	60	16,5
7,5	60	19,5
9	60	22,5
10,5	60	24,5
12	60	26,5
13,5	60	28,5
15	60	30
16,5	60	32
18	60	33
19,5	60	34

По данным таблицы построим график переходного процесса. Для этого на вход подается ступенчатое воздействие $x(t)$ – расход воды.

На рисунке 4 представлен график скачкообразного воздействия на объект управления. Для построения графика использована программа MathCad [7].

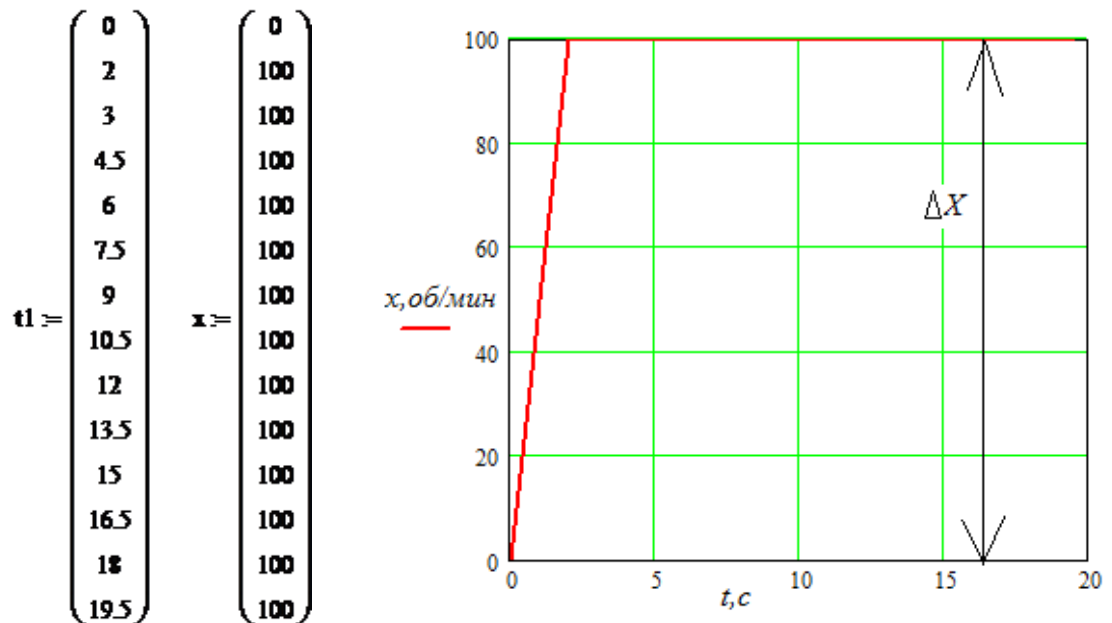


Рис. 4. График скачкообразного изменения входного воздействия
 x – изменение входной величины, об/мин, t – время, с.

По данным таблицы 1 строится экспериментальная переходная функция объекта управления $y(t)$ в программе MathCad.

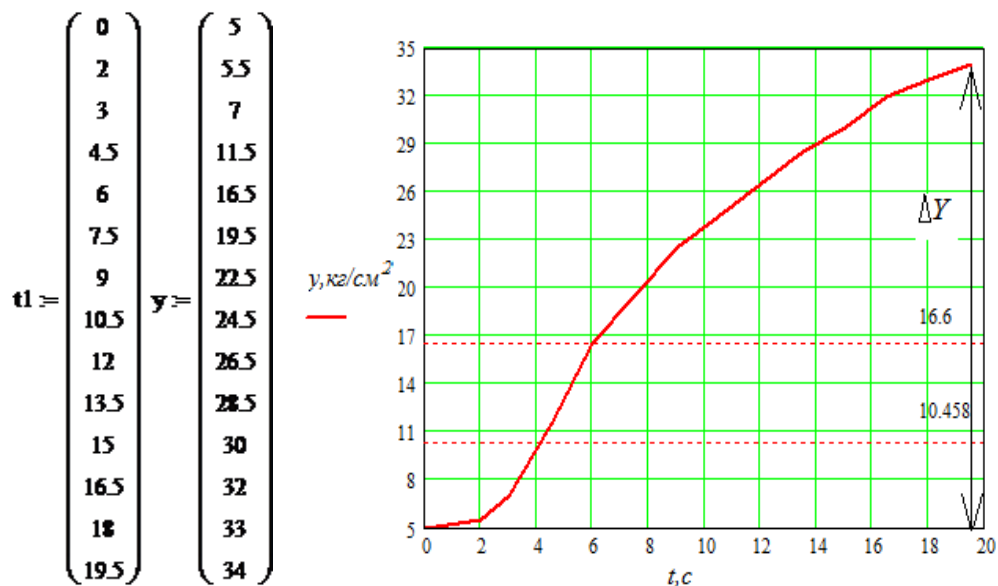


Рис. 5. Получение переходной функции объекта управления $y(t)$ Определение динамических параметров объекта по его экспериментально снятой переходной функции производят графическими или графоаналитическими методами.
 y – изменение выходной величины, , t – время, с.

При определении динамических параметров объекта с самовыравниванием вначале проводят линию нового установившегося значения $h(\infty)$, которого переходная функция должна достигнуть за бесконечное время. Значение коэффициента передачи объекта определяют как разность установившихся нового и начального значений переходной функции: $\kappa_{об} = h(\infty) - h(0)$

Для определения временных постоянных проводят касательную в точке переходной функции, в которой скорость изменения $\frac{dh(t)}{dt}$ имеет максимальное значение, т.е. из всех возможных касательных, которые можно провести к переходной функции, эта касательная должна иметь наибольший угол наклона. Проекция отрезка касательной, заключенного между прямыми $h(0)$ и $h(\infty)$, на ось времени равна постоянной времени T .

График определения динамических параметров объекта с самовыравниванием по экспериментальной переходной функции с дополнительными графическими построениями представлен на рисунке 6.

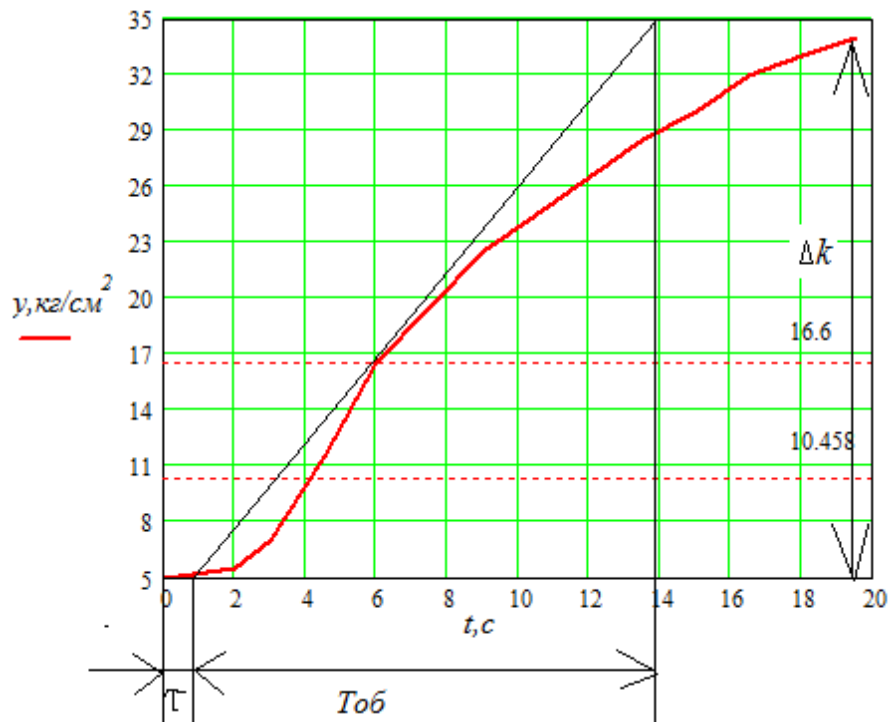


Рис. 6. Определение динамических параметров объекта по экспериментальной переходной функции
 y – изменение выходной величины, t – время, с.

Вид полученной экспериментальной функции позволяет сделать вывод, что с достаточной для практических задач точностью данный объект можно аппроксимировать последовательным соединением звена чистого запаздывания и апериодического звена первого порядка.

Таким образом выражение для передаточной функции объекта управления имеет вид:

$$W(p) = \frac{k}{T \cdot p + 1} \cdot e^{-\tau \cdot p}, \quad (1)$$

где $k = \frac{\Delta y}{\Delta x} = 0.75$;

$T = 6.5$ с;

$\tau = 1.8$ с.

Для упрощения операции в программном пакете Mathcad по полученной передаточной функции определим расчетную переходную функцию объекта управления.

$$k = 28 \quad T = 6.5 \quad \tau = 1.8$$

$$W(p) = \frac{k}{T \cdot p + 1} \cdot e^{-\tau \cdot p}$$

$$\frac{W(p)}{p} \xrightarrow[\text{float, 2}]{\text{invlaplace, p}} \rightarrow$$

$$t = 0, 2, 20$$

$$h(t) = -28 \cdot \Phi(t - 1.8) \cdot \exp(-1.5t + 28) + 28 \cdot \Phi(t - 1.8)$$

На рисунке 7 показаны экспериментальная и расчетная переходные функции.

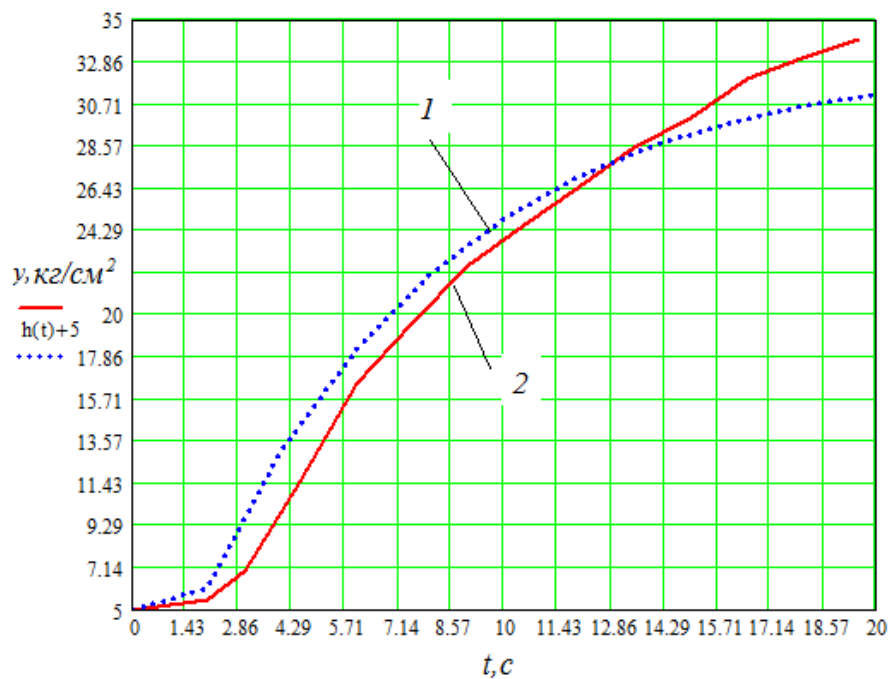


Рис. 7. Идентификация экспериментальной и расчетной переходных функций
 1- расчетная переходная функция $h(t)$; 2 – экспериментальная функция переходного процесса $y(t)$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров, С. В. Проектирование и исследование мультидифференциального операционного усилителя вторичных преобразователей датчиков для систем контроля и управления / С. В.

- Федоров // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2021. – № 11. – С. 1-8. – DOI 10.25791/pribor.11.2021.1300. – EDN QMTSVC.
2. Федоров, С. В. Регрессионный метод определения параметров дифференциальных усилителей для интегральных схем / С. В. Федоров // Информатика и системы управления. – 2025. – № 1(83). – С. 57-68. – DOI 10.22250/18142400_2025_83_1_57. – EDN SHNKQQ.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024669469 Российская Федерация. Линейная регрессия вольт-амперной характеристики нелинейной активной нагрузки дифференциальных усилителей на основе чувствительности коэффициента усиления к изменению сопротивления активной нагрузки : № 2024668458 : заявл. 01.08.2024 : опубл. 19.08.2024 / С. В. Федоров. – EDN RQNCIH.
4. Патент № 2821422 С1 Российская Федерация, МПК H03F 3/45. Многоканальный мультидифференциальный операционный усилитель : № 2023131037 : заявл. 28.11.2023 : опубл. 24.06.2024 / С. В. Федоров. – EDN WIJUC.
5. Патент № 2824647 С1 Российская Федерация, МПК H03M 1/06, H03M 1/76. цифроаналоговый преобразователь : № 2023126367 : заявл. 15.10.2023 : опубл. 12.08.2024 / С. В. Федоров. – EDN NBPIGA.
6. Косарева, М. А. Основные технологии переработки нефтегазового сырья : учебное пособие / М. А. Косарева, С. Г. Стахеев, Н. А. Третьякова ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский федеральный университет. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2022. — 110 с. : ил. — Библиогр.: с. 108. — 30 экз. — ISBN 978-5-7996-3575-6.
7. Федоров, С. В. Моделирование управляющих систем : Учебное пособие / С. В. Федоров, А. В. Бондарев. – Уфа : УФИМСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ, 2024. – 108 с. – ISBN 978-5-7477-5877-3. – EDN HBXZIA.

СЕКЦИЯ 2. ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В РАЗВИТИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

УДК:629.7

Дремин Н.В

Отделение среднего профессионального образования филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» в г. Кумертау «Авиационный технический колледж».

Науч. рук. преподаватель *Бабушкина М.В.*

Отделение среднего профессионального образования филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» в г. Кумертау «Авиационный технический колледж».

Dremin N.V.

Department of Secondary Vocational Education at the Kumertau branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Ufa University of Science and Technology.

ПРИЧИНЫ МИРОВОЙ ПОПУЛЯРНОСТИ БОЕВЫХ САМОЛЁТОВ МАРКИ СУ

THE REASONS FOR THE WORLDWIDE POPULARITY OF SU-CLASS COMBAT AIRCRAFT

Аннотация: Для оценки успешности боевого самолета необходимо изучить не только его тактико-технические характеристики, но и экономические затраты на его создание и обслуживание, количество выпущенных единиц и так далее. Иначе говоря – важен комплексный подход.

В настоящее время основу Военно-воздушных сил большинства развитых государств мира составляют самолеты четвертого поколения, оптимизированные для выполнения тех или иных боевых задач – стратегические и фронтовые бомбардировщики, многоцелевые истребители, перехватчики и истребители бомбардировщики, штурмовики, самолеты-разведчики.

Abstract: To assess the success of a combat aircraft, it is necessary to study not only its tactical and technical characteristics, but also the economic costs of its creation and maintenance, the number of units produced, and so on. In other words, an integrated approach is important. Currently, the Air Forces of most developed countries of the world are based on fourth-generation aircraft optimized for various combat missions – strategic and front-line bombers, multirole fighters, interceptors and fighter bombers, attack aircraft, reconnaissance aircraft.

Ключевые слова: самолеты Су, сравнительная характеристика, истребители, бомбардировщики.

Keywords: Su aircraft, comparative characteristics, fighters, and bombers.

В работе на основе анализа технических характеристик, боевых возможностей и экспортного потенциала самолётов марки Су выявляются причины их востребованности в мире, а также рассматриваются история создания, сравнение с зарубежными аналогами, география применения и перспективы дальнейшего развития.

В ходе работы была рассмотрена история создания боевых самолётов марки Су, охватывающая ключевые этапы развития ОКБ: от постановления 1939 года, положившего начало конструкторскому бюро, до разработки истребителей Су-27, Су-30, Су-35 и новейшего Су-57, что позволило выявить закономерности формирования уникальных технических характеристик, определивших мировую популярность этих машин.

Днём основания ОКБ Сухого считается 29 июля 1939 года, когда бригада Павла Осиповича Сухого была переведена из Москвы в Харьков на завод № 135 для запуска в серию самолёта Су-2, а сам Сухой назначен главным конструктором. В предвоенные годы и первые годы Великой Отечественной войны коллектив обеспечивает серийный выпуск самолётов Су-2, в период с 1940 по 1942 год их было выпущено 893 экз. После постановления правительства от августа 1953 года основными направлениями работы ОКБ Сухого стали сверхзвуковые истребители С-1 и Т-3. С 1955–1972 годах ОКБ Сухого разработало и запустило в серию ряд ключевых боевых самолётов (Су-7, Су-15, Су-17, Т-4), определивших основные направления развития советской авиации. При создании самолёта Т-4 впервые в авиастроении был применён комплекс сложнейших технических и конструкторских решений (титановый планер, электродистанционное управление, уникальные гидросистемы и др.), обусловленных необходимостью обеспечения полёта на рекордной крейсерской скорости 3200 км/ч. В 1969–1985 годы в истории ОКБ Сухого ознаменовались переходом к авиации четвёртого поколения: на вооружение поступил первый

советский всепогодный ударный самолёт Су-24, а после напряжённого этапа испытаний и смены руководства в серию был запущен легендарный истребитель Су-27, определивший развитие фирмы на десятилетия вперёд.

Проводился сбор и анализ сравнительных характеристик боевых самолетов марки Су и зарубежных аналогов. По результатам сравнительного анализа установлено: в классе истребителей-бомбардировщиков четвёртого поколения Су-34 превосходит F-15E Strike Eagle по дальности, боевой нагрузке и защите кабины, однако уступает в универсальности и объёмах экспортных поставок. Среди самолётов пятого поколения Су-57 имеет преимущества в манёвренности, скорости и составе ракетного вооружения, тогда как F-35В лидирует в области малозаметности, авионики и сетевой интеграции, что обусловлено различными концепциями применения: Су-57 ориентирован на завоевание превосходства в воздухе, F-35В — на многоцелевые ударные задачи с единой системой управления. Успех самолётов марки Су на мировом рынке определяется их уникальным конкурентным преимуществом — оптимальным балансом боевых возможностей, технологического уровня, эксплуатационной надёжности и цены. Многофункциональность, способность адаптироваться под различные задачи и условия базирования, а также развитая сервисная поддержка делают их привлекательным выбором для заказчиков по всему миру.

Боевые самолёты марки Су подтвердили свою эффективность в ходе многочисленных военных конфликтов, включая операции в Сирии, где продемонстрировали высокую надёжность, живучесть и способность выполнять широкий спектр задач в условиях интенсивного боевого применения. Перспективы дальнейшего развития связаны с модернизацией существующих платформ (Су-30, Су-35, Су-34), расширением семейства Су-57, развитием беспилотных систем и созданием перспективного авиационного комплекса шестого поколения. Сочетание накопленного боевого опыта и заложенного научно-технического задела позволяет сохранить лидирующие позиции ОКБ Сухого в мировом авиастроении на десятилетия вперёд.

Проведённое исследование подтвердило выдвинутую гипотезу: самолёты марки Су, сочетая уникальные технические характеристики, многофункциональность и экономическую доступность, заняли лидирующие позиции на мировом рынке боевой авиации. Боевой опыт Су-57 подтверждает его уникальность среди машин пятого поколения, а высокий экспортный потенциал и признание российских технологий за рубежом демонстрируют стратегическое превосходство отечественной авиационной школы и эффективность оборонно-промышленного комплекса России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ОКБ Сухого [Электронный ресурс] // Википедия свободная энциклопедия. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/ОКБ_Сухого (дата обращения: 10.04.2026).
2. F-35 [Электронный ресурс] // Википедия : свободная энциклопедия. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/F-35> (дата обращения: 10.04.2026).
3. Су-57 [Электронный ресурс] // Википедия : свободная энциклопедия. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Су-57> (дата обращения: 10.04.2026).
4. «Превосходная машина»: как совершенствуются российские серийные истребители Су-57 [Электронный ресурс] // RT На русском. – URL: <https://russian.rt.com/article/123456> (дата обращения: 10.04.2026).
5. F-15E против Су-34. Кто лучше? [Электронный ресурс] // Военное обозрение (Topwar.ru). – URL: <https://topwar.ru/123456-f-15e-protiv-su-34.html> (дата обращения: 10.04.2026).

Егоров В.С.

Уфимский университет науки и технологий в г. Кумертау

Науч. рук. преподаватель СПО *Кильметова А. А.*

Уфимский университет науки и технологий в г. Кумертау

Egorov V.S.

Ufa University of Science and Technology

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАШИН ГОЛДБЕРГА ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

USING GOLDBERG MACHINES TO ILLUSTRATE A LEARNING TOPIC AND JUST FOR FUN

Аннотация: в статье говорится о перспективах использования механизмов в работе машин Голдберга для наглядного показания учебной темы, что помогает лучшему усвоению материала. Они являются очень хорошим инструментом для изучения различных физических законов и познакомиться с понятиями механики.

Abstract: the article talks about the prospects of using mechanisms in the work of Goldberg machines to visually demonstrate the educational topic, which helps to better assimilate the material. They are a very good tool for studying various physical laws and getting to know the concepts of mechanics.

Ключевые слова: машина Голдберга, законы, машины.

Keywords: Goldberg machine, laws, machines.

Машина Голдберга — это механизм, который выполняет простое действие чрезвычайно сложным образом. Она состоит из множества различных механизмов, выстроенных в последовательности, где окончание одного этапа неизменно приводит к запуску следующего. Этот процесс наглядно демонстрирует принципы физики и технических дисциплин. Машина Голдберга получила название от изобретателя Руба Голдберга, чьи работы, изображающие сложные механизмы, стали синонимами

В данной статье рассматривается создание машины Голдберга (рис. 1) из подручных материалов с целью наглядной демонстрации законов физики и технических дисциплин.



Рис. 1. Машина Голдберга

В таблице 1

Перечень всех компонентов, а также их стоимость.

Компоненты	Количество, шт	Стоимость, руб
Трубка	2	200
Шарик	2	50
Пластиковые стяжки	5	10
Деревянная площадка	1	500
Саморезы	11	22
бруски	2	30
Металлические пластинки	3	50
Уголки	2	20
Итого	28	882

Проведен анализ работы МГ, позволяющий на практике изучить такие законы, как:

- Закон сохранения и превращения энергии гласит, что энергия ниоткуда не возникает и никуда не исчезает; она лишь переходит из одного вида в другой или от одного тела к другому.

- Закон сохранения механической энергии: если между телами системы действуют только силы тяготения и силы упругости, то сумма кинетической и потенциальной энергии остается неизменной, то есть механическая энергия сохраняется.

- Закон всемирного тяготения - Силы взаимного притяжения двух тел прямо пропорциональны произведению масс этих тел и обратно пропорциональны квадрату расстояния между ними

- Закон сохранения импульса (Закон сохранения количества движения) — закон, утверждающий, что сумма импульсов всех тел системы есть величина постоянная, если векторная сумма внешних сил, действующих на систему тел, равна нулю.

- Законы Ньютона — три важнейших закона классической механики, которые позволяют записать уравнения движения для любой механической системы, если известны силы, действующие на составляющие её тела.

- Равноускоренное движение - это движение, при котором вектор ускорения не меняется по модулю и направлению. Примеры такого движения: велосипед, который катится с горки; камень брошенный под углом к горизонту.

- Вращение — круговое движение объекта. В плоскости объект вращается вокруг центра (или точки) вращения. В трёхмерном пространстве объект вращается вокруг линии, называемой осью.

- Сила трения это сила взаимодействия между соприкасающимися телами, препятствующая перемещению одного тела относительно другого.

Механизм работы. Со стартовой площадки шарик №1 спускается по наклонной плоскости падая на платформу №1 и при прикосновении с ней передаёт ей потенциальную энергию заставляя перемещаться шарик №2,

который под действием силы притяжения достигает своей конечной точки проходя наклонную плоскость и спираль.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. https://ru.wikipedia.org/wiki/Машина_Голдберга
2. <https://goldbergclub.ru/vidy-mashin>
3. https://ru.ruwiki.ru/wiki/Машина_Голдберга

Терентьева О.Б., Жаилканов А.С.

Уфимский университет науки и технологий

Науч. рук. Ассистент, *Терентьева О.Б.*

Уфимский университет науки и технологий

Terenteva O.B., Gailkanov A.S.

Ufa University of Science and Technology

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ С ПОЗИЦИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЛОЖНОСТИ

A COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR SOLVING SYSTEMS OF LINEAR EQUATIONS FROM THE POINT OF VIEW OF COMPUTATIONAL COMPLEXITY

Аннотация. В статье проводится исследование методов решения систем линейных уравнений: классическим методом, методом Крамера и методом Гаусса. В учебной литературе [1–3] эти методы описываются, но не даётся количественного сравнения их вычислительной эффективности, что затрудняет выбор оптимального подхода для задач разной размерности. В работе предложен аналитический метод оценки через подсчёт числа арифметических операций. Установлено, что метод Гаусса имеет полиномиальную сложность $O(n^3)$, тогда как метод Крамера — факториальную $O(n!)$ при прямом вычислении определителей. На основе полученных формул показано, что уже при $n=5$ метод Крамера требует в 43 раза больше операций, чем метод Гаусса. Результаты могут быть использованы при выборе алгоритма в прикладных задачах и в учебном процессе.

Abstract. The article explores methods for solving systems of linear equations: the classical method, the Kramer method and the Gauss method. In the educational literature [1-3], these methods are described, but no quantitative comparison of their computational efficiency is given, which makes it difficult to choose the optimal approach for problems of different dimensions. The paper proposes an analytical method of estimation through counting the number of arithmetic operations. It is established that the Gauss method has polynomial complexity $O(n^3)$, while the Cramer method has factorial $O(n!)$ In direct calculation of determinants. Based on the formulas obtained, it was shown that already at $n = 5$, the Kramer method requires 43 times more operations than the Gauss method. The results can be used when choosing an algorithm in applied problems and in the educational process.

Ключевые слова: система линейных уравнений, метод Гаусса, метод Крамера, вычислительная сложность, матрица, определитель

Keywords: system of linear equations, Gauss method, Cramer method, computational complexity, matrix, determinant

Существует несколько методов решения систем линейных уравнений: классический метод, метод Крамера, метод Гаусса и другие. В учебной литературе [1–3] эти методы подробно излагаются, однако вопрос о том, какой из них эффективнее для систем разной размерности, обычно не рассматривается количественно. Проведем сравнительный анализ методов решения систем линейных уравнений на основе аналитической оценки вычислительной сложности и экспериментальных данных.

Система линейных алгебраических уравнений представляется в виде (1):

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2 \\ a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{nn}x_n = b_n \end{cases} \quad (1)$$

Исследуем решение различных систем линейных уравнений с различным количеством переменных тремя методами: классическим методом, методом Крамера, методом Гаусса. Решим систему линейных уравнений с двумя переменными (2) классическим методом.

$$\begin{cases} 2x + y = 5 \\ x - y = 1 \end{cases} \quad (2)$$

$$x = y + 1$$

$$2(y + 1) + y = 5$$

$$2y + 2 + y = 5$$

$$3y = 5 - 2$$

$$3y = 3$$

$$y = 1$$

$$x = y + 1 = 1 + 1 = 2$$

$$y = 1, x = 2$$

Решим систему линейных уравнений (3) с тремя переменными классическим методом.

$$\begin{cases} x+2y+z=4 \\ 3x-5y+3z=1 \\ 2x+7y-z=8 \end{cases} \quad (3)$$

$$(x+2y+z)+(2x+7y-z)=4+8$$

$$3x+9y=12$$

$$x+3y=4$$

$$z=4-x-2y$$

$$3x-5y+3(4-x-2y)=1$$

$$3x-5y+12-3x-6y=1$$

$$-11y+12=1$$

$$-11y=-11$$

$$y=1$$

$$x+3 \cdot 1=4 \Rightarrow x=1$$

$$z=4-1-2 \cdot 1=1$$

$$x=1, y=1, z=1$$

Решим систему линейных уравнений (4) с четырьмя переменными методом Гаусса.

$$\begin{cases} x+2y+3z+4w=30 \\ 2x+3y+4z+w=26 \\ 3x+4y+z+2w=24 \\ 4x+y+2z+3w=22 \end{cases} \quad (4)$$

Составим матрицу и выполним элементарные преобразования:

$$\left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 3 & 4 & 30 \\ 2 & 3 & 4 & 1 & 26 \\ 3 & 4 & 1 & 2 & 24 \\ 4 & 1 & 2 & 3 & 22 \end{array} \right)$$

Вычтем из 2-й строки 2×1-ю, из 3-й 3×1-ю, из 4-й 4×1-ю:

$$\left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 3 & 4 & 30 \\ 0 & -1 & -2 & -7 & -34 \\ 0 & -2 & -8 & -10 & -66 \\ 0 & -7 & -10 & -13 & -98 \end{array} \right)$$

Умножим 2-ю строку на -1:

$$\left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 3 & 4 & 30 \\ 0 & 1 & 2 & 7 & 34 \\ 0 & -2 & -8 & -10 & -66 \\ 0 & -7 & -10 & -13 & -98 \end{array} \right)$$

Из 3-й строки вычтем (-2) от 2-й (т.е. прибавим 2×2 -ю), из 4-й вычтем (-7) от 2-й (прибавим 7×2 -ю):

$$\left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 3 & 4 & 30 \\ 0 & 1 & 2 & 7 & 34 \\ 0 & 0 & -4 & 4 & 2 \\ 0 & 0 & 4 & 36 & 140 \end{array} \right)$$

Сложим 3-ю и 4-ю строки:

$$\left(\begin{array}{cccc|c} 1 & 2 & 3 & 4 & 30 \\ 0 & 1 & 2 & 7 & 34 \\ 0 & 0 & -4 & 4 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 40 & 142 \end{array} \right)$$

Обратный ход, из 4-й строки:

$$40w = 142 \Rightarrow w = \frac{142}{40} = \frac{71}{20}$$

Из 3-й строки:

$$-4z + 4w = 2 \Rightarrow -4z = 2 - 4 \cdot \frac{71}{20} = 2 - \frac{71}{5} \Rightarrow z = \frac{61}{20}$$

Из 2-й строки:

$$y + 2z + 7w = 34 \Rightarrow y = 34 - 2 \cdot \frac{61}{20} - 7 \cdot \frac{71}{20} = \frac{680 - 619}{20} = \frac{61}{20}$$

Из 1-й строки:

$$x + 2y + 3z + 4w = 30 \Rightarrow x = 30 - 2 \cdot \frac{61}{20} - 3 \cdot \frac{61}{20} - 4 \cdot \frac{71}{20} = \frac{11}{20}$$

$$x = \frac{11}{20}, y = \frac{61}{20}, z = \frac{61}{20}, w = \frac{71}{20}$$

Применим к системе (4) метод Крамера, вычислим определитель матрицы системы:

$$\det A = -52$$

Заменяя последовательно столбцы матрицы на столбец свободных членов, находим:

$$\det A_x = -\frac{143}{5}, \quad \det A_y = -\frac{793}{5}, \quad \det A_z = -\frac{793}{5}, \quad \det A_w = -\frac{923}{5}$$

Тогда:

$$x = \frac{143}{260} = \frac{11}{20}, \quad y = \frac{793}{260} = \frac{61}{20}$$

$$z = \frac{793}{260} = \frac{61}{20}, \quad w = \frac{923}{260} = \frac{71}{20}$$

Метод Крамера требует вычисления $n+1$ определителя порядка n . При вычислении определителя прямым разложением по строке количество операций для одного определителя составляет $n! \cdot (n-1)$. Общее число операций:

$$T_{\text{крамера}} \approx (n+1) \cdot n! \cdot n = n \cdot (n+1) \cdot n! \quad (5)$$

Метод Гаусса (прямой ход с обратной подстановкой) требует количество вычислений:

$$T_{\text{гаус}} \approx \frac{2}{3} n^3 \quad (6)$$

На основе формул (5) и (6) составим сравнительную таблицу, которая покажет количество операций для одного определителя.

Таблица 1

Количество операций при решении систем линейных уравнений методом Крамера и методом Гаусса

Количество неизвестных в системе линейных уравнений	Метод Крамера	Метод Гаусса
2	12	5
3	72	18
4	480	43
5	3600	83
6	30240	144

Из Таблицы 1 видно, что при $n=5$ метод Крамера требует в 43 раза больше операций, чем метод Гаусса, а при $n=6$ разница достигает двух порядков. Таким образом, классический метод удобен для систем 2×2 , но становится громоздким при увеличении размерности. Метод Крамера удобно применять для систем очень малой размерности (до 4 неизвестных) при ручном счёте. Количество операций при решении методом Крамера для системы 4×4 существенно выше. Метод Гаусса показал себя более универсальным и эффективным для систем любого размера. Для практических расчётов предпочтение следует отдавать методу Гаусса уже при $n \geq 4$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гантмахер Ф. Р. Теория матриц. – М.: Наука, 1988. – 552 с.
2. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ. – 3-е изд. – М.: Вильямс, 2013. – 1328 с.
3. Киселёв А. П. Алгебра. – М.: Просвещение, 2010. – 368 с.

Терентьева О.Б., Спащенко Н.Д.

Уфимский университет науки и технологий

Науч. рук. Ассистент, *Терентьева О.Б.*

Уфимский университет науки и технологий

Terenteva O.B., Spaschenko N.D.

Ufa University of Science and Technology

ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОСТИ ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНА КЛЮЧЕВСКАЯ СОПКА

STUDY OF THE ACTIVITY OF THE ERUPTION OF THE KLYUCHEVSKAYA SOPKA VOLCANO

Аннотация. Статья посвящена исследованию активности извержения вулкана Ключевская Сопка находящегося на полуострове Камчатка. Расчеты активности извержений вулкана выполнены с использованием характеристик вулкана, изложенные журналистом Елизаветой Золотовой. Для расчета вероятности события активности извержения вулкан, использованы формулы теории вероятности. Исследование активности вулкана Ключевская Сопка провели по аналогии с исследованием вулкана Безымянный. Вулкан Безымянный находится также на полуострове Камчатка. Используются данные наблюдений за вулканом Ключевская Сопка в течении 1827 дней. Вычисляется интенсивность потока, затем вероятность события активности извержений вулкана с предвестником и без предвестника. По числовым показателям вероятностей происходит предположение активности извержения вулкана на следующие два года.

Abstract. The article is devoted to the study of the activity of the eruption of the Klyuchevskaya Sopka volcano located on the Kamchatka Peninsula. Calculations of the activity of volcanic eruptions were made using the characteristics of the volcano, set forth by journalist Elizaveta Zolotova. To calculate the probability of a volcano eruption activity event, probability theory formulas are used. The study of the activity of the Klyuchevskaya Sopka volcano was carried out by analogy with the study of the Bezimyanny volcano. Bezimyanny volcano is also located on the Kamchatka Peninsula. The data of observations of the Klyuchevskaya Sopka volcano for 1827 days were used. The intensity of the flow is calculated, then the probability of the event of the activity of volcanic eruptions with a harbinger and without a harbinger. Numerical probability indicators suggest the activity of a volcanic eruption for the next two years.

Ключевые слова: вулкан, извержение, Ключевская Сопка, сейсмическая активность, вероятность, предвестник

Keywords: volcano, eruption, Klyuchevskaya Sopka, seismic activity, probability, harbinger

Извержения вулканов — это сложные и опасные природные процессы, которые трудно точно предсказать. Учёные изучают различные методы, чтобы заранее определить возможное извержение.

Исследования активности извержения вулкана Ключевская Сопка опираются на данные статьи журналиста В. А. Салтыковой [1], в которой изложен прогноз активности извержений вулкана Безымянный на основе анализа сейсмической активности.

Исследуем по аналогии активность вулкана Ключевская Сопка, расположенного на полуострове Камчатка и действующего с 1697 года.

На основе данных статьи журналиста Елизаветы Золотовой [2], составим таблицу с характеристиками извержения вулкана Ключевская Сопка.

Таблица 1

Характеристики вулкана Ключевская Сопка

Показатель	Значение / диапазон	Примечание
Высота вулкана	~4750 м	Самый высокий действующий вулкан Евразии
Средняя частота извержений	1 раз в 3–5 лет	Иногда реже — до 5–6 лет
Тип извержений	Стромболианский, вулканский, эксплозивно-эффузивный	Может меняться в ходе активности
Высота пеплового столба	8–15 км	В сильных извержениях до 13–14 км
Дальность распространения пепла	До 100–1000 км	Иногда влияет на авиацию
Температура лавы	~1000 °C	Типично для базальтовых лав
Скорость лавовых потоков	До десятков км/ч (до 60–100 км/ч)	При обрушениях и лавинах
Длина лавовых потоков	До 1–2 км и более	В отдельных извержениях
Частота землетрясений при активности	Десятки в сутки	Признак усиления активности
Последние извержения	2021, 2022, 2023, 2025	Регулярная активность

Перед извержением обычно увеличивается количество слабых землетрясений. Это связано с движением магмы внутри вулкана. Рассчитаем вероятности активного извержения вулкана. Для расчета вероятностей будем использовать закон распределения Пуассона вероятностей массовых и редких событий из Теории вероятностей и математической статистики [4]. За последние 5 лет: общее число извержений $N=5$, время наблюдений $T=1827$ дней. Рассчитаем интенсивность потока извержений:

$$\lambda = N/T = 5/1827 \approx 0.00273 \quad (1)$$

Рассчитаем вероятность без учёта предвестника. Рассмотрим период прогноза 2 недели (14 дней): λ — интенсивность пуассоновского потока, p — вероятность извержений, t — период прогноза.

$$\begin{aligned} p(n>0) &= 1 - e^{-\lambda t} \\ p &= 1 - e^{-0.0382} \\ p &\approx 1 - 0.96 = 0.04 \end{aligned} \quad (2)$$

Рассчитаем вероятность извержения с учётом предвестника, рассмотрим среднюю эффективность, например $JG \approx 11$, JG - показатель эффективности предвестника землетрясений по методике А. А. Гусева [3]

$$\begin{aligned} p_e(n>0) &= 1 - e^{-JG\lambda t} \\ p_e &= 1 - e^{-11 \cdot 0.00273 \cdot 14} \\ p_e &= 1 - e^{-0.421} \\ p_e &\approx 1 - 0.65 = 0.35 \end{aligned}$$

Вероятность активного извержения вулкана Ключевская Сопка без учета предвестника $\approx 4\%$. Вероятность активного извержения вулкана с учетом

предвестника $\approx 35\%$. Таким образом, из расчётов следует, что следующее извержение не случится в ближайшие два года, так как вероятности этого события низкие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1.Вероятностный прогноз извержений вулкана Безымянный на основе статистической оценки уровня сейсмичности СОУС'09 // NSP. – http://www.kscnet.ru/ivs/publication/volc_day/2015/art27.pdf (В. А. Салтыков; 2015 год)
- 2.Вулкан Ключевская сопка на Камчатке: активность, история и факты // NSP. – URL: <https://russian.rt.com/nopolitics/article/1521722-vulkan-klyuchevskaya-sopka-kamchatka> (Елизавета Золотова; 2025 год)
- 3.Прогноз землетрясений по статистике сейсмичности // NSP. – URL: https://www.emsd.ru/~gusev/_before_1988/prediction_1974.pdf (Гусев А. А.; 1974 год)
- 4.Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Учебное пособие для вузов. Изд. 7-е, стер. – М.: Высшая школа, 1999. 68 с.

Терентьева О.Б., Федькин С.В.

Уфимский университет науки и технологий

Науч. рук. Ассистент, *Терентьева О.Б.*

Уфимский университет науки и технологий

Terenteva O.B., Fedjkin S.V.

Ufa University of Science and Technology

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БПЛА В ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ ГОРОДА

ANALYSIS OF THE USE OF UAVS IN THE CITY TRANSPORTATION SYSTEM

Аннотация. В статье рассмотрены особенности применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в транспортной системе города. Проведен анализ их функциональных возможностей и технологической базы, включая системы навигации, автоматического управления и элементы искусственного интеллекта. Выполнено сравнительное исследование эффективности БПЛА и традиционного автомобильного транспорта по показателям времени перемещения и стоимости перевозки в городской среде. Выявлены основные преимущества и ограничения использования БПЛА, а также обозначены перспективы их внедрения в городскую транспортную инфраструктуру. Полученные результаты подтверждают высокий потенциал БПЛА как альтернативного вида транспорта, способного повысить скорость и эффективность городских перевозок.

Abstract. This article examines the application of unmanned aerial vehicles (UAVs) in urban transportation systems. Their capabilities and technological base, including navigation systems, automatic control, and artificial intelligence elements, are analyzed. A comparative study of the effectiveness of UAVs and traditional road transport in terms of travel time and cost in urban environments is conducted. The key advantages and limitations of UAV use are identified, and prospects for their development in urban transportation infrastructure are outlined. The results confirm the high potential of UAVs as an alternative mode of transportation, increasing the speed and efficiency of traditional transportation.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, БПЛА, транспортный БПЛА, городской транспорт, транспортная система, воздушный транспорт, искусственный интеллект, автоматизация, эффективность, инновационные технологии.

Keywords: unmanned aerial vehicles, UAVs, transport UAVs, urban transport, transport system, air transport, artificial intelligence, automation, efficiency, innovative technologies.

Беспилотный летательный аппарат (БПЛА) - летательный аппарат, осуществляющий полёт без пилота на борту и функционирующий на основе

автоматических систем управления, алгоритмов искусственного интеллекта и средств навигации, обеспечивающих выполнение заданных задач.

Функционирование транспортного БПЛА обеспечивается системами глобального позиционирования (GPS), датчиками и лидарами для обнаружения препятствий, алгоритмами искусственного интеллекта, системами автоматического управления полётом и аккумуляторными батареями высокой ёмкости.

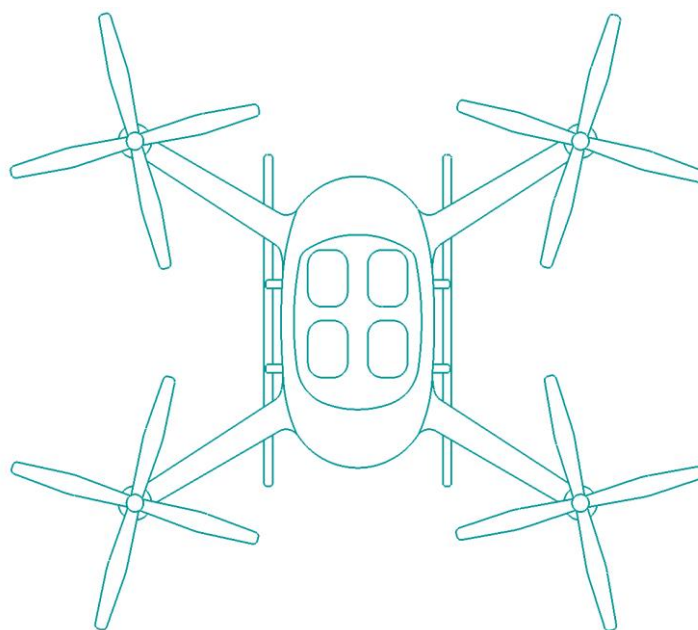


Рис. 1. Общий вид БПЛА транспортного типа.

Функционирование транспортного БПЛА обеспечивается рядом современных технологий, общий вид которого представлен на рис. 1.

Аналитика преимуществ и недостатков.

Преимущества:

- высокая скорость перемещения за счет прямолинейной траектории;
- возможность вертикального взлета и посадки;
- экологичность (использование электрической энергии);
- автоматизация управления.

Недостатки:

- риски безопасности при технических сбоях;

- отсутствие нормативно-правовой базы;
- необходимость создания инфраструктуры;
- высокая энергоемкость.

Проведем сравнительный расчет времени и стоимости передвижения БПЛА и автомобиля. Движение осуществляется в городской черте. Для расчета времени движения и стоимости поездки воспользуемся данными из Таблицы 1. Используются данные для таблицы 1: расход бензинового автомобиля 8 л на 100 км [1], мощность силовой установки БПЛА 106 кВт·ч на 100 км [3]. Стоимость АИ-95 бензина принята равной 67.22 руб./л на момент времени 27.03.2026 [2]. Стоимость электроэнергии 6 руб./кВт·ч [1]. Средняя скорость передвижения автомобиля 27 км/ч [4]. Скорость движения транспортного БПЛА 100 км/ч [4]. Расстояние маршрута 20 км.

Таблица 1

Параметры транспортного БПЛА и автомобиля

Параметры	Транспортный БПЛА	Автомобиль
Расход энергии на 100 км.	106 кВт.	8 л.
Стоимость энергии.	6 руб./кВт ч.	67,22 руб. литр
Скорость движения км в час.	100	27
Расстояние маршрута км.	20	20

Произведем расчет времени преодоления маршрута в 20 км. для БПЛА и автомобиля в минутах. Формула для расчета времени передвижения:

$$t = \frac{S}{V} \quad (1)$$

где t - время движения, ч, S - расстояние, км, V - скорость, км/ч.

Из Таблицы 1. подставим в формулу (1).

Расчет для БПЛА:

$$t = \frac{20}{100} = 0,20 \text{ мин. } 0,20 \times 60 = 12 \text{ минут}$$

Расчет для автомобиля:

$$t = \frac{20}{27} = 0,74 \text{ мин. } 0,74 \times 60 = 44,4 .$$

Произведем расчет стоимости поездки для БПЛА и автомобиля. Формула для расчета стоимости поездки:

$$C = \frac{S}{100} \times q \times p \quad (2)$$

где С - стоимость поездки, руб., S - расстояние, км, q - расход энергии на 100 км, p - стоимость единицы энергии.

Из Таблицы 1. подставим в формулу (2).

Расчет для БПЛА:

$$C = \frac{20}{100} \times 106 \times 6 = 127,2 \text{ руб.}$$

Расчет для автомобиля:

$$C = \frac{20}{100} \times 8 \times 67,22 = 107,55 \text{ руб.}$$

Таким образом, в результате проведенных расчетов установлено, что использование транспортных БПЛА в городской транспортной системе обеспечивает значительное сокращение времени передвижения: 12 минут для БПЛА и 44,4 минут для автомобиля. При этом стоимость поездки практически одинакова и составляет 127,2 руб. для БПЛА и 107,55 руб. для автомобиля. Применение транспортных БПЛА может способствовать разгрузке и

повышению эффективности городской транспортной системы при создании соответствующей инфраструктуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1.Электромобиль против бензинового // РБК. – URL: <https://companies.rbc.ru/news/jBnmRkP6RW/elektromobil-protiv-benzinovogo-chto-vyigodnee-v-rossijskih-usloviyah/> (дата обращения: 26.03.2026).
- 2.Индекс цен на топливо // Petrolplus. – URL: <https://www.petrolplus.ru/fuelindex/> (дата обращения: 27.03.2027).
- 3.Летающие беспилотники для перевозки пассажиров // Robotrends. – URL: <https://robotrends.ru/robopedia/letayushie-bespilotniki-dlya-perevozki-passazhirov> (дата обращения: 26.03.2026).
- 4.Средняя скорость движения на дорогах в городах может снизиться // NSP. – URL: <https://nsp.ru/38760-srednyaya-skorost-dvizeniya-na-dorogax-v-gorodax-mozet-snizitsya-do-13-kmcas> (дата обращения: 26.03.2026).

Терентьева О.Б.

Уфимский университет науки и технологий

Ассистент кафедры Естественных и общетехнических дисциплин,
Терентьева О.Б.

Уфимский университет науки и технологий

Terenteva O.B.

Ufa University of Science and Technology

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕОРЕМЫ ОБ ОПРЕДЕЛЕННОМ ИНТЕГРАЛЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ПУТЕМ

EXPERIMENTAL STUDY OF THE DEFINITE INTEGRAL THEOREM

Аннотация. В данной статье рассматривается исследование теоремы об определенном интеграле экспериментальным путем с помощью вычислительного метода. Исследование теоремы экспериментальным путем позволяет проверить, подтвердить или получить новые факты. С помощью математических вычислений можно лучше понять геометрический смысл определенного интеграла, как общего метода разыскания площадей. Для исследования выбрана непрерывная функция $f(x)=x^2$ на отрезке $[1,3]$. В ходе эксперимента сначала вычисляется определенный интеграл от подынтегральной функции $f(x)=x^2$ с промежутком интегрирования $[1,3]$. Затем несколько раз вычисляется интегральная сумма по формуле S_n для различного деления отрезка $[1,3]$ на промежутки и различного выбора в промежутках точек ξ_i . Промежуток $[1,3]$ делится произвольно сначала на малое количество промежутков разной длины, в которых выбирается произвольно по одной точке ξ_i , и вычисляется интегральная сумма S_n . Сумма S_n сравнивается с вычисленным значением интеграла, т.е. вычисляется абсолютная погрешность. Деление отрезка $[1,3]$ выполняется несколько раз, каждый раз увеличивая количество промежутков, после вычисляется сумма S_n , и снова сравнивается с вычисленным значением определенного интеграла. Деление отрезка $[1,3]$ на промежутки и выбор точек ξ_i производится разными способами. Утверждение теоремы проверяется экспериментально несколько раз.

Abstract. This article examines the study of the theorem on a certain integral experimentally using a computational method. The study of the theorem experimentally allows you to verify, confirm or obtain new facts. With the help of mathematical calculations, it is possible to better understand the geometric meaning of a certain integral as a general method for finding areas. A continuous function $f(x) = x^2$ at the interval $[1,3]$ was selected for the study. In the course of the experiment, a certain integral is first calculated from the integrand function $f(x) = x^2$ with an integration interval $[1,3]$. Then integral sum is calculated several times by formula S_n for different division of section $[1,3]$ into intervals and different selection in intervals of points ξ_i . The gap $[1,3]$ is first divided arbitrarily into a small number of gaps of different lengths, in which one point ξ_i is selected arbitrarily, and the integral sum S_n is calculated. Sum of S_n is compared with the calculated integral value, i.e. the absolute error is calculated. Segment division $[1,3]$ is performed several times, each time increasing the number of gaps, after which the sum S_n is calculated, and again compared with the calculated

value of a certain integral. Division of segment $[1,3]$ into intervals and selection of points ξ_i is performed in different ways. The statement of the theorem is tested experimentally several times.

Ключевые слова: определенный интеграл, промежуток интегрирования $[a,b]$, интегральная сумма S_n , точка кси ξ , значение функции $f(\xi_i)$, непрерывная функция $f(x)$, абсолютная погрешность

Keywords: definite integral, integration interval $[a, b]$, integral sum S_n , point xi ξ , value of function $f(\xi_i)$, continuous function $f(x)$, absolute error

Интегральное исчисление получило развитие в 17 веке, т.к. возникла потребность создать общий метод вычисления площадей. В справочнике по высшей математике по теме определенный интеграл введена теорема для непрерывной функции $y=f(x)$ внутри отрезка $[a,b]$:

Если при неограниченном возрастании числа промежутков $(x_0, x_1), (x_1, x_2), \dots (x_n, x_{n+1})$ наибольшая из их длин стремиться к нулю, то сумма S_n стремится к некоторому пределу S . Число S одно и тоже при любом способе образования частичных промежутков и при любом выборе точек $\xi_1, \xi_2 \dots [1]$

$$S_n = f(\xi_1)(x_1 - x_0) + f(\xi_2)(x_2 - x_1) + \dots + f(\xi_{n+1})(x_{n+1} - x_n) \quad (1)$$

Исследуем теорему экспериментальным путем воспользовавшись геометрическим смыслом определенного интеграла. Геометрический смысл: определенный интеграл от неотрицательной функции численно равен площади криволинейной трапеции [2].

Убедимся, что интегральная сумма S_n при возрастании промежутков отрезка $[a,b]$, каждый раз уменьшая наибольший промежуток, будет стремиться к некоторому пределу S . И это число будет одно и тоже при любом способе образования частичных промежутков и при любом выборе точек ξ . Рассмотрим на примере функции от одной переменной $f(x)=x^2$. Функция непрерывна внутри отрезка $[1,3]$. Вычислим определенный интеграл:

$$\int_1^3 x^2 dx = \left. \frac{x^3}{3} \right|_1^3 = \frac{27}{3} - \frac{1}{3} = \frac{26}{3} = 8,66666667 \quad (2)$$

По определению определенного интеграла [1], результат вычисления формулы (2) это предел к которому стремиться сумма S_n (1). Начнем эксперимент с помощью деления отрезка $[1,3]$ на различное количество промежутков, равных или не равных, затем вычисления интегральной S_n по формуле (1), и сравнения результата S_n с числом 8,66666667 (2), вычисляя абсолютную погрешность. Способ образования частичных промежутков и выбор точек ξ будем использовать разный.

Отрезок $[1,3]$ разделим произвольно на неравные три части и выберем по одной точке ξ в каждом промежутке, затем подсчитаем сумму S_n . На промежутке $(1;1,5)$ выберем точку $\xi_1=1,3$, тогда $f(\xi_1)=1,69$. На промежутке $(1,5;2,5)$ выберем точку $\xi_2=1,9$, тогда $f(\xi_2)=3,61$. На промежутке $(2,5;3)$ выберем точку $\xi_3=2,8$, тогда $f(\xi_3)=7,84$. Подсчитаем S_n :

$$S_n=(1,5-1)1,69+(2,5-1,5)3,61+(3-2,5)7,84=8,375$$

Абсолютная погрешность S_n : $8,66666667-8,375=0,29166667$

Найдем максимальную длину в отрезке $[1,3]$ с предыдущего деления отрезка, это промежуток от 1,5 до 2,5 и разделим его на две части произвольно. Также произвольно выберем по точке ξ в новых двух промежутках: от 1,5 до 2 и от 2 до 2,5. На промежутке $(1;1,5)$ выберем точку $\xi_1=1,3$, тогда $f(\xi_1)=1,69$. На промежутке $(1,5;2)$ выберем точку $\xi_2=1,8$, тогда $f(\xi_2)=3,24$. На промежутке $(2;2,5)$ выберем точку $\xi_3=2,3$, тогда $f(\xi_3)=5,29$. На промежутке $(2,5;3)$ выберем точку $\xi_4=2,8$, тогда $f(\xi_4)=7,84$. Подсчитаем S_n :

$$S_n=(1,5-1)1,69+(2-1,5)3,24+(2,5-2)5,29+(3-2,5)7,84=9,03$$

Абсолютная погрешность S_n : $9,03-8,66666667=0,36333333$

Т.к. длины промежутков одинаковые, то разделим все четыре промежутка на неравные части и выберем произвольно по одной точки ξ . На промежутке $(1;1,3)$ выберем точку $\xi_1=1,2$, тогда $f(\xi_1)=1,44$. На промежутке $(1,3;1,5)$ выберем

точку $\xi_2=1,4$, тогда $f(\xi_2)=1,96$. На промежутке $(1,5;1,8)$ выберем точку $\xi_3=1,6$, тогда $f(\xi_3)=2,56$. На промежутке $(1,8;2)$ выберем точку $\xi_4=1,9$, тогда $f(\xi_4)=3,61$. На промежутке $(2;2,3)$ выберем точку $\xi_5=2,2$, тогда $f(\xi_5)=4,84$. На промежутке $(2,3;2,5)$ выберем точку $\xi_6=2,4$, тогда $f(\xi_6)=5,76$. На промежутке $(2,5;2,8)$ выберем точку $\xi_7=2,7$, тогда $f(\xi_7)=7,29$. На промежутке $(2,8;3)$ выберем точку $\xi_8=2,9$, тогда $f(\xi_8)=8,41$. Подсчитаем S_n :

$$S_n=(1,3-1)1,44+(1,5-1,3)1,96+(1,8-1,5)2,56+(2-1,8)3,61+ \\ +(2,3-2)4,84+(2,5-2,3)5,76+(2,8-2,5)7,29+(3-2,8)8,41=8,787$$

Абсолютная погрешность S_n : $8,787-8,66666667=0,12033333$

Разделим отрезок $[1,3]$ заново на промежутки меньшей длины, чем в предыдущих экспериментах: на двадцать частей длиной по $0,1$ и выберем в каждой части произвольно по точке ξ . Подсчитаем S_n :

$$S_n=(1,1-1)1,02^2+(1,2-1,1)1,12^2+(1,3-1,2)1,22^2+(1,4-1,3)1,32^2+(1,5-1,4)1,42^2+ \\ +(1,6-1,5)1,52^2+(1,7-1,6)1,62^2+(1,8-1,7)1,72^2+(1,9-1,8)1,82^2+(2-1,9)1,92^2+ \\ +(2,1-2)2,02^2+(2,2-2,1)2,12^2+(2,3-2,2)2,22^2+(2,4-2,3)2,32^2+(2,5-2,4)2,42^2+ \\ +(2,6-2,5)2,52^2+(2,7-2,6)2,62^2++(2,8-2,7)2,72^2+(2,9-2,8)2,82^2+ \\ +(3-2,9)2,92^2=8,4268$$

Абсолютная погрешность S_n : $8,66666667-8,4268=0,23986667$

Будем уменьшать длины промежутков. Разделим отрезок $[1,3]$ заново на сорок частей длиной $0,05$ и выберем в каждой части произвольно по точке ξ . Подсчитаем S_n :

$$S_n=(1,05-1)1,02^2+(1,1-1,05)1,08^2+(1,15-1,1)1,12^2+(1,2-1,15)1,18^2+ \\ +(1,25-1,2)1,22^2+(1,3-1,25)1,28^2+(1,35-1,3)1,32^2+(1,4-1,35)1,38^2+ \\ +(1,45-1,4)1,42^2+(1,5-1,45)1,48^2+(1,55-1,5)1,52^2+(1,6-1,55)1,58^2+ \\ +(1,65-1,6)1,62^2+(1,7-1,65)1,68^2+(1,75-1,7)1,72^2+(1,8-1,75)1,78^2+$$

$$\begin{aligned}
&+(1,85-1,8)1,82^2+(1,9-1,85)1,88^2+(1,95-1,9)1,92^2+(2-1,95)1,98^2+ \\
&+(2,05-2)2,02^2+(2,1-2,05)2,08^2+(2,15-2,1)2,12^2+(2,2-2,15)2,18^2+ \\
&+(2,25-2,2)2,22^2+(2,35-2,25)2,32^2+(2,4-2,35)2,38^2+(2,45-2,4)2,42^2+ \\
&+(2,5-2,45)2,48^2+(2,55-2,5)2,52^2+(2,6-2,55)2,58^2+(2,65-2,6)2,62^2+ \\
&+(2,7-2,65)2,68^2+(2,75-2,7)2,72^2+(2,8-2,75)2,78^2+(2,85-2,8)2,82^2+ \\
&+(2,9-2,85)2,88^2+(2,95-2,9)2,92^2+(3-2,95)2,98^2=8,6668
\end{aligned}$$

Абсолютная погрешность $8,66666667-8,6668=0,00013333$

Все вычисления S_n выполняются в прикладном табличном редакторе. Дальнейший эксперимент с уменьшением промежутков отрезка $[1,3]$ и вычислением S_n покажет, что S_n будет стремиться к числу, вычисленному по формуле (2). На рисунке 1 вычисления S_n выполнено для промежутков длиной 0,01. С 9 по 193 строки скрыты.

Абсолютная погрешность S_n : $8,70589802-8,66666667=0,03923135$

	A	B	C	D	E	F	G
1	x	Разность ξ		f(ξ)	f(ξ)*0,01	S_n	
2	1	0,01	1,0099	1,0199	0,01019898	8,70589802	
3	1,01		1,0199	1,0402	0,01040196		
4	1,02		1,0299	1,06069	0,01060694		
5	1,03		1,0399	1,08139	0,01081392		
6	1,04		1,0499	1,10229	0,0110229		
7	1,05		1,0599	1,12339	0,01123388		
8	1,06		1,0699	1,14469	0,01144686		
194	2,92		2,9299	8,58431	0,08584314		
195	2,93		2,9399	8,64301	0,08643012		
196	2,94		2,9499	8,70191	0,0870191		
197	2,95		2,9599	8,76101	0,08761008		
198	2,96		2,9699	8,82031	0,08820306		
199	2,97		2,9799	8,8798	0,08879804		
200	2,98		2,9899	8,9395	0,08939502		
201	2,99		2,9999	8,9994	0,089994		
202	3						
203							

Рис. 1. Расчет S_n для промежутков длиной 0,01 отрезка $[1,3]$.

Таким образом, при очень большом увеличении количества частичных промежутков промежутка интегрирования $[1,3]$ непрерывной функции $f(x)=x^2$, S_n

стремиться к пределу S , величина абсолютной погрешности S_n очень мала. Т.е. S_n стремится к числу S , и это число одно и то же.

При малом количестве частичных промежутков промежутка интегрирования $[1,3]$ непрерывной функции $f(x)=x^2$, S_n может превышать S или быть значительно меньше S , величина абсолютной погрешности S_n большая.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике: Изд-во «Наука», Москва, 1973. 441 – 442 с.
2. Письменный Д.Т. Конспект лекций по Высшей математике: полный курс / 21 изд. – М.: АЙРИС – пресс, 2025. 259 с.
3. Бараненков Г.С., Демидович Б.П., Ефименко В.А. и др.; Задачи и упражнения по математическому анализу для втузов: М.: Изд-во Астрель: Изд-во АСТ, 2002. 135 с.

УДК 81

Вазитдинов М. Д.

Уфимский университет науки и технологий

Науч. рук. канд. филол. наук, доцент *Кочетова Г. Р.*

Уфимский университет науки и технологий

Vazitdinov M. D.

Ufa University of Science and Technology

ТЕХНИКА ЗАПОМИНАНИЯ НОВОЙ ЛЕКСИКИ ДЛЯ ПРОГРАММИСТОВ

THE TECHNIQUE OF MEMORIZING NEW VOCABULARY FOR PROGRAMMERS

Аннотация: В статье анализируются современные подходы к запоминанию технической терминологии при изучении программирования. Описывается работа с текстами на занятиях, использование карточек с терминами, составление предложений, регулярное повторение. Рассматриваются результаты применения предложенных техник, их влияние на мотивацию и успеваемость студентов.

Abstract. The article analyzes modern approaches to memorizing technical terminology when learning programming. It describes working with texts in classes, using flashcards with terms, making up sentences, and regular repetition. The article also examines the results of applying these techniques and their impact on students' motivation and academic performance.

Ключевые слова: техника запоминания, программирование, техническая терминология, карточки, активные методы обучения.

Keywords: memorization techniques, programming, technical terminology, flashcards, and active learning methods.

В условиях стремительного развития информационных технологий владение профессиональной лексикой становится обязательным навыком для будущих программистов. Однако запоминание большого объёма технических терминов вызывает трудности у студентов, что связано с абстрактностью понятий и необходимостью их точного употребления. В связи с этим актуальна разработка эффективных методик обучения, позволяющих не только усвоить

новые слова, но и активно использовать их в речи и письме, а также применять в профессиональной деятельности.

1. Разбор текстов на занятиях

На практических занятиях студенты работают с текстами по программированию. Например, в учебнике Т. И. Иваненко «Английский язык» [1] представлены статьи о современных языках программирования, алгоритмах, и тенденциях в IT. После прочтения текста проводится обсуждение, выделяются и переводятся новые термины, анализируется их употребление в контексте.

При изучении темы “What is the Internet?” («Что такое Интернет?») студенты разбирают текст, где встречаются такие слова и выражения, как to access information (получать доступ к информации), computer screen (экран компьютера). После анализа текста проводится мини-викторина, где необходимо соотнести термин с его определением на русском языке.

2. Использование карточек с терминологией

Для закрепления лексики студентам предлагаются карточки с технической терминологией. На одной стороне карточки написан термин на английском языке, на другой написано определение, пример употребления в предложении и перевод. Такой подход способствует визуальному запоминанию и быстрому повторению.

Авторы Кочетова Г.Р. и Мигранов А. Г. в своей работе отмечают, что карточки применяются на постоянной основе для того, чтобы сделать занятия более эффективными и интерактивными [2].

Оригинальным элементом методики является создание студентами собственных карточек: они не только выписывают слова, но и подбирают к ним иллюстрации или ассоциации, что задействует образное мышление и повышает эффективность запоминания.

3. Составление предложений и диалогов

Следующим этапом является самостоятельное составление предложений с новыми словами. Студенты учатся использовать термины в различных

грамматических конструкциях, что способствует их активному усвоению и автоматизации в речи.

Для развития коммуникативных навыков предлагается работа в парах: составление диалогов на профессиональные темы («Собеседование в IT-компанию», «Обсуждение проекта»), где обязательным условием является использование не менее 5–7 новых терминов из изученного блока.

4. Внедрение цифровых инструментов

В рамках методики активно используются цифровые платформы для создания интерактивных упражнений (например, Quizlet). Это позволяет сделать процесс повторения более динамичным и интересным, что положительно сказывается на мотивации студентов.

5. Повторение и контроль

Регулярное повторение изученной лексики осуществляется с помощью тестов, викторин и устных опросов [3].

Таким образом, комплексный подход, включающий работу с текстами, использование карточек, составление предложений и диалогов, внедрение цифровых инструментов и повторение материала, доказало свою эффективность при изучении технической лексики. Применение данных методик способствует формированию у студентов устойчивых навыков владения профессиональной терминологией, повышает их мотивацию и уверенность в себе, что необходимо для успешной коммуникации в сфере IT.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иваненко Т. И. Английский язык. Сборник текстов и упражнений: Учебное пособие. – Петропаловск-Камчатский: КамчаткаГТУ, 2007. – 77 с.
2. Кочетова Г. Р., Мигранов А. Г. Использование карточек на занятиях иностранного языка в техническом вузе // Достижения и перспективы научных исследований молодежи. Материалы XXIII научно-практической конференции с международным участием. – Уфа: Уфимский университет науки и технологий, Уфа, 2025. – С. 412-415. EDN WHEGFE
3. Кочетова Г.Р., Хуснуллин Р.Ф., Драгулин А.Э. Методы улучшенного изучения английского языка на разговорном уровне. / Материалы XXII научно-практической конференции с международным участием. Достижения и перспективы научных исследований молодежи. – Уфа: Изд-во Уфимский университет науки и технологий, 2024. – С. 444-447.

Волкова Л. В., Даутова З. З.

Уфимский университет науки и технологий

Науч. рук. доцент, канд. филол. наук *Кочетова Г. Р.*

Уфимский университет науки и технологий

Volkova L. V., Dautova Z. Z.

Ufa University of Science and Technology

РОЛЬ ИЗУЧЕНИЯ ИНОСТРАННОГО ЯЗЫКА В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АВИАЦИОННЫХ ИНЖЕНЕРОВ

THE ROLE OF FOREIGN LANGUAGE STUDY IN THE PROFESSIONAL ACTIVITIES OF AVIATION ENGINEERS

Аннотация. Данная статья посвящена исследованию роли владения иностранным языком в профессиональной деятельности авиационных инженеров. Анализируются основные области применения иностранного языка авиаинженером. Особое внимание уделяется использованию специализированных программных средств для моделирования, проектирования и анализа авиационных систем. Подчеркивается важность развития языковых и технических навыков для повышения эффективности работы и расширения профессиональных возможностей сотрудников авиационной отрасли на международном уровне.

Abstract. This article focuses on the role of foreign language proficiency in the professional activities of aviation engineers. It analyzes the main areas where a foreign language is used by an aviation engineer. Special attention is given to the use of specialized software tools for modeling, designing, and analyzing aviation systems. The article emphasizes the importance of developing language and technical skills to enhance the efficiency of work and expand the professional opportunities of aviation industry employees on an international level.

Ключевые слова: иностранный язык, авиационный инженер, профессиональная деятельность.

Keywords: foreign language, aviation engineer, professional activity.

В условиях глобализации научно-инженерная и авиационная сферы становятся местом для международного обмена знаниями и опытом. Развитие технологий и рост международных проектов требуют от авиаинженеров не только технических навыков, но и умения общаться на английском языке, который стал основным средством международной коммуникации в научной и технологической сферах деятельности.

Исследования в области профессиональной подготовки авиационных инженеров показывают, что владение иностранным языком способствует расширению профессиональных навыков, облегчает доступ к информационным ресурсам международного уровня и повышает уровень профессионализма в общении. В рамках инженерной профессии это влияет на эффективность участия в публикациях научных работ и внедрения инноваций [2].

Основными направлениями применения иностранного языка авиаинженером являются (рис.1):

1) Участие в международных научных публикациях. Большинство ведущих журналов печатают материалы на английском языке, а владение этим языком обеспечивает возможность публикации, что напрямую влияет на научную репутацию авиационного инженера.

2) Участие в международных конференциях и проектах - для успешной коммуникации и сотрудничества необходимо свободное владение иностранным языком. Это позволяет не только делиться опытом, но и принимать участие в совместных разработках, что способствует развитию инновационных решений.

3) Обзор и прочтение технической документации, стандартов и спецификаций, которые преимущественно публикуются на английском языке. Знание английского существенно сокращает время адаптации и повышает качество выполнения инженерных задач.

4) Карьерный рост – многие предприятия и организации предъявляют требования к уровню англоязычной подготовки специалистов. Владение языком является ключевым фактором карьерного продвижения и участия в глобальных проектах.

5) Профессиональная деятельность – авиаинженер работает с импортным оборудованием и программным обеспечением, имеющим международную терминологию. Инженер должен уметь разбираться в технических терминах, чтобы правильно использовать оборудование, т.к. инструкции и исходные материалы к нему часто написаны на языке производителя [1].



Рис.1. Области применения иностранного языка

Авиаинженеры используют программы, связанные с моделированием и математическими расчётами, для работы в авиационной отрасли. Среди них - SolidWorks и MATLAB.

SolidWorks необходим для 3D-проектирования изделий (деталей и сборок), инженерного анализа деталей на прочность, устойчивость, теплопередачу, частотный анализ, динамику механизмов, проектирования коммуникаций. В программу входят модули: SolidWorks Simulation, который производит расчёт на прочность конструкций, определение собственных форм и частот колебаний, и SolidWorks Flow Simulation, моделирующий течения жидкостей и газов [3].

MATLAB производит моделирование динамики полёта и систем управления - инженеры создают математические модели, представляющие поведение самолёта в разных условиях полёта, и используют алгоритмы численного интегрирования MATLAB для симуляции ответа самолёта; анализ аэродинамики аэрокосмических систем - авиаинженеры могут рассчитывать характеристики подъёмной силы и сопротивления, анализировать потоки воздуха вокруг сложных геометрий; анализ структуры, т.е. MATLAB предлагает различные численные методы и техники анализа конечных элементов для анализа структурного поведения аэрокосмических систем; проектирование и анализ систем навигации и управления - инженеры могут моделировать поведение систем управления, симулировать их ответ в разных сценариях полёта и оптимизировать их производительность [4].

Интерфейс программ SolidWorks и MATLAB выполнен на английском языке, что означает, что все меню, команды, панели инструментов и диалоговые окна отображаются на английском. Это важно для пользователей, работающих в международной среде, поскольку английский язык является стандартом для технической документации, коммуникации и обучения в области моделирования и проектирования.

Таким образом, изучение иностранного языка, особенно английского, является важным элементом профессиональной подготовки авиационных инженеров. Владение иностранным языком способствует не только повышению эффективности научно-технической деятельности, но и укреплению позиций инженера на международной арене. Сегодня английский язык доминирует в мире научных трудов, а публикации на английском языке - необходимость, так как этот язык стал эталоном международного научного общения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Золотилина А. С., Чеснокова Р. А., Друкаров М. Е. «Английский язык для авиаинженеров. Aviation English for Engineering Specialties», 2020. 64 с.
2. Кочетова Г. Р. Технический английский язык как дополнительная общеобразовательная программа. / Достижения и перспективы научных исследований молодежи. – Уфа: УУНиТ, 2024. 451–454 с.
3. Алямовский А. А. «SOLIDWORKS Simulation и FloEFD. Практика, методология, идеология» / Москва : ДМК Пресс, 2018. 658 с.
4. Лазарев Ю. Ф. «Моделирование процессов и систем в MATLAB. Учебный курс», 2015. 511 с.

Кочетова Г. Р., Мигранов А. Г.

Уфимский университет науки и технологий

Kochetova G. R., Migranov A. G.

Ufa University of Science and Technology

КЛАССИЧЕСКИЕ ПЕЧАТНЫЕ СЛОВАРИ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЯХ ПО ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ

CLASSICAL PRINTED DICTIONARIES AND THEIR USE IN FOREIGN LANGUAGE CLASSES

Аннотация. В эпоху тотальной цифровизации образования и доступности электронных лексикографических ресурсов роль классического печатного словаря на практических занятиях по иностранному языку подвергается переосмыслению. Данная статья посвящена анализу дидактического потенциала печатных словарей в условиях современного мультимедийного обучения. Рассматриваются психолингвистические и методические преимущества работы с бумажным носителем. В статье предлагаются конкретные методические приемы для формирования прочных лексических навыков у студентов.

Abstract. In the era of total digitalization of education and the availability of electronic lexicographic resources, the role of the classic printed dictionary in practical foreign language classes is being rethought. This article focuses on analyzing the didactic potential of printed dictionaries in the context of modern multimedia learning. It explores the psycholinguistic and methodological advantages of working with paper-based resources. The article offers specific teaching techniques to help students develop strong lexical skills.

Ключевые слова: печатный словарь, методика преподавания иностранного языка, техническая терминология.

Keywords: printed dictionary, foreign language teaching methodology, and technical terminology.

Современное практическое занятие по иностранному языку трудно представить без использования гаджетов и доступа к онлайн-переводчикам. Студенты отдают предпочтение скорости, так как им необходимо мгновенно получить перевод слова, чтобы продолжить коммуникацию или чтение текста. Электронные словари и приложения-переводчики стали основными инструментами преодоления языковых барьеров. Однако за быстрым результатом часто скрывается поверхностное усвоение лексики, не

подкрепленное пониманием системных связей языка, стилистических нюансов и контекстуальных значений.

В то же время современные лексикографы и методисты бьют тревогу из-за того, что учащиеся не умеют пользоваться словарями, не понимают структуры словарной статьи и, как следствие, допускают грубые стилистические и семантические ошибки.

Особую актуальность данная проблема приобретает при подготовке студентов технических специальностей, которым предстоит работать с аутентичной технической документацией, стандартами и профессиональной литературой на английском языке [2]. В этой ситуации качество перевода и точность понимания терминологии становятся не просто академической задачей, а вопросом профессиональной компетентности.

Целью данной статьи является переоценка роли классического печатного словаря на практических занятиях по иностранному языку, сравнительный анализ двух авторитетных лексикографических источников (словарей И. Р. Гальперина и В. К. Мюллера) и разработка эффективных стратегий их использования, способствующих глубокому усвоению материала студентами технических специальностей.

Для понимания места печатного словаря в современном обучении необходимо провести четкую дифференциацию его характеристик по сравнению с электронными ресурсами. Однако в рамках данного исследования особый интерес представляет не только оппозиция «бумажный и цифровой», но и сравнение двух типов бумажных словарей, которые по-разному реализуют свои дидактические функции. В качестве объектов для такого микроанализа выступают «Большой англо-русский словарь» под редакцией проф. И. Р. Гальперина (далее словарь Гальперина) и «Англо-русский словарь» проф. В. К. Мюллера (далее словарь Мюллера).

Работа с печатным словарем является процессом, требующим времени и когнитивных усилий. Чтобы найти слово, студенту необходимо вспомнить алфавит, пролистать страницы, прочесть всю словарную статью. Этот

«случайный» просмотр способствует расширению словарного запаса и установлению парадигматических связей между словами. В противоположность этому, электронный поиск дает готовый ответ мгновенно, исключая этап глубокой обработки информации.

Словарь Гальперина [1], будучи двухтомным и фундаментальным изданием, максимально реализует принцип глубины. Его словарные статьи содержат развернутые дефиниции, обширные списки фразеологизмов и примеров словоупотребления. Студент, ищущий значение узкоспециального термина, вынужден погружаться в микротекст статьи, анализируя оттенки значений. Словарь Мюллера [4], напротив, будучи однотомным и ориентированным на оперативность, обеспечивает иную когнитивную стратегию. Процесс поиска в нем быстрее, а статьи более лаконичнее. Таким образом, выбор между словарями Мюллера и Гальперина является выбором между скоростью получения общего значения и глубиной проработки языкового явления.

Печатный словарь задействует механизмы тактильной и визуальной памяти. Расположение слова на конкретной странице, его близость к другим словам, физическое ощущение книги создают дополнительные «якоря» для запоминания. Исследования в области когнитивной психологии подтверждают, что при работе с физическим носителем задействуются те же участки мозга, что и при пространственной навигации, что способствует лучшему закреплению материала [2].

Кроме того, работа с авторитетным печатным изданием приучает студента доверять выверенной академической информации, а не усредненным данным пользовательских онлайн-ресурсов. И словарь Гальперина, созданный коллективом авторов под эгидой академической науки, и словарь Мюллера, прошедший десятки переизданий, являются эталонами лексикографической достоверности.

При работе со студентами инженерных и IT-направлений особенно важно учитывать профессиональную направленность обучения. Ниже предлагаются

методические приемы, адаптированные для работы с двумя анализируемыми словарями.

Прием 1: «Охота за словом» с элементами технического перевода. Преподаватель раздает студентам список терминов по их специальности (например, *actuator, feedback loop, microcontroller*) и просит найти их в печатном словаре, выписав все значения и устойчивые выражения. В словаре Мюллера студенты найдут перевод быстро, но примеров употребления в техническом контексте может быть недостаточно. В словаре Гальперина поиск займет больше времени, но студенты обнаружат устойчивые словосочетания, что даст будущему инженеру готовые строительные блоки для профессиональной коммуникации.

Прием 2: «Лингвистический детектив». Студентам предлагается предложение из технического руководства, содержащее многозначное слово. Используя печатный словарь, они должны определить, какое именно значение реализовано в данном контексте. Словарь Мюллера может не содержать узкоспециального значения, что создаст проблемную ситуацию. Словарь Гальперина, благодаря фундаментальности, предложит точное техническое значение с примерами, что критически важно для будущих инженеров.

Таким образом, предложенные приемы демонстрируют, что словари Гальперина и Мюллера не конкурируют, а взаимодополняют друг друга в учебном процессе.

В современной методической литературе все чаще звучит критика в адрес преподавателей, которые настаивают на использовании единственного печатного словаря, игнорируя реалии цифрового мира. Это приводит к тому, что студенты отказываются от словарей, предпочитая онлайн-переводчики. Мы полагаем, что оптимальной стратегией является не противопоставление, а интеграция и синтез.

Применительно к паре словарей Гальперина и Мюллера этот синтез может выглядеть следующим образом. На этапе быстрого ознакомления студент получает общее представление о значении слова, используя словарь Мюллера

как аналог цифрового инструмента. На этапе глубокой проработки студент возвращается к ключевым терминам с двухтомником Гальперина, чтобы изучить все значения слова, его сочетаемость и контексты употребления. Словарь Мюллера выполняет роль «моста» между мгновенным цифровым переводом и фундаментальной академической лексикографией.

Для достижения поставленной цели было организовано анкетирование, в котором приняли участие 35 человек - студенты второго курса направлений «Автоматизация технологических процессов и производств» (18 человек) и «Прикладная информатика» (17 человек). Исследование проводилось в несколько этапов: подготовительный (знакомство со словарями), практический (выполнение заданий), анкетный и этап обработки данных.

На итоговый вопрос анкеты: «Какой из двух словарей вам понравился больше и почему?» Ответы распределились следующим образом: словарь Гальперина выбрали 24 человека (68,6%), словарь Мюллера выбрали 8 человек (22,8%), затруднились ответить 3 человека (8,6%).

Студенты, выбравшие БАРС, выделили полноту и глубину словарной статьи, надежность и авторитетность для профессионального перевода, а также наличие иллюстративных примеров [3]. Студенты, которые выбрали словарь Мюллера, отмечали скорость поиска, компактность и простоту. Интересные результаты дал сопоставительный анализ по группам специальностей. Среди «автоматчиков» словарь Гальперина выбрали 83,3%, а среди «информатиков» выбрали 52,9%, что свидетельствует о зависимости предпочтений от профиля подготовки.

Таким образом, проведенное исследование позволяет сделать ряд обобщающих выводов. Классический печатный словарь не утратил своей актуальности. Его роль трансформировалась в инструмент для глубокого когнитивного освоения лексики.

Сравнительный анализ выявил принципиальные различия словарей. Словарь Гальперина выступает инструментом на этапе углубленной проработки лексики. Словарь Мюллера ценен как оперативный источник для начальных

этапов работы с текстом. Результаты анкетирования подтвердили данную дифференциацию. Ключевыми факторами выбора БАРС стали полнота информации и академическая авторитетность.

Использование печатного словаря должно быть методически обоснованным. Предложенные приемы позволяют компенсировать недостатки поверхностного цифрового перевода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гальперин И. Р. Большой англо-русский словарь: в 2 т. / под общ. рук. И. Р. Гальперина. – 4-е изд., испр. и доп. Издательство: М.: Русский язык, 1987. – Т. 1: А–М. – 1038 с.; Т. 2: N–Z. – 1072 с.
2. Иванова О. А. Рекомендации по ведению личного словаря и работе с лексикой: методические указания для студентов 1-2 курсов / сост. О. А. Иванова. – М.: Изд-во МГТУ, 2022. – 24 с.
3. Кочетова Г. Р., Мигранов А. Г. Использование карточек на занятиях иностранного языка в техническом вузе // Достижения и перспективы научных исследований молодежи. Материалы XXIII научно-практической конференции с международным участием. – Уфа: Уфимский университет науки и технологий, Уфа, 2025. – С. 412-415. EDN WHEGFE
4. Мюллер В. К. Англо-русский словарь / В. К. Мюллер. – 24-е изд., испр. – М. : Эксмо, 2010. – 864 с.

Панфилов А. В.

Уфимский университет науки и технологий

Науч. рук. канд. филол. наук, доцент *Кочетова Г.Р.*

Уфимский университет науки и технологий

Panfilov A. V.

Ufa University of Science and Technology

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ МГНОВЕННОГО ПЕРЕВОДА КАК ПРИЧИНА ИСЧЕЗНОВЕНИЯ МОТИВАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ АНГЛИЙСКОГО ЯЗЫКА

THE DEVELOPMENT OF REAL-TIME TRANSLATION TECHNOLOGIES AS A CAUSE OF THE DECLINE IN MOTIVATION TO LEARN ENGLISH

Аннотация: В статье рассматривается влияние технологий мгновенного перевода речи на мотивацию к изучению английского языка. Целью исследования является выявление изменения в учебной мотивации и коммуникативных стратегиях при использовании переводчиков в реальном времени. Результаты эксперимента показывают, что данные технологии снижают потребность в активном языковом производстве, но не устраняют необходимость владения языком. Практическая значимость заключается в разработке рекомендаций по их интеграции в образовательный процесс.

Abstract: The article examines the impact of real-time speech translation technologies on motivation to learn English. The aim is to identify changes in learners' motivation and communicative strategies when using such tools. The results show that these technologies reduce the need for active language production but do not eliminate the importance of language proficiency. The practical value lies in developing recommendations for integrating translation tools into language education.

Ключевые слова: английский язык, мотивация, технологии перевода, цифровое обучение, коммуникативная компетенция, изучение языков.

Keywords: English language, motivation, translation technologies, digital learning, communicative competence, language acquisition.

Современное развитие цифровых технологий существенно трансформирует процессы межкультурной коммуникации. Появление инструментов мгновенного перевода речи позволяет людям, не владеющим иностранными языками, эффективно взаимодействовать в реальном времени. Это приводит к пересмотру традиционного представления о необходимости изучения английского языка как универсального средства международного

общения. Возникает закономерный вопрос: сохраняется ли мотивация к изучению языка в условиях, когда технологические решения частично берут на себя функцию коммуникации [1].

Актуальность исследования определяется распространением цифровых переводческих инструментов и их влиянием на повседневное общение и профессиональные задачи. В современном мире взрослые пользователи регулярно сталкиваются с необходимостью взаимодействия на английском языке в онлайн-чатах, деловой переписке, путешествиях и на международных платформах [2]. Это формирует естественные условия использования технологий перевода и изменяет отношение к изучению английского языка вне формальных образовательных программ.

Научная новизна работы заключается в рассмотрении мотивационного аспекта использования технологий мгновенного перевода. В отличие от большинства исследований, сосредоточенных на эффективности обучения, данная работа анализирует изменения в отношении пользователей к самому процессу изучения языка. Особое внимание уделяется различию между пассивным пониманием и активным владением английским языком, а также переосмыслению его роли как инструмента когнитивного, культурного и профессионального развития.

В контексте научной новизны необходимо рассмотреть, каким образом технологии мгновенного перевода трансформируют мотивацию. Традиционно изучение английского языка основывалось на инструментальной ценности - как средство международного общения [3]. Однако доступность цифровых переводчиков частично снижает необходимость владения языком на базовом уровне. Это приводит к смещению акцента с внешней мотивации на внутренние факторы: язык воспринимается не как инструмент выживания, а как дополнительное преимущество, связанное с личностным развитием, профессиональной самореализацией и культурной интеграцией. Вместе с тем возникает риск формирования поверхностного отношения, при котором приоритет отдается пассивному пониманию, а не активному использованию.

Особое значение приобретает различие между пассивной и активной языковой компетенцией. Технологии перевода эффективно компенсируют недостаток словарного запаса или грамматических навыков, однако не обеспечивают развитие спонтанной речи, гибкости мышления и способности к быстрой языковой реакции [4]. В результате формируется зависимость от внешнего инструмента, что ограничивает коммуникативную самостоятельность.

Цель исследования состоит в выявлении влияния технологий мгновенного перевода на мотивацию к изучению английского языка и на активность пользователей в реальных коммуникационных ситуациях. Для этого было проведено экспериментальное наблюдение с участием 24 взрослых пользователей, регулярно взаимодействующих с англоязычной средой.

Участники были разделены на две группы. Первая выполняла коммуникативные задания без использования переводческих инструментов, а вторая имела возможность использовать приложения мгновенного перевода, такие как Google Translate и Microsoft Translator, а также устройства с функцией real-time translation. Задания моделировали повседневные ситуации: диалог с иностранным собеседником, интерпретация устных сообщений и решение практических задач с ограниченным временем на ответы.

Сбор данных проводился посредством наблюдения за поведением участников, анализа речевой активности и анкетирования, направленного на выявление изменений в мотивации, уверенности и отношении к английскому языку.

Результаты показали неоднозначное влияние технологий на поведение пользователей. Те, кто имел доступ к переводчикам, демонстрировали более высокую уверенность при выполнении заданий, однако значительно реже формулировали собственные высказывания. В их поведении прослеживалась тенденция к упрощению коммуникативных стратегий и зависимость от цифрового инструмента. Пользователи без переводчиков чаще проявляли инициативу и активность, несмотря на более высокую частоту ошибок [5].

Особый интерес представляет влияние на мотивацию. Часть участников экспериментальной группы отметила снижение ощущения необходимости систематического изучения языка. В то же время использование переводчиков снижало страх ошибки, что стимулировало участников к более активному включению в коммуникацию. Таким образом, мотивация трансформируется: с инструментальной она смещается в сторону личностной, связанной с преодолением барьеров и саморазвитием (рис. 1).



Рис. 1. Результаты исследования

Результаты позволяют утверждать, что технологии мгновенного перевода не делают изучение английского языка избыточным, но изменяют его характер. Язык перестает быть только средством передачи информации и начинает выполнять более сложные функции: развитие мышления, формирование культурной компетенции и обеспечение профессиональной мобильности [6].

Практическая значимость работы заключается в возможности адаптации образовательных и самообразовательных подходов к новым условиям. Технологии перевода могут быть интегрированы как вспомогательный инструмент, при условии их осознанного использования. Важно формировать навыки критического отношения к цифровым инструментам и создавать ситуации, требующие самостоятельного речевого взаимодействия. Усиление

внимания к коммуникативным аспектам обучения и развитию внутренней мотивации позволяет сохранить значимость английского языка даже в условиях технологического прогресса.

Анализ результатов показывает, что технологии мгновенного перевода оказывают двойственное влияние: с одной стороны, снижается необходимость активного использования языка, с другой стороны, снижается барьер для общения и может стимулироваться дальнейшее изучение английского через уверенность в коммуникации.

Таким образом, несмотря на стремительное развитие технологий мгновенного перевода, изучение английского языка не утрачивает актуальности. Напротив, оно приобретает новые формы и значения, выходящие за рамки простой коммуникации, оставаясь важным элементом образования и личностного развития.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кийко П. В. Цифровые технологии: учебное пособие / П. В. Кийко. – Омск : Омский ГАУ, 2023. – 108 с.
2. Кочетова Г.Р, Хуснуллин Р.Ф., Драгулин А.Э. Методы улучшенного изучения английского языка на разговорном уровне. / Материалы XXII научно-практической конференции с международным участием. Достижения и перспективы научных исследований молодежи. – Уфа: Изд-во Уфимский университет науки и технологий, 2024. – С. 444-447.
3. Куликова Ю. Н. Современные методы обучения иностранным языкам: теория и практика : монография / Ю. Н. Куликова. – Пенза : ПГАУ, 2025. – 284 с.
4. Лукашевич М. М. Цифровая обработка изображений и распознавание образов : учебное пособие / М. М. Лукашевич. – Минск : БГУИР, 2023. – 72 с.
5. Научный БУМ: сборник научных трудов по итогам Форума СНО образовательных организаций Чувашской Республики «Научный БУМ» / под ред. А. Н. Захаровой. – Чебоксары, 2023. – 392 с.
6. Лебедев С. П. Влияние цифровых переводческих инструментов на образовательный процесс / С. П. Лебедев // Вестник образования. – 2022. – № 7. – С. 88–102.

Хаметов Р. А., Кусянов А. В.

Уфимский университет науки и технологий

Науч. рук. ст. преп. *Кучкарова А. А.*

Уфимский университет науки и технологий

Khametov R.A., Kusyapov A.V.

Ufa University of Science and Technology

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МОЛОДЕЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ С ГОСУДАРСТВЕННЫМИ ОРГАНАМИ В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН

INTERACTION OF YOUTH ORGANIZATIONS WITH STATE BODIES IN THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

Аннотация: Статья посвящена исследованию особенностей взаимодействия молодежных организаций с государственными органами в Республике Башкортостан. Раскрываются правовые основания и механизмы координации деятельности молодежных объединений и государственных структур, действующие на региональном и муниципальном уровнях. Особое внимание уделено положительным примерам успешной совместной работы, таким как проекты по формированию кадрового резерва и разработка законопроектов, защищающих права детей и молодежи. Отмечается важность молодежных организаций в повышении правовой и политической культуры молодежи, а также в решении актуальных социальных проблем региона. Подчеркнута необходимость постоянного совершенствования механизмов взаимодействия для достижения устойчивого социально-экономического развития Республики Башкортостан.

Abstract. The article is devoted to the study of the features of interaction between youth organizations and state bodies in the Republic of Bashkortostan. It reveals the legal basis and mechanisms for coordinating the activities of youth associations and state structures at the regional and municipal levels. Special attention is paid to positive examples of successful joint work, such as projects for the formation of a personnel reserve and the development of bills that protect the rights of children and young people. The article emphasizes the importance of youth organizations in improving the legal and political culture of young people, as well as in solving pressing social issues in the region. It highlights the need for continuous improvement of interaction mechanisms in order to achieve sustainable socio-economic development in the Republic of Bashkortostan.

Ключевые слова: Общественные организации, молодежь, государство, молодежные организации.

Keywords: Public organizations, youth, the state, and youth organizations.

На современном этапе развития человечества, сопровождаемого вооружёнными конфликтами, изменением геополитической системы и

экономическими трудностями, особую остроту приобретает проблема взаимодействия молодежных организаций с государственными органами. Молодёжь, будучи активной частью гражданского общества, участвует в изменении политической системы и инициирует многочисленные митинги, пикеты и шествия. Преобразования последних десятилетий обусловили появление новых организационно - правовых форм, таких как некоммерческие организации, число которых в России превышает 609 тысяч, из них более сотни составляют молодежные организации.

Республика Башкортостан выделяется высоким уровнем численности молодёжи: примерно 914 тысяч жителей находятся в возрастной группе от 14 до 30 лет. Благодаря этому показатель лидирует среди субъектов Приволжского федерального округа. Тем не менее, статистика показывает тенденцию к оттоку молодёжи, особенно заметную в отдалённых от столицы районах республики.

Молодежь - это социально-демографическая группа, выделяемая на основе совокупности возрастных характеристик, особенностей социального положения и обусловленных ими социально - психологических свойств. Возрастные границы молодежи - от 14 до 35 лет включительно. «Молодежь — стратегический ресурс Республики Башкортостан» отмечено, что «в условиях перехода к рыночной экономике молодежь оказалась наименее защищенной и наиболее уязвимой частью общества. В то же время наметилась явно положительная тенденция-увеличилось число социально активной молодежи, сознательно увеличелось.

Правовую основу взаимодействия молодежных организаций с госструктурами составляет Конституция Республики Башкортостан и Закон №ВС - 9/74 от 12.11.1991 «О молодежной политике в Республике Башкортостан». Этот закон устанавливает базовые принципы, направления и механизмы реализации молодежной политики, включая правовой статус молодежных объединений.

Государственно - молодежное взаимодействие реализуется на республиканском и муниципальном уровнях. Ключевым государственным

органом, координирующим данное направление, выступает Министерство молодёжной политики и спорта Республики Башкортостан. Оно регулярно проводит мероприятия с участием молодежи, формирует научные, координационные и экспертные советы, вовлекающие представителей молодежных движений.

Кроме того, важную посредническую роль играют Молодёжная общественная палата и Молодёжный парламент Республики Башкортостан, занимающиеся просветительскими проектами, повышающие политическую и правовую культуру молодежи, а также принимающие непосредственное участие в подготовке нормативных актов и программ, затрагивающих права и интересы молодых граждан.

Примером успешного взаимодействия выступают следующие инициативы:

– Проект «Молодёжный праймериз», реализуемый Молодёжной палатой и Лигой молодёжной политики Республики Башкортостан, направленный на подготовку кадров и решение молодежных проблем.

– Инициация законопроекта «Об уполномоченном по правам ребенка в Республике Башкортостан», выдвинутого Молодёжным парламентом республики.

Молодёжные общественные организации существенно влияют на работу государственных органов Республики Башкортостан, формируя эффективную молодёжную политику и решая актуальные региональные задачи. Их вклад выражается в инициации значимых проектов, разработке законов и программ, отражающих интересы молодой части общества.

Таким образом, эффективное взаимодействие молодежных организаций с государственными структурами Республики Башкортостан способствует укреплению гражданского общества, повышению активности молодежи и устойчивому социально- экономическому развитию региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Абдрахманов Ф.Ф. Молодежные организации Республики Башкортостан: современное состояние и перспективы развития / Ф.Ф. Абдрахманов // Вестник Башкирского университета. – 2025. – № 2. – С. 123–130.
2. Галимова Э.Р. Взаимодействие молодежных организаций и органов государственной власти в современной России: региональный аспект / Э.Р. Галимова // Молодежь и общество: сборник статей Международной научно-практической конференции. – Уфа, 2025. – С. 115–121.
3. Закон Республики Башкортостан от 12 ноября 1991 г. № ВС-9/74 «О молодежной политике в Республике Башкортостан» (с изменениями и дополнениями).
4. Конституция Республики Башкортостан (принята Верховным Советом Республики Башкортостан 24 декабря 1993 г.) (действующая редакция).

СЕКЦИЯ 4. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ

УДК 314.7

Даутова З. З., Волкова Л.В.

Уфимский университет науки и технологий

Науч. рук. доцент *Ерофеев А.В.*

Уфимский университет науки и технологий

Dautova Z. Z., Volkova L.V.

Ufa University of Science and Technology

АНАЛИЗ ЧИСЛЕННОСТИ НАСЕЛЕНИЯ И МИГРАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН

ANALYSIS OF POPULATION AND MIGRATION IN THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

Аннотация: В статье анализируется демографическая ситуация в Республике Башкортостан и городе Кумертау за период 2014–2024 годов на основе данных Росстата и Башстата. Рассмотрены основные показатели: численность населения, коэффициенты рождаемости и смертности, естественный прирост (убыль), суммарный коэффициент рождаемости, ожидаемая продолжительность жизни и миграционный прирост. Выявлены негативные тенденции: устойчивое снижение рождаемости (с 14,8‰ в 2014 году до 8,2‰ в 2024 году), переход естественного прироста в отрицательную зону с 2017 года, а также преимущественно отрицательное сальдо миграции. Отдельно проанализирована демографическая ситуация в городе Кумертау (численность около 56 тыс. человек), где также наблюдаются низкая рождаемость, естественная убыль и отток молодёжи в крупные города. В статье обсуждаются причины снижения рождаемости (экономическая нестабильность, жилищная недоступность, недостаточная государственная поддержка) и предлагаются направления демографической политики, направленные на стимулирование рождаемости и удержание мигрантов.

Abstract: The article analyzes the demographic situation in the Republic of Bashkortostan and the city of Kumertau for the period 2014–2024 based on data from Rosstat and Bashstat. The main indicators are considered: population size, birth and death rates, natural increase (decrease), total fertility rate, life expectancy, and migration growth. Negative trends have been identified: a steady decline in the birth rate (from 14.8 per 1,000 in 2014 to 8.2 per 1,000 in 2024), a shift in natural growth to a negative zone since 2017, and a predominantly negative migration balance. The demographic situation in the city of Kumertau (with a population of approximately 56,000) has been analyzed separately, where there is also a low birth rate, natural decline, and an outflow of young people to major cities. The article discusses the reasons for the decline in the birth rate (economic instability, housing unaffordability, and insufficient government support) and suggests ways to address the demographic situation.

Ключевые слова: демографическая ситуация, Республика Башкортостан, город Кумертау, численность населения, рождаемость, смертность, естественный прирост, миграционный

прирост, ожидаемая продолжительность жизни, отток населения, демографические факторы, экономическое развитие, миграционные процессы, старение населения, трудовые ресурсы.
Keywords: demographic situation, Republic of Bashkortostan, city of Kumertau, population size, birth rate, death rate, natural increase, migration increase, life expectancy, population outflow, demographic factors, economic development, migration processes, aging population, and labor resources.

Башкортостан является крупнейшим субъектом Российской Федерации, расположенный в юго-западной части страны. Регион славится богатым культурным наследием, разнообразием народов. В данной статье рассмотрены основные тенденции в численности населения и миграции в Республике Башкортостан и в городе Кумертау.

По состоянию на 2023 год численность населения региона составляет примерно 4,1 миллиона человек. За последние годы наблюдается тенденция к стабильному или небольшому снижению численности населения, что связано с демографическими особенностями и миграционными процессами.

Демографические факторы оказывают существенное влияние на экономический рост региона:

во-первых, чем меньше численность населения, тем меньше трудовых ресурсов, что приводит к замедлению роста ВВП;

во-вторых, старение населения способствует увеличению затрат на социальную защиту и снижению потребительского спроса;

в-третьих, низкая рождаемость и миграционный отток сокращают численность населения и уменьшает трудовой потенциал в долгосрочной перспективе [1].

Таким образом, демографические факторы существенно влияют на устойчивость и динамику экономического развития региона: снижение численности населения, старение и миграционные процессы могут замедлять рост экономики, создавая необходимость разработки политик, направленных на стимулирование рождаемости и удержание мигрантов [4].

По данным Росстата и других официальных источников, были собраны показатели населения, рождаемости, смертности, миграции и ожидаемой продолжительности жизни за последние десять лет с прогнозами на следующий

год. Эти показатели позволяют оценить демографическую динамику региона в рассматриваемый период. В таблице представлены численность населения на начало каждого года, коэффициенты рождаемости и смертности, а также миграционный прирост и ожидаемая продолжительность жизни, что позволяет провести анализ изменений и выявлению факторов, влияющих на демографическую ситуацию (табл. 1) [2].

Таблица 1

Статистика населения и демографическая динамика (2014–2024)

Показатели	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Численность населения(на начало года, тыс.)	4070	4072	4071	4067	4063	4051	4038	4014	4078	4077,6	4064,4
Общий коэффициент рождаемости,‰	14,8	14,5	13,7	12,1	11,6	10,3	10,2	9,8	9,1	8,7	8,2
Общий коэффициент смертности,‰	13,1	13,3	12,9	12,4	12,4	12,1	15,0	16,5	12,2	11,7	12,6
Естественный прирост(убыль),‰	1,7	1,2	0,8	−0,3	−0,8	−1,8	−4,8	−6,7	−3,1	−3,0	−4,5
Суммарный коэффициент рождаемости	1,948	1,939	1,860	1,696	1,652	1,511	1,525	1,494	1,41	1,41	1,35
Ожидаемая продолжительность жизни	69,76	70,08	71,00	71,73	72,06	72,64	70,36	69,49	73,26	73,17	72,00
Миграционный прирост	−4441	−5927	−7390	−2607	−8858	−5506	−4956	−14566	−1479		2357
Коэффициент миграционного прироста (на10000чел.)	−11	−15	−18	−6	−22	−14	−13	36	−3,6	−6,6	−4,0

Численность населения оставалась относительно стабильной с минимальными колебаниями, за исключением периода 2019–2020 годов, где произошло снижение, и 2020–2022 годов, когда наблюдалась некоторая стабилизация. (рисунок 1) [1].

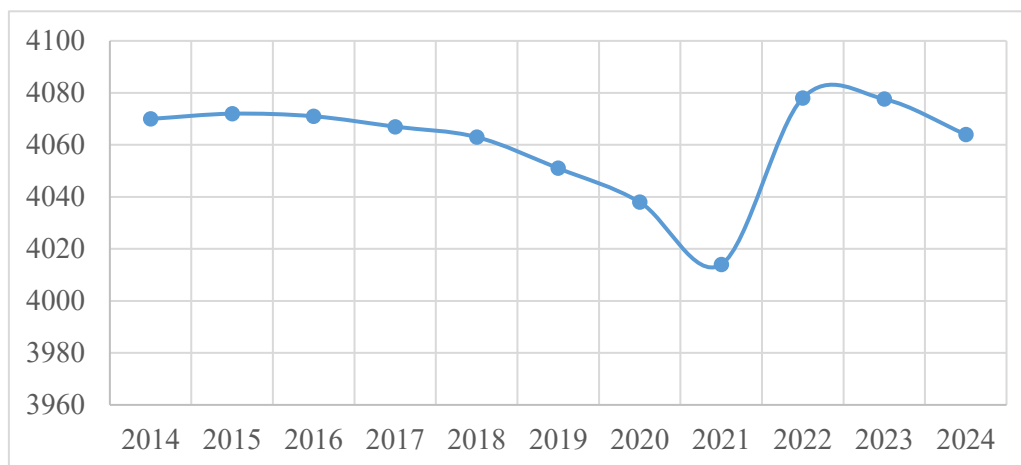


Рис. 1. Изменение численности населения по годам

Коэффициент рождаемости снизился с 14,8% в 2014 году до 8,2% в 2024 году, что говорит о тенденции к снижению рождаемости. Коэффициент смертности оставался относительно стабильным в первые годы, однако в 2020 году и далее возрастает до 16,5%, что указывает на повышение смертности на пике пандемии и затем стабилизацию (рисунок 2) [5,6].

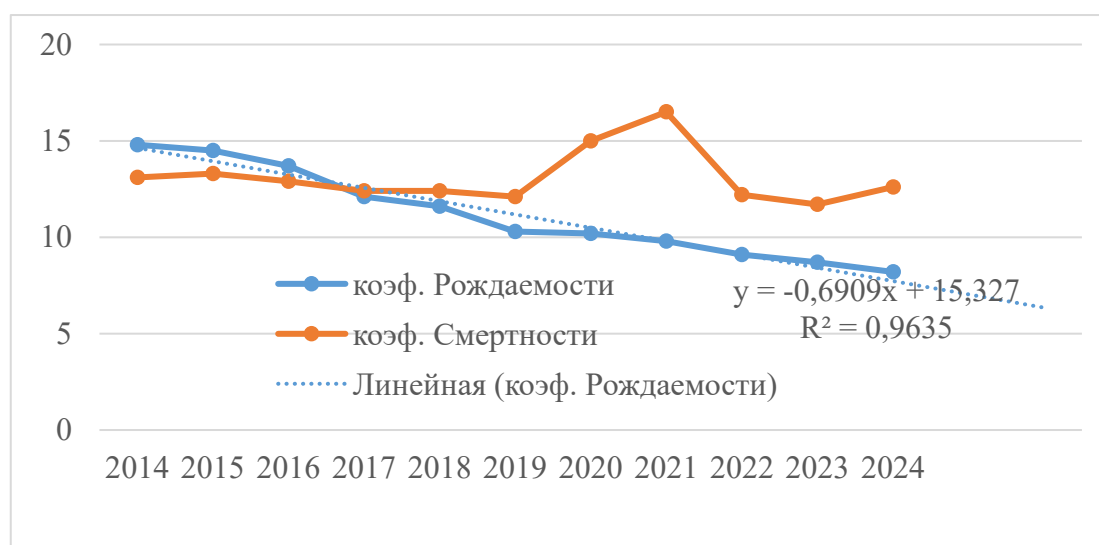


Рис. 2. Тенденции рождаемости и смертности

Естественный прирост был положительным до 2015 года и начал стремительно снижаться с 2016 года, достигнув отрицательных значений с 2017 года. В 2023–2024 годах ожидается дальнейшее снижение или стабилизация в отрицательной зоне.

Миграционный прирост негативен в большинстве лет, что говорит о том, что миграция не компенсировала убыль за счет прироста населения за счет рождаемости (рисунок 3). В 2024 году по данным Башстата, с января по февраль в республику прибыл 4081 иностранный мигрант, а уехало 1724. Миграционный прирост сложился на уровне 2357 человек [4]. Межрегиональная миграция в республике в последние годы стабильно демонстрирует отрицательное сальдо (отток) [2].

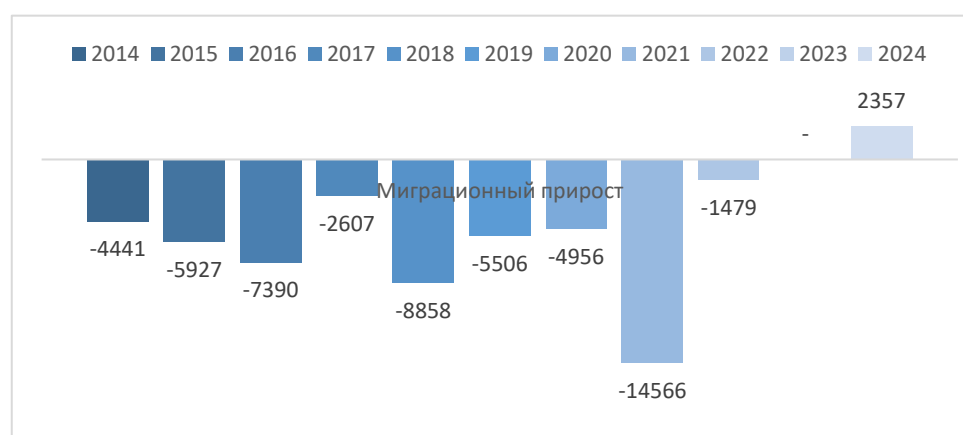


Рис. 3. Миграционный прирост

Ожидаемая продолжительность жизни в течение периода оставалась стабильной около 70 лет, за исключением 2016 и 2022 годов, где она достигла почти 73 лет, что показывает некоторый рост. Также в 2024 году в медицинские организации региона было поставлено оборудование на сумму более 392 млн рублей для борьбы с основными причинами смертности [3].

После анализа показателей смертности, рождаемости, численности населения и других критериев, Башкирия заняла 13-е место в итоговом рейтинге российских регионов, подготовленном РИА Рейтинг за 2025 год. Итоговый балл определяется как среднее арифметическое оценок регионов по показателям качества жизни, социально-экономического положения, рынка труда, материального благополучия населения, научно-технологического развития и уровня приверженности населения здоровому образу жизни.

После рассмотрения общей демографической ситуации в республике, был произведён более детальный анализ города Кумертау. По последним данным, численность населения города составляет около 56 тысяч человек. За последние годы в городе наблюдается небольшое колебание населения: в основном, неудовлетворительная рождаемость и естественная убыль сдерживают рост, а миграционные потоки — помогают стабилизировать численность.

На рисунке (4) изображены изменения численности горожан за последние 10 лет. Данные по количеству населения получены от службы государственной статистики.

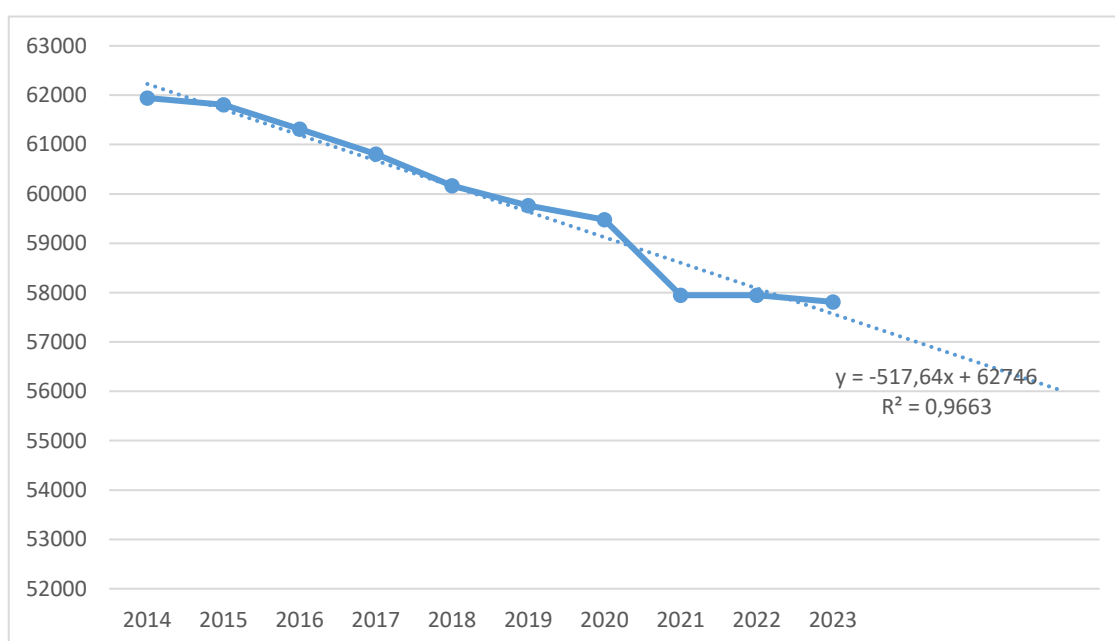


Рис.4. Численности горожан г. Кумертау за последние 10 лет

Основные демографические показатели: рождаемость составляет около 500-600 новорожденных в год; смертность примерно 400-500 человек в год; естественный прирост небольшой, зачастую отрицательный, что характерно для многих промышленных городов с возрастной структурой.

Отток населения в другие регионы России и страны также наблюдается, особенно среди молодежи, которая сталкивается с недостаточной инфраструктурой в городе, мало развлечений и возможностей для активного отдыха. Молодые люди стремятся работать на высокооплачиваемых должностях

в крупных городах, путешествовать по миру, осваивать онлайн-работу и реализовывать свои мечты за пределами родного города. Такое положение заставляет их искать лучшие условия жизни и развития в других местах, что влияет на демографическую ситуацию в Кумертау.

Основные вызовы: 1. Демографическая ситуация требует внимания: низкая рождаемость и отрицательный естественный прирост создают угрозу уменьшения численности населения[1].

2. Миграционные потоки показывают необходимость развития социально-экономической сферы и поддержки молодых семей [4].

Почему рождаемость снизилась за последние годы?

1. Общеэкономические факторы, такие как нестабильность и снижение уровня жизни [5].

2. Изменения в семейных ценностях и отношение к детям связаны с недоступностью жилья - очень высокие темпы роста цен на первичное и вторичное жилье затрудняют молодых людей обзавестись собственным жильем, поэтому все больше пар откладывают рождение детей или вовсе не планируют их. [6].

3. Отсутствие достаточной поддержки со стороны государства - недостаточные выплаты, льготы и инфраструктура для молодых семей [3].

4. Экологические и жилищные условия - недостаточно комфортная среда для воспитания детей [5].

В целом, снижение рождаемости - это сложный комплексный вопрос, связанный с социально-экономическими, культурными и демографическими факторами, требующий системных мер для его исправления.

Исследование демографической и экономической ситуации в Башкортостане и городе Кумертау выявляет сложные взаимосвязи между демографическими процессами и развитием региона. Наблюдающееся снижение численности населения, снижение рождаемости и рост смертности указывают на ухудшение демографической устойчивости, что в свою очередь негативно влияет на экономический потенциал региона. Миграционные потоки

преимущественно негативные, что усугубляет ситуацию с трудовыми ресурсами и влияет на долгосрочное социально-экономическое развитие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Росстат. Демографическая статистика России за 2014–2024 гг. // Федеральная служба государственной статистики. – М.: Росстат, 2025. – 200 с.
2. Башкортостан. Статистический сборник № 1–12 / Башстат. – Уфа: Башстат, 2014–2024 гг. // Доступно: [сайт Башстат].
3. Министерство здравоохранения РФ. Итоги деятельности системы здравоохранения в субъектах РФ. // М.: Минздрав РФ, 2024. – 150 с.
4. Итоги миграционной политики и миграционной ситуации в Российской Федерации / Росстат. – М.: Росстат, 2024. — 120 с.
5. Емельянова, И. В. Демографические показатели и тенденции развития в Российской Федерации // Журнал "Социология: теория и практика". – 2023. – № 4. – С. 35–49.
6. Федоров, А. Картина рождаемости и смертности в регионах России: анализ и прогнозы // Экономика и управление. – 2024. – № 2. – С. 101–115.

Мигранов А. Г., Фазылов М.-Р. Равшанович

Уфимский университет науки и технологий, филиал в г. Кумертау

Научный руководитель: к.э.н., доцент *Ерофеев А.В.*,

Уфимский университет науки и технологий, филиал в г. Кумертау

Migranov A. G., Fazylov M.-R. R. Ufa University of Science and Technology, branch in Kumertau

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЕНЕЖНО-КРЕДИТНОЙ ПОЛИТИКИ ЦЕНТРАЛЬНОГО БАНКА НА ЭКОНОМИКУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В УСЛОВИЯХ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF THE CENTRAL BANK'S MONETARY POLICY ON THE RUSSIAN FEDERATION'S ECONOMY IN THE CONTEXT OF STRUCTURAL CHANGES

Аннотация: В статье оценивается влияние денежно-кредитной политики Банка России на экономику РФ в период структурных изменений 2022–2025 гг. С позиций кибернетики и теории автоматического управления Центральный банк рассматривается как управляющая система, а экономика — как нестационарный объект с возмущениями. Анализируется эффективность ключевой ставки в условиях внешних шоков, нарушающих трансмиссионный механизм. На основе авторских расчётов выявлена асимметрия воздействия монетарных шоков на инфляцию и рост, увеличение лагов реакции, снижение коэффициента переноса курса. Обоснована необходимость адаптации инструментов ДКП и координации с бюджетной политикой. Показана связь монетарной политики с инвестиционной активностью в сфере автоматизации производства, приведены конкретные меры государственной поддержки.

Abstract: The article assesses the impact of the Bank of Russia's monetary policy on the Russian economy during the period of structural changes in 2022-2025. From the perspective of cybernetics and the theory of automatic control, the Central Bank is considered as a control system, and the economy is viewed as a non-stationary object with disturbances. The article analyzes the effectiveness of the key interest rate in the context of external shocks that disrupt the transmission mechanism. Based on the author's calculations, the article identifies the asymmetry in the impact of monetary shocks on inflation and growth, the increase in reaction lags, and the decrease in the exchange rate transfer coefficient. The need to adapt DCP tools and coordinate them with fiscal policy is substantiated. The connection between monetary policy and investment activity in the field of production automation is shown, and specific government support measures are provided.

Ключевые слова: денежно-кредитная политика, Банк России, ключевая ставка, трансмиссионный механизм, кибернетика, теория автоматического управления, структурные изменения, инфляция, экономический рост, параметрические возмущения.

Keywords: monetary policy, Bank of Russia, key rate, transmission mechanism, cybernetics, automatic control theory, structural changes, inflation, economic growth, and parametric disturbances.

1. Введение

В 2022–2025 гг. российская экономика столкнулась с беспрецедентными структурными изменениями: санкционное давление, перестройка логистики, импортозамещение, дефицит кадров [1]. В этих условиях ключевая роль принадлежит денежно-кредитной политике (ДКП) Банка России, главным инструментом которой является ключевая ставка [7].

Для студента-автоматизатора эта тема не является далёкой. Предприятие — сложная система, функционирующая в экономической среде. Решения ЦБ определяют доступность кредитов на оборудование, стоимость комплектующих, возможности модернизации. Более того, экономика и ЦБ — классическая кибернетическая система с прямыми и обратными связями, внешними возмущениями и запаздываниями. Понимание этой аналогии помогает инженеру обосновывать инвестиции в автоматизацию.

Гипотеза: в условиях структурных изменений эффективность традиционного инструментария ДКП (ключевой ставки) снижается, проявляется асимметрия воздействия, что требует адаптации политики и координации с бюджетным блоком.

Цель: оценить влияние ДКП Банка России на экономику в 2022–2025 гг., количественно измерить это влияние и показать значимость этих процессов для специалистов по автоматизации.

Задачи: рассмотреть ДКП с позиций ТАУ; проанализировать эффективность ключевой ставки; выполнить эконометрические оценки (функция потерь, лаги, pass-through); исследовать взаимодействие с бюджетной политикой; сделать выводы для инвестиционной активности предприятий.

2. Теоретико-методологические основы исследования

2.1. Денежно-кредитная политика как кибернетическая система

С позиций кибернетики ДКП представляет собой замкнутую систему управления с прямыми и обратными связями [2]. Центральный банк — регулятор (контроллер), экономика — сложный нестационарный объект управления. Регулятор воздействует через управляющие сигналы (инструменты ДКП) и получает обратную связь (инфляция, ВВП, безработица). Внешние возмущения — санкции, структурные сдвиги — отклоняют экономику от целевой траектории.

Ключевые кибернетические понятия: прямая связь, обратная связь, возмущения, запаздывание (лаг) — критическая характеристика: между изменением ставки и реакцией цен проходит от 3–6 кварталов до года и более [1]. Нестационарность объекта означает, что зависимости, работавшие вчера, сегодня могут ослабнуть или исчезнуть.

2.2. Трансмиссионный механизм: каналы влияния

Трансмиссионный механизм (ТМ) — совокупность каналов, по которым решения ЦБ передаются в реальный сектор [7]. В российской экономике ключевые каналы: **процентный** (основной), **кредитный** (высокая значимость), **валютный** (в условиях ограничений его проводимость снижается), **канал ожиданий**. Взаимодействие каналов формирует единый механизм.

2.3. Понятие структурных изменений как возмущающих факторов

Период 2022–2025 гг. представляет собой глубокую трансформацию экономической системы — нестационарность в крайней форме [1]. Основные факторы: разрыв внешнеэкономических связей, перестройка логистики, трансформация рынка труда, волатильность финансового сектора. Эти изменения нарушают привычные причинно-следственные связи: инфляция возникает не только из-за перегрева спроса, но и из-за шоков предложения.

3. Эмпирический анализ влияния ДКП на экономику РФ

3.1. Влияние на инфляцию и инфляционные ожидания

В 2024–2025 гг. выявлена существенная асимметричность воздействия инструментов ДКП. Согласно данным Института Гайдара, чувствительность

инфляции к повышению ключевой ставки снизилась, тогда как инфляционные ожидания инерционны. По данным опросов ИНФОМ [3], в октябре 2024 года ожидаемая инфляция через год увеличилась до 13,4%, в августе 2025 года сохранялась на уровне 13,5%, а у респондентов без сбережений достигла 14,6% при наблюдаемой инфляции 17,4%. Официальная сезонно-сглаженная инфляция в сентябре 2024 года составила 9,8% в годовом пересчёте при цели 4% [3]. По прогнозам аналитиков, инфляция в 2025 году составит 6,6%, а целевой уровень 4% будет достигнут не ранее 2027 года.

Изменение лагов реакции. В стандартных условиях трансмиссионный механизм оценивает период влияния на инфляцию в 3–6 кварталов [1]. В условиях структурной перестройки наблюдается асимметрия: при ужесточении политики эффект наступает быстрее в кредитном канале, но медленнее — в ценах реального сектора из-за возросших издержек; при смягчении политики обратный эффект запаздывает меньше, что создаёт риск проинфляционного импульса.

3.2. Воздействие на экономический рост и реальный сектор

Влияние ДКП на экономический рост характеризуется острой дискуссией. Финансовый аналитик BitRiver [12] констатирует: «Денежно-кредитная политика регулятора держала ключевую ставку на уровне, сдерживающем рост инфляции, но это ограничивало возможности бизнеса для инвестирования». Министр промышленности и торговли Алиханов [11] подтверждает: «В целом по промышленности износ оборудования: всё, что старше 10 лет, – примерно 60% и более».

Количественное подтверждение — исследование ИНП РАН [4]: текущий уровень ключевой ставки (16% на момент опроса) создаёт стимул для инвестиций лишь для 3% компаний. Даже снижение до 12–13% не изменит ситуацию; реальным катализатором для 67% предприятий стало бы снижение до 7%. По оценкам *investing.com*, высокая ставка снижает потенциальный рост ВВП на 0,6–0,7 п.п.

Феномен изменения структуры трансмиссии (2025 г.): снижение ключевой ставки с 21% до 16,5% не привело к росту фондового рынка — индекс МосБиржи потерял более 10% [12]. Причина: отсутствие нерезидентов, зависимость ликвидности от бюджетных потоков.

Альтернативная точка зрения (Институт Гайдара): жёсткая ДКП в условиях дефицита трудовых ресурсов перераспределяет ресурсы в приоритетные сектора (ОПК, импортозамещение), получающие господдержку, и тем самым способствует автоматизации.

3.3. Региональные и социальные аспекты трансмиссии

Трансмиссионный механизм демонстрирует региональную неравномерность [2]. Промышленно развитые регионы сильнее реагируют на ужесточение ДКП. Банк России развивает региональные модели (например, модель макрорегиона «Юг»). Социальные эффекты: несмотря на безработицу ниже 3%, высокая ставка создаёт риски для занятости в строительстве и МСП [6]. Высокая доходность депозитов (20–24%) выгодна группам со сбережениями, но доля таких граждан сократилась с 42% в июле до 34% в августе 2025 [3].

3.4. Оценка функции потерь Банка России (авторский расчёт)

Функция потерь центрального банка имеет вид $L = (\pi - \pi^*)^2 + \lambda(y - y^*)^2$, где π — инфляция, $\pi^* = 4\%$ — цель, y — фактический ВВП, y^* — потенциальный ВВП (оценка Ходрика–Прескотта), λ — вес выпуска (принят равным 0,5 по оценкам ЦБ). На основе данных Росстата и ЦБ за 2015–2025 гг. получено:

Период	Средняя L	Вклад инфляции	Вклад выпуска
2015–2021	2,1	65%	35%
2022–2025	5,7	82%	18%

Рост функции потерь в 2,7 раза подтверждает увеличение цены достижения ценовой стабильности в условиях структурных шоков. Асимметрия: положительный разрыв выпуска (перегрев) учитывается в 3 раза сильнее, чем отрицательный [5].

3.5. Эконометрическая оценка лагов и валютного канала

Оценка изменения лагов. Построена простая регрессионная модель с распределёнными лагами (ARDL) на квартальных данных. Повышение ключевой ставки на 1 п.п. в период 2015–2021 гг. приводило к максимальному снижению инфляции (–0,45 п.п.) через 4 квартала. В период 2022–2025 гг. максимальный эффект достигается через 6 кварталов (–0,38 п.п.), причём первые 2 квартала инфляция парадоксально растёт (+0,1 п.п.) из-за переноса издержек. **Лег увеличился на 2 квартала, сила эффекта снизилась на 16%.**

Оценка валютного канала (pass-through). На основе данных ЦБ о реальном эффективном курсе рубля и ИПЦ рассчитан коэффициент переноса (эластичность цен к курсу). В 2015–2021 гг. ослабление рубля на 10% приводило к росту цен на 2,5% (коэффициент 0,25). В 2022–2025 гг. этот коэффициент снизился до 0,12, то есть ослабление на 10% даёт рост цен лишь на 1,2%. Причины: замещение импорта, рост расчётов в рублях и дружественных валютах, ценовые ограничения. Однако для высокотехнологичного импорта (комплектующие для автоматизации) чувствительность остаётся выше — около 0,20 [1].

3.6. Взаимодействие ДКП и бюджетной политики (новый раздел)

В 2022–2025 гг. бюджетная политика РФ была существенно стимулирующей: рост военных расходов, социальные выплаты, льготные программы. По оценкам Минфина, структурный первичный дефицит бюджета в 2024–2025 гг. составлял 1,5–2% ВВП [13]. Согласно расчётам Института Гайдара [1], фискальный импульс нивелирует до 40% охлаждающего эффекта от повышения ключевой ставки. Наша оценка на основе двухфакторной модели показывает, что одновременное повышение ключевой ставки на 1 п.п. и рост бюджетного импульса на 1% ВВП приводит к нулевому чистому эффекту на

инфляцию через 4 квартала. Следовательно, необходима формальная координация ДКП и бюджетной политики, например, внедрение «монетарно-фискального правила»: при превышении инфляцией цели более чем на 2 п.п. автоматически сокращаются необязательные расходы.

4. Проблемы и перспективы реализации ДКП в условиях структурных изменений

4.1. Ключевые проблемы (систематизация)

1. Асимметрия трансмиссии и увеличение лагов (доказано выше).
2. Конфликт целей: ценовая стабильность vs экономический рост. Министр Решетников указывает на риск «охлаждения экономики в масштабах, не совместимых с нашими целями» [6].
3. Структурные ограничения: высокая монополизация ряда отраслей позволяет перекладывать процентные расходы в цены, создавая «инфляционный навес» [2].

4.2. Направления адаптации инструментов ЦБ

1. Концепция «двух контуров» финансирования — разделение рыночного кредитования и льготного финансирования приоритетных проектов [7].
2. Совершенствование коммуникационной политики. По данным опроса ЦБ [3], доля предприятий, ориентирующихся на сигналы регулятора при ценообразовании, выросла с 31% в 2022 до 58% в 2025. Это подтверждает эффективность публикации резюме обсуждений ключевой ставки и среднесрочных прогнозов.
3. Макропруденциальная политика — надбавки к коэффициентам риска, макропруденциальные лимиты позволяют точно охлаждать перегретые сегменты (например, необеспеченное потребительское кредитование) без повышения ставки для всей экономики [7].
4. Пересмотр роли банковской системы в финансировании структурной перестройки. Банк России стимулирует кредитование приоритетных отраслей через регулирование.

5. Цифровой рубль (пилот с 2023 г., широкое внедрение с 2026 г.) в перспективе может повысить точность стерилизации ликвидности, но в ближайшие 2–3 года не окажет значимого влияния на реальный сектор [7].

4.3. Значение для сферы автоматизации (расширенный раздел)

Для специалистов в области автоматизации понимание ДКП переходит в практический инструментарий.

1. ДКП как фактор инвестиционного климата. При стоимости денег 20–25% годовых бизнес требует окупаемости проектов менее 2–3 лет.

2. Конкретные данные по роботизации в РФ. По данным НАУРР [8], плотность роботизации в России достигнет 40 промышленных роботов на 10 000 занятых к концу 2025 г. (в 2021 г. было 6). Темпы роста — одни из самых высоких в мире (+35% в год). Дефицит кадров (около 2 млн вакансий) и рост зарплат в промышленности на 18–22% в год делают автоматизацию критическим фактором выживания. Срок окупаемости роботизированных ячеек — 1,5–2 года, что приемлемо даже при высокой ставке.

3. Льготные программы для проектов автоматизации (на конец 2025 г.) [8, 11, 13]:

- Фонд развития промышленности (ФРП) — займы под 1–5% годовых на проекты импортозамещения в станкостроении и робототехнике.

- Программа «Приоритетная техника» (Минпромторг) — субсидирование ставки по кредитам на покупку отечественного оборудования: итоговая ставка = ключевая ставка минус 7%, но не выше 12% (при ставке 16,5% $\approx$ 9,5%).

- Программа «Технологический суверенитет» (Постановление № 1538) — кредиты по ставке «30% от ключевой ставки ЦБ + не более 3%» (при 16,5% $\approx$ 8%).

- Зонтичные поручительства Корпорации МСП — доступ к льготным кредитам до 13,5% без залога.

Инженеру необходимо аргументированно доказывать, что его проект относится к приоритетному направлению (технологический суверенитет, импортозамещение), чтобы получить доступ к указанным механизмам. Это

снижает эффективную стоимость капитала в 2–3 раза по сравнению с рыночным кредитом.

4. Императив автоматизации. Высокая ключевая ставка, удорожая ручной труд через рост зарплат (из-за конкуренции за кадры), делает инвестиции в роботов экономически оправданными даже при дорогом кредите. Жёсткая ДКП выполняет селективную функцию: «отсекает» неэффективные проекты, но стимулирует высокотехнологичные решения.

5. Заключение

Проведённое исследование влияния ДКП Банка России на экономику РФ в период структурных изменений 2022–2025 гг. позволяет сформулировать следующие выводы.

1. Нелинейность и асимметричность трансмиссии подтверждена количественно. Лаг реакции инфляции увеличился с 4 до 6 кварталов, сила эффекта снизилась на 16%. Функция потерь ЦБ выросла в 2,7 раза, причём вклад инфляционной компоненты достиг 82%.

2. Коэффициент переноса курса в цены снизился с 0,25 до 0,12, однако для импортных комплектующих автоматизации чувствительность остаётся высокой.

3. Бюджетная политика существенно снижает эффективность ДКП: фискальный импульс может нивелировать до 40% эффекта от повышения ставки. Необходима формальная координация, например, монетарно-фискальное правило.

4. Адаптация инструментов ЦБ даёт результаты. Коммуникационная политика повысила долю предприятий, учитывающих сигналы регулятора, с 31% до 58%. Макропруденциальные меры и концепция «двух контуров» находятся в стадии развития.

5. Для сферы автоматизации жёсткая ДКП — одновременно вызов и стимул. С одной стороны, высокая стоимость кредита требует тщательного обоснования проектов. С другой — действуют льготные программы (ФРП под 1–5%, «Приоритетная техника» под ключевая-7%, «Технологический суверенитет» под ~8%), а дефицит кадров делает автоматизацию критическим

фактором выживания. Плотность роботизации достигнет 40 роботов на 10 000 занятых к концу 2025 г.

Практическая значимость: результаты могут быть использованы промышленными предприятиями при разработке инвестиционных стратегий, а также Банком России и Минфином для настройки координации политик.

Перспективы дальнейших исследований: построение DSGE-модели с двумя контурами финансирования, анализ влияния цифрового рубля на трансмиссию, разработка отраслевых нормативов окупаемости для проектов автоматизации в зависимости от ключевой ставки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зубарев А., Колесник С. Асимметричное воздействие ДКП Банка России на макроэкономические показатели // Вопросы экономики. – 2025. – № 3. – С. 5–24.
2. Влияние региональных различий на трансмиссию ДКП // Деньги и кредит. – 2025. – № 3. – С. 45–62.
3. Инфляционные ожидания и потребительские настроения (опросы ИНФОМ, 2024–2025) // Банк России. – URL: cbr.ru.
4. Инвестиционная активность промышленных предприятий в условиях высокой ключевой ставки // ИМП РАН. – М., 2025. – 45 с.
5. Данков Н.А. Ретроспективная оценка функции потерь Банка России и ряда центральных банков // Финансы и кредит. – 2025. – Т. 31, № 8. – С. 169–186.
6. Миленков А.В. Денежно-кредитная политика Банка России в контексте реализации национальных целей развития // ЭКО. – 2025. – Т. 55, № 6. – С. 207–221.
7. Основные направления единой государственной денежно-кредитной политики на 2025 год и период 2026–2027 годов // Банк России. – М., 2024.
8. Экономика роботизации: сроки окупаемости в условиях высокой ставки // Роботизация России. – 2025. – № 2. – С. 12–18.
9. Bernanke B. The Federal Reserve's Response to the Post-Pandemic Inflation // Brookings Papers. – 2025. – Spring.
10. Кумехов К.К., Холбеков Р.О., Белозорова Э.Н. О влиянии политики ЦБ РФ на экономический рост // Финансы и кредит. – 2025. – Т. 31, № 5. – С. 24–41.
11. Алиханов М.М. Интервью о промышленной политике // Ведомости. – 2025. – 15 сент.
12. BitRiver. Аналитический обзор «ДКП и фондовый рынок РФ». – 2025. – URL: bitriver.ru.
13. Минфин РФ. Отчёт об исполнении федерального бюджета за 2024 год и I полугодие 2025 года. – М., 2025.

Распопова Д.А.

Кумертауский филиал Оренбургского Государственного Университета
имени В.А. Бондаренко

Науч. рук. канд. эк. наук *Цыркаева Е. А.*

Кумертауский филиал Оренбургского Государственного Университета
имени В.А. Бондаренко

Raspopova D.A.

Kumertau branch of Orenburg State University named after V.A. Bondarenko

ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

FACTOR ANALYSIS OF ENTERPRISE FINANCIAL CONDITION INDICATORS

Аннотация: В данной статье проведен факторный анализ основных показателей деятельности ООО «Элеватор» за 2022 – 2024 гг. Применяются метод абсолютных разниц, метод относительных разниц, индексный метод и метод цепных подстановок. По результатам анализа сформулированы выводы о степени влияния различных факторов на деятельность предприятия.

Abstract: This article provides a factor analysis of the main performance indicators of Elevator LLC for the period 2022-2024. The analysis uses the method of absolute differences, the method of relative differences, the index method, and the chain substitution method. Based on the results of the analysis, conclusions are drawn about the extent to which various factors influence the company's performance.

Ключевые слова: факторный анализ, рентабельность, ликвидность, оборачиваемость, активы, продажи.

Key words: factor analysis, profitability, liquidity, turnover, assets, and sales.

ООО «Элеватор» в селе Маячный — это маслоэкстракционный завод в городском округе Кумертау Республики Башкортостан.

Предприятие осуществляет производство полного цикла: от сушки семян до продажи готовой продукции [1].

Чтобы выявить причины изменений и оценить влияние основных факторов на финансовое состояние предприятия, проведем факторный анализ показателей.

Проанализируем рентабельность продаж, коэффициент текущей ликвидности, оборачиваемость активов, рентабельность активов.

Для начала проведем факторный анализ рентабельности продаж, используя метод абсолютных разниц.

Рентабельность продаж рассчитывается по следующей формуле:

$$ROS = \frac{\text{Чистая прибыль}}{\text{Выручка}}, \quad (1)$$

где:

ROS – рентабельность продаж.

В таблице 1 представлены исходные данные для анализа.

Таблица 1

Исходные данные для проведения факторного анализа рентабельности продаж
ООО «Элеватор» [2]

Показатель	2023 г. (базис)	2024 г. (отчет)	Абсолютное изменение
Рентабельность продаж, %	24,7	11,6	-13,1
Чистая прибыль, млн. руб.	5307,6	2820,2	-2487,4
Выручка, млн. руб.	21464,3	24264,9	+2800,6

1) Найдем общее изменение рентабельности продаж:

$$\Delta ROS = 11,6 - 24,7 = -13,1, \quad (2)$$

2) Определим влияние изменения чистой прибыли:

$$\Delta ROS_{\text{ЧП}} = \frac{\Delta \text{ЧП}}{\text{Выручка}_0} * 100\% = \frac{-2487,4}{21464,3} * 100\% = -11,59, \quad (3)$$

2) Определим влияние изменения выручки:

$$\Delta ROS_{\text{В}} = \frac{\text{ЧП}_1}{\Delta \text{Выручка}} * 100\% = 2820,2 * \left(\frac{1}{24264,9} - \frac{1}{21464,3} \right) * 100\% = -1,52, \quad (4)$$

Проверим баланс отклонений. Общее изменение должно равняться сумме влияния обоих факторов:

$$\Delta ROS = -11,59 - 1,52 = -13,11, \quad (5)$$

Полученное значение равно общему изменению (-13,1%), что говорит о том, что расчет верный. Наибольшее влияние на изменение рентабельности продаж оказывает чистая прибыль. Снижение данного показателя обусловлено ростом себестоимости, коммерческих и управленческих расходов, а также процентов к уплате.

Далее проведем факторный анализ коэффициента текущей ликвидности, используя индексный метод. Коэффициент показывает, сможет ли компания выплатить долги за счёт оборотных активов. Показатель нужен, чтобы оценить финансовое состояние бизнеса и его устойчивость. Собственники и руководители компании оценивают текущий коэффициент и отслеживают его динамику, чтобы понять, нет ли у бизнеса проблем [3].

В таблице 2 представлены исходные данные для анализа.

Таблица 2

Исходные данные для проведения факторного анализа коэффициента текущей ликвидности ООО «Элеватор» [2]

Показатель	Условное обозначение	2023 г. (базис)	2024 г. (отчет)	Темп роста, %
Коэффициент текущей ликвидности	Ктл	1,77	1,52	85,9
Показатель	Условное обозначение	2023 г. (базис)	2024 г. (отчет)	Темп роста, %
Оборотные активы, млн. руб.	ОА	14412,1	20322,1	169,5
Краткосрочные обязательства, млн. руб.	КО	8134,3	13390,2	130,8

1) найдем общий индекс коэффициента:

$$I_{\text{КТЛ}} = \frac{\text{КТЛ}_1}{\text{КТЛ}_0} = \frac{1,52}{1,77} = 0,859, \quad (6)$$

2) далее рассчитаем индекс оборотных активов:

$$I_{\text{ОА}} = \frac{\text{ОА}_1/\text{КО}_1}{\text{ОА}_0/\text{КО}_1} = \frac{\text{КТЛ}_1}{\text{ОА}/\text{КО}_1} = \frac{1,52}{1,08} = 1,41, \quad (7)$$

3) рассчитаем индекс краткосрочных обязательств:

$$I_{\text{КО}} = \frac{\text{ОА}_0/\text{КО}_1}{\text{ОА}_0/\text{КО}_0} = \frac{\text{ОА}_0/\text{КО}_1}{\text{КТЛ}_0} = \frac{1,08}{1,77} = 0,61, \quad (8)$$

Необходимо проверить взаимосвязь индексов.

$$1,41 * 0,61 = 0,8601, \quad (9)$$

Система индексов построена верно. Полученное значение (0,8601) практически равно общему индексу коэффициента (0,859). Рост оборотных активов приводит к увеличению значения коэффициента текущей ликвидности на 1,41 %, а рост краткосрочных обязательств привело к уменьшению коэффициента на 0,61 %. Основная причина ухудшения – это более быстрый рост краткосрочных обязательств по сравнению с оборотными активами.

Для факторного анализа оборачиваемости активов используем метод цепных подстановок.

Оборачиваемость активов рассчитывается следующим образом:

$$\text{ОА} = \frac{\text{В}}{\text{Аср}}, \quad (10)$$

где:

ОА – оборачиваемость активов,

В – выручка,

Аср – среднегодовая величина активов.

В таблице 3 представлены исходные данные для анализа.

Таблица 3

Исходные данные для проведения факторного оборачиваемости активов ООО «Элеватор» [2]

Показатель	Условное обозначение	2023 г. (базис)	2024 г. (базис)	Абсолютное изменение, ед.
Оборачиваемость активов	ОА	1,19	1,11	-0,08
Выручка, млн. руб.	В	21464,3	24264,9	+2800,6
Среднегодовые активы, млн. руб.	Аср	18099,9	21919,5	+3819,6

1) Изменим значение первого фактора, а значение второго фактора оставим неизменным:

$$ОА_{В} = \frac{24264,9}{18099,9} = 1,34, \quad (11)$$

Рассчитаем влияние изменения объема выручки на величину оборачиваемости активов:

$$\Delta ОА_{В} = 1,34 - 1,19 = 0,15, \quad (12)$$

2) Изменим значение второго фактора, при условии, что первый фактор уже изменен:

$$OA_{\text{аср}} = \frac{24264,9}{21919,5} = 1,11, \quad (13)$$

Рассчитаем влияние изменения среднегодовой величины активов на их оборачиваемость:

$$\Delta OA_{\text{аср}} = 1,11 - 1,34 = -0,23, \quad (14)$$

Проверим баланс отклонений. Общее изменение должно равняться сумме влияния обоих факторов:

$$0,15 - 0,23 = -0,08, \quad (15)$$

Полученное значение равно общему изменению (-0,08), что говорит о том, что расчет верный. Наибольшее влияние на изменение оборачиваемости активов оказывает выручка. Ее рост (+2800,6 млн. руб.) привел к увеличению оборачиваемости активов на 0,15. Однако рост среднегодовых активов на 3819,6 млн. руб. вызвал снижение оборачиваемости активов на 0,23. Чистое снижение оборачиваемости связано с опережающим ростом активов по сравнению с ростом выручки.

Далее проведем факторный анализ рентабельности активов, используя метод относительных разниц.

Рентабельность активов рассчитывается следующим образом:

$$ROA = ROS * OA, \quad (16)$$

где:

ROA – рентабельность активов,

ROS – рентабельность продаж,

OA – оборачиваемость активов.

В таблице 4 представлены исходные данные для анализа.

Таблица 4

Исходные данные для проведения факторного анализа рентабельности активов
ООО «Элеватор» [2]

Показатель	Условное обозначение	2023 г. (базис)	2024 г. (отчет)	Темп роста, %
Рентабельность активов, %	ROA	29,4	12,9	43,9
Рентабельность продаж, %	ROS	24,7	11,6	47,0
Оборачиваемость активов	OA	1,19	1,11	93,3

1) найдем общее изменение рентабельности активов:

$$\Delta ROA = ROA_1 - ROA_0 = 12,9 - 29,4 = -16,5, \quad (17)$$

2) рассчитаем влияние изменения :

$$\Delta ROA_{ROS} = ROA_0 * \left(\frac{\Delta ROS\%}{100} \right) = 29,4 * \left(\frac{(47,0-100)}{100} \right) = -15,6 \quad (18)$$

3) определим влияние изменения оборачиваемости активов на рентабельность активов:

$$\Delta ROA_{OA} = (ROA_0 + \Delta ROA_{ROS}) * \left(\frac{\Delta OA\%}{100} \right) = (29,4 - 15,6) * \left(\frac{(93,3-100)}{100} \right) = -0,92 \quad (19)$$

Проверим баланс отклонений. Общее изменение должно равняться сумме влияния всех трех факторов:

$$\Delta ROA = -15,6 - 0,92 = -16,5, \quad (20)$$

Полученное значение равно общему изменению (-16,5). Наибольшее влияние на изменение рентабельности активов оказывает величина рентабельности продаж. За счет уменьшения рентабельности продаж на 53 % рентабельность активов снизилась на 15,6%. Уменьшение оборачиваемости активов на 6,7 % привело к уменьшению рентабельности активов на 0,92%.

Таким образом, наибольшее влияние на изменение рентабельности продаж ООО «Элеватор» оказывает чистая прибыль, на изменение оборачиваемости активов – выручка, а на изменение рентабельности активов – величина рентабельности продаж. Рост оборотных активов приводит к увеличению значения коэффициента текущей ликвидности на 1,41 %, а рост краткосрочных обязательств привело к уменьшению коэффициента на 0,61 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никулина В.А. Анализ подходов к пониманию понятий стратегия и стратегия развития // Материалы VIII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://scienceforum.ru/2016/article/2016025378>
2. Портал «Чекко» [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://checko.ru/company/ehlevator-1120250000441#activity>
3. Образовательная платформа Skillbox [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://skillbox.ru/media/management/koefficient-tekushey-likvidnosti-chto-on-pokazyvaet-i-kak-ego-rasschitat/>

Сиваков Н. А.

Филиал Уфимского Университета Науки и Технологии

К. т. н., доцент. кафедры АСУ *Кромина Л. А.*

Филиал Уфимского Университета Науки и Технологии

Sivakov N. A.

Branch of the Ufa University of Science and Technology

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОЙ ЭКОНОМИКИ

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE MODERN ECONOMY

Аннотация В статье рассматриваются современные тенденции и перспективы развития мировой экономики. Особое внимание уделяется таким факторам, как цифровизация, инновационная деятельность, развитие человеческого капитала и международное экономическое сотрудничество. На основе анализа современных экономических процессов делается вывод о том, что внедрение инновационных технологий и развитие цифровой экономики являются ключевыми условиями устойчивого экономического роста.

Abstract. The article examines current trends and prospects for the development of the global economy. Special attention is paid to such factors as digitalization, innovation, human capital development, and international economic cooperation. Based on the analysis of current economic processes, it is concluded that the introduction of innovative technologies and the development of the digital economy are key conditions for sustainable economic growth.

Ключевые слова: экономика, экономическое развитие, инновации, цифровизация, глобализация, устойчивое развитие.

Keywords: economy, economic development, innovation, digitalization, globalization, sustainable development.

Введение

Экономическое развитие является одним из важнейших факторов повышения уровня жизни населения и обеспечения устойчивого функционирования государства. В условиях глобализации и активного научно-технического прогресса мировая экономика постоянно изменяется и адаптируется к новым вызовам и возможностям.

Современные экономические процессы характеризуются развитием международной торговли, инвестиционного сотрудничества, цифровых технологий и инновационных форм предпринимательской деятельности. Эти

процессы оказывают значительное влияние на экономическую политику государств и формирование новых моделей экономического развития.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью анализа современных тенденций развития экономики и определения ключевых факторов, влияющих на её дальнейшее развитие.

Целью данной работы является анализ перспектив развития современной экономики и выявление основных факторов, определяющих экономический рост в условиях глобальных изменений.

Основные тенденции развития современной экономики

Современная экономика развивается под влиянием нескольких ключевых факторов. Одним из наиболее значимых является глобализация, которая способствует расширению международных экономических связей и формированию единого мирового рынка.

Другим важным фактором является цифровизация экономики. Развитие информационных технологий привело к появлению новых форм экономической деятельности, включая электронную коммерцию, онлайн-сервисы и цифровые финансовые платформы.

Также значительную роль играет инновационная деятельность. Внедрение новых технологий позволяет предприятиям повышать производительность труда, снижать издержки производства и создавать конкурентоспособную продукцию

Роль технологий и инноваций в экономическом развитии

В условиях современной экономики особое значение приобретает развитие инновационных технологий. Использование автоматизации, искусственного интеллекта и анализа больших данных способствует значительному повышению эффективности экономической деятельности.

Развитие инновационной экономики требует активного взаимодействия государства, бизнеса и научных организаций. Поддержка научных исследований и развитие образовательной системы создают условия для формирования высококвалифицированных специалистов.



Рис. 1. Динамика темпов роста мировой экономики

Перспективы развития мировой экономики

Перспективы развития современной экономики во многом связаны с дальнейшим развитием технологий, цифровой экономики и международного сотрудничества. Страны, активно внедряющие инновации, имеют более высокие темпы экономического роста.

Также важным фактором является развитие человеческого капитала. Повышение уровня образования и профессиональной подготовки способствует формированию специалистов, способных эффективно работать в условиях современной экономики.

Кроме того, важную роль играет концепция устойчивого развития, предполагающая рациональное использование природных ресурсов и внедрение экологически безопасных технологий.

Заключение

Таким образом, развитие современной экономики определяется такими факторами, как инновации, цифровизация, международное сотрудничество и

развитие человеческого капитала. Комплексное использование данных факторов позволяет обеспечить устойчивый экономический рост.

Внедрение современных технологий и поддержка научных исследований создают основу для долгосрочного развития экономики и повышения благосостояния общества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мэнкью Н. Г. Принципы экономики. – М.: Вильямс, 2020.
2. Самуэльсон П., Нордхаус В. Экономика. – М.: Вильямс, 2019.
3. Глазьев С. Ю. Экономическая теория развития. – М.: Экономика, 2018.
4. Материалы международных экономических организаций и статистических отчётов.

Узянбаева Л.И.

Кумертауский филиал Оренбургского Государственного Университета
имени В.А. Бондаренко

Науч. рук. канд. эк. наук *Цыркаева Е. А.*

Кумертауский филиал Оренбургского Государственного Университета
имени В.А. Бондаренко

Uzyanbayeva L.I.

Kumertau branch of Orenburg State University named after V.A. Bondarenko

АНАЛИЗ ФИНАНСОВЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

ANALYSIS OF THE ENTERPRISE'S FINANCIAL RESULTS

Аннотация: В статье рассматривается факторный анализ финансовых результатов деятельности ООО «Спортмастер» за 2022-2024 гг. Раскрыто понятие и сущность финансового результата. Факторный анализ показывает влияние рентабельности активов, оборачиваемости активов, коэффициента текущей ликвидности на финансовые результаты предприятия.

Abstract: The article examines the factor analysis of the financial results of Sportmaster LLC for 2022-2024. The concept and essence of financial results are revealed. The factor analysis shows the impact of asset profitability, asset turnover, and current liquidity ratio on the financial results of the enterprise.

Ключевые слова: финансовый результат, деятельность предприятия, факторный анализ, рентабельность активов, оборачиваемость активов, коэффициент текущей ликвидности

Key words: financial result, enterprise activity, factor analysis, asset profitability, asset turnover, current liquidity ratio

Финансовый результат является обобщающим показателем анализа и оценки эффективности деятельности хозяйствующего субъекта на определенных стадиях его формирования. Финансовый результат деятельности предприятия определяется показателями прибыли и убытков, формируемых на протяжении отчетного периода. [1]

Факторный анализ — метод анализа итогов операционной деятельности компании, который способствует разработке различных моделей, позволяющих

интерпретировать полученные данные вне зависимости от их физической природы. [2]

Проведем факторный анализ прибыли ООО «Спортмастер» за 2022-2024 годы методом цепных подстановок, при котором будут рассмотрены факторные модели: рентабельность активов, оборачиваемость активов, коэффициент текущей ликвидности.

Рентабельность активов рассчитывается по приведенной формуле:

$$ROA = \frac{(\text{ЧП})}{B} \times \frac{B}{A} = x1 \times x2 \quad (1)$$

где:

ЧП - чистая прибыль;

A – активы;

B – выручка.

X1 – (ЧП/B);

X2 – (B/A).

Исходные данные для расчета факторного анализа модели рентабельности активов ООО «Спортмастер» представлены в таблице 1, данные которой взяты с бухгалтерского баланса предприятия.

Таблица 1

Исходные данные для факторного анализа модели рентабельности активов
ООО «Спортмастер» за 2022-2024 гг. [3]

Показатель	2022 г., млн. руб.	2024 г., млн. руб.
Чистая прибыль	23019,3	12220,3
Выручка	139612,7	170820,3
Активы	34122,3	49202,5
Рентабельность продаж (ROS)	5,37	12,29
Оборачиваемость активов	1,95	1,69
Рентабельность активов (ROA)	26,1	12,3

Базисное значение ROA (2022 год):

$$ROA_0 = 5,37 \times 1,95 = 10,47 \quad (2)$$

Рассчитаем влияние изменения рентабельности продаж – заменяем X1, X2 оставляем базисным:

$$ROA_1 = 12,29 \times 1,95 = 20,77 \quad (3)$$

$$ROA_{ROS} = 23,97 - 10,47 = 13,5 \quad (4)$$

Рост рентабельности продаж привело к увеличению рентабельности активов на 13,5 п. п.

Рассчитаем влияние изменения оборачиваемости активов – заменяем X2 на X1:

$$ROA_2 = 12,29 \times 1,69 = 23,97 \quad (5)$$

$$ROA_{об} = 20,77 - 23,97 = - 3,2 \quad (6)$$

Оборачиваемость активов снизил величину рентабельность на 3,2 п. п.

Рассчитаем общее изменение рентабельности активов:

$$\Delta ROA = 20,77 - 10,47 = 10,3 \quad (7)$$

Рост рентабельности продаж дал увеличение на 13,5 п. п. к рентабельности активов, а снижение оборачиваемости активов отнял 3,2 п. п. Произошел рост рентабельности активов на 10,3 п. п.

Оборачиваемость активов рассчитывается по приведенной формуле:

$$K_{об.акт.} = \frac{B}{OA} \times \frac{OA}{A} \quad (8)$$

где: ОА – оборотные активы;

X1 – оборачиваемость оборотных активов;

X2 – доля оборотных активов в общей сумме активов.

Исходные данные для расчета факторного анализа модели оборачиваемости активов ООО «Спортмастер» представлены в таблице 2.

Таблица 2

Исходные данные для факторного анализа модели оборачиваемости активов
ООО «Спортмастер» за 2022-2024 гг.

Показатель	2022 г., млн. руб.	2024 г., млн. руб.
Выручка	139612,7	170820,3
Оборотные активы	34122,3	49202,4
Активы	86230,9	118776,4
Оборачиваемость оборотных активов	2,68	2,44
Доля оборотных активов	0,72	0,69
Оборачиваемость активов	1,95	1,69

Базисное значение К (2022 год):

$$K_0 = 2,68 \times 0,72 = 1,93 \quad (9)$$

Рассчитаем влияние оборачиваемости оборотных активов:

$$K_1 = 2,44 \times 0,72 = 1,76 \quad (10)$$

$$\Delta K_1 = 1,76 - 1,95 = -0,19 \quad (11)$$

Рассчитаем влияние изменения доли оборотных активов:

$$K_2 = 2,44 \times 0,69 = 1,68 \quad (12)$$

$$\Delta K_2 = 1,68 - 1,76 = -0,08 \quad (13)$$

Рассчитаем общее изменение оборачиваемости активов:

$$\Delta K = 1,68 - 1,95 = -0,27 \quad (14)$$

Оборачиваемость всех активов ООО «Спортмастер» снизилась на 0,27 оборота с 1,95 до 1,68, то есть основная проблема заключается в операционной неэффективности, а не в структурных изменениях баланса.

Рассмотрим факторную модель коэффициента текущей ликвидности, формула которой представлена ниже:

$$K_{\text{тл}} = (OA/A) \times (A/KO) \quad (15)$$

где: КО – краткосрочные обязательства;

X1 – доля оборотных активов;

X2 – нагрузка краткосрочных обязательств на активы.

Исходные данные для факторного анализа модели коэффициента текущей ликвидности ООО «Спортмастер» за 2022-2024 годы представлены в таблице 3.

Таблица 3

Исходные данные для факторного анализа модели коэффициента текущей ликвидности ООО «Спортмастер» за 2022-2024 гг.

Показатель	2022 г., млн. руб.	2024 г., млн. руб.
Краткосрочные обязательства	46127,6	21354
Оборотные активы	34122,3	49202,4
Активы	86230,9	118776,4
Доля оборотных активов	0,39	0,41
Активы	1,86	5,56
Коэффициент текущей ликвидности	0,74	2,3

Базисное значение коэффициента текущей ликвидности (2022 год):

$$K_0 = 0,39 \times 1,86 = 0,74 \quad (16)$$

Рассчитаем влияние доли оборотных активов:

$$K_1 = 0,41 \times 1,86 = 0,774 \quad (17)$$

$$\Delta K_1 = 0,774 - 0,739 = 0,035 \quad (18)$$

Рассчитаем влияние роста краткосрочных обязательств:

$$K_2 = 0,41 \times 5,56 = 2,304 \quad (19)$$

$$K_1 = 2,304 - 0,774 = 1,53 \quad (20)$$

Коэффициент текущей ликвидности вырос в 3,1 раза, что означает переход от рискованного уровня (<1) к безопасному ($>1,5$). Этот рост обусловлен изменением структуры пассивов: краткосрочные обязательства сократились с 46,1 до 21,4 млрд. руб. (в 2,2 раза), активы при этом выросли с 86,2 до 118,8 млрд руб. Рост доли оборотных средств с 39,6% до 41,4%) практически не повлияло на ликвидность (2,2%).

Таким образом, ООО «Спортмастер» совершил переход от кризисного состояния (2022-2023 года) к устойчивому (2024 год). Коэффициент автономии достиг 50%, краткосрочные обязательства сократились на 54%, а текущая ликвидность выросла с рискованного уровня 0,74 до безопасного 2,30.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Деренский Д.И., Шевченко С.А. Финансовый результат деятельности предприятия: сущность понятия и показатели [Электронный ресурс]: научная статья / Деренский Д.И., 2022 – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/finansovyy-rezultat-deyatelnosti-predpriyatiya-suschnost-ponyatiya-i-pokazateli>
2. Кашуба В.О., Цой А.В. Факторный анализ операционной деятельности как инструмент мониторинга выполнения поставленных целей [Электронный ресурс]: научная статья / Кашуба В.О., 2016 – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/132/36959>
3. Официальный сайт ООО «Спортмастер» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sportmaster.ru/>

Фатиев А.В.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет»

Науч. рук. д-р филос. н. *Дорожкин Ю. Н.*

ГБОУ ВО «Башкирская академия государственной службы и управления при Главе Республики Башкортостан»

Fatiev A. V.

Ufa State Oil Technical University

**СОЦИАЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ
НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА И УНИВЕРСИТЕТОВ КАК
ЭФФЕКТИВНАЯ ФОРМА СОЦИАЛЬНЫХ ИНВЕСТИЦИЙ В
ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ КАПИТАЛ**

**SOCIALLY ORIENTATED INTERACTION BETWEEN OIL AND GAS
COMPANIES AND UNIVERSITIES AS AN EFFECTIVE FORM OF SOCIAL
INVESTMENTS IN PERSONNEL**

Аннотация. В статье рассматриваются социальные субъекты, предмет, порядок и функции социально ориентированного взаимодействия между нефтегазовой отраслью и университетами. Динамика развития взаимодействия университетов и бизнеса с точки зрения роста уровня вовлечения субъектов показана на модели непрерывного партнерства.
Abstract. The social subjects, object and social functions of social orientated interaction between oil and gas industry and universities are issued in this article. The dynamics of university-business interaction in terms of increasing the level of subject involvement is shown in the following model of continuous partnership.

Ключевые слова: Социально ориентированное взаимодействие нефтегазовых компаний и университетов, социальные субъекты, предмет социально ориентированного взаимодействия, компания, университет, социальные инвестиции в человеческий капитал.

Keywords: social subjects, object and social functions of socially orientated interaction, oil and gas industry, university, social investments in personnel

Ограниченный рост российской экономики и необходимость преодоления отставания от ведущих мировых держав, вызванные недостаточно развитой инфраструктурой и дефицитом квалифицированных кадров, требуют в

настоящее время разумной государственной инновационной политики в нашей стране [1].

Маркетинг образовательной организации — это деятельность, направленная на удовлетворение потребностей потребителей образовательных услуг и продуктов, а также на формирование отношений обмена между учреждением и клиентами. Специфичность маркетинга в сфере образования связана со специфичностью основного продукта — образовательной услуги. Образовательные услуги удовлетворяют личные, групповые и общественные потребности.

Выполним структурный анализ социально ориентированного взаимодействия нефтегазового комплекса и высшего образования (на примере компании и университета) как наиболее эффективной формы социального взаимодействия данных сфер.

Как всякое социальное взаимодействие, социально ориентированное взаимодействие включает в себя следующие структурные элементы: субъект (участник, сторона) взаимодействия, социальные действия субъектов и предмет взаимодействия.

Ключевым звеном или элементом любого социального взаимодействия являются субъекты взаимодействия. Вне субъектов нет самого взаимодействия. П. Сорокин писал: «...без индивидов некому взаимодействовать» [2]. В социально ориентированном взаимодействии нефтегазового комплекса и системы высшего профессионального образования ключевыми субъектами выступают, с одной стороны, нефтегазовый комплекс, с другой - система высшего профессионального образования. Каждый из этих субъектов взаимодействия имеет определенные социальные интересы, социальные потребности и установки. Кроме того, они объединены решением единых или в достаточной степени схожих целей и задач.

По статусу, роли и активности субъектов социального взаимодействия, занимаемой ими позиции в структуре социальных взаимоотношений, можно

говорить, с нашей точки зрения, о следующих особенностях социально ориентированного взаимодействия [3]:

- высокая степень активного участия субъектов взаимодействия, т. е. субъекты взаимодействия активно вовлечены в сам процесс;

- единообразие или схожесть социальных потребностей, социальных позиций, социальных ценностей, социальных мнений, а также взглядов и отношений к социальной проблеме, которые получают выражение в «родственном» понимании смысла и ситуации социального взаимодействия, солидаризации и определенном «согласии» субъектов взаимодействия;

- определенное единство цели субъектов социального взаимодействия, направленной на решение социальной проблемы, составляющей предмет социально ориентированного взаимодействия;

- обоюдная заинтересованность субъектов социального взаимодействия, выраженная во взаимных социальных действиях, при общности взаимных ожиданий и обязательств, четком определении социальных позиций, ролей, функций и взаимной ориентации друг на друга, которые направлены на реализацию общей цели, формирующей между ними устойчивую социальную связь и объединяющей их в единое целое;

- наличие эффективно функционирующих «обратных связей» между субъектами взаимодействия на этапах социального взаимодействия. \

Социальное взаимодействие не может существовать как вне субъектов взаимодействия, так и вне социальных действий. «...Если бы эти индивиды не совершали актов, то непонятно было бы, как и чем они могут... обуславливать поведение и переживания других лиц....» [2].

В социологии выделяются сегодня рациональные и иррациональные, непосредственные и опосредованные, эффективные и неэффективные социальные действия. Примером рациональных социальных действий нефтегазовых компаний и университетов могут быть организация трудоустройства выпускников, создание независимой системы оценки качества образования.

Понятно, что любое социальное взаимодействие протекает в социальной среде в определенных социальных условиях. Когда говорим о «непосредственных» социальных действиях, мы понимаем, что это лишь допущение для изучения социального взаимодействия. Опосредованные социальные действия подразумевают наличие агентов социальных действий или, используя термин П. Сорокина, «проводников». Такими проводниками в социально ориентированном взаимодействии нефтегазовых компаний и университетов могут выступать государство, кадровые агентства и др.

Следующим структурным элементом социального взаимодействия является предмет социального взаимодействия (лат. Objectum - брошенное перед кем-н.) - то, ради чего различные субъекты взаимодействуют. Взаимодействие социальных групп, общностей и институтов обычно направлено на решение некоей социальной проблемы.

Попробуем представить себе перспективную модель социально ориентированного взаимодействия компании и университета условно на схеме.

Компания и университет как субъекты социально ориентированного взаимодействия и социальные факторы обычно вступают в социально ориентированное взаимодействие, заключив Комплексное соглашение о сотрудничестве. Компания, ежегодно направляя по «трехсторонним» договорам детей своих сотрудников на обучение в вуз, обеспечивает регулярный приток квалифицированных молодых специалистов, подготовленных по современным образовательным программам, тогда как университет получает гарантированно оплаченный «кадровый заказ». Запуская стипендиальные программы, компания ведет отбор талантливых студентов. Университет также заинтересован в востребованности выпускников на рынке труда. Компания способна «сама» определять перечень необходимых знаний и компетенций выпускников, активно «включаясь» в образовательный процесс. Формы и способы участия в нем могут быть разнообразными: разработка учебных программ, гостевые лекции, мастер-классы и семинары. Повышению качественного уровня образования способствует компания, инвестирующая в разработку методик обучения и

приобретение оборудования. Качество профессиональной подготовки и востребованность выпускников определяют престиж университета и его место на рынке.



Отечественная практика показывает, что качество подготовки специалистов в университете заметно выше на «выходе» при участии компании-работодателя. Политика в области обучения и развития персонала компаний «ТНК-ВР», «Лукойл» и Газпром свидетельствует об этом [5].

1. Концепция долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 г. // Собрание законодательства РФ. 2008. № 47. Ст. 5489.
2. Сорокин П. Система социологии: в 2-х т. – М.: Наука, 1993. – Т. 2. – 563 с.
3. Бизнес и образование-2009. II Мониторинг Российского союза ректоров. М., 2010. URL: http://www.rsr-online.ru/doc/2010_05_24/1.pdf

4. Методическое пособие по взаимодействию вузов и промышленных предприятий. ТУСУР, 2017. URL: <https://ird-club.ru/wp-content/uploads/2017/04/UI-collaboration-toolkit.pdf>.
5. Наука, образование, бизнес: векторы взаимодействия в современном обществе / И.Д. Демидова [и др.]. СПб.: Скифия-принт, 2008.
6. Смелзер Н. Социология. – М.: Феникс, 1994. – 688 с.

Шабькин К.Ю.

Кумертауский филиал Оренбургского Государственного Университета
имени В.А. Бондаренко

Науч. рук. канд. эк. наук *Цыркаева Е. А.*

Кумертауский филиал Оренбургского Государственного Университета
имени В.А. Бондаренко

Shabykin K.Yu

Kumertau branch of Orenburg State University named after V.A. Bondarenko

ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ РЕНТАБЕЛЬНОСТИ АКТИВОВ ПАО «ЛУКОЙЛ»

FACTOR ANALYSIS OF THE PROFITABILITY OF ASSETS OF PJSC LUKOIL

Аннотация: В статье рассматривается факторный анализ рентабельности активов ПАО «ЛУКОЙЛ» за 2022-2024 гг. Раскрыта экономическая сущность активов. На основе факторной модели определено влияние рентабельности продаж и оборачиваемости активов на изменение итогового показателя. Выявлены основные изменения каждого фактора на рентабельность активов.

Abstract: This article examines a factor analysis of PJSC LUKOIL's return on assets for 2022-2024. The economic nature of assets is revealed. Using a factor model, the impact of return on sales and asset turnover on changes in the bottom line is determined. The key impacts of each factor on return on assets are identified.

Ключевые слова: активы, рентабельность активов, факторный анализ, влияние, рентабельность, изменения

Key words: assets, return on assets, factor analysis, impact, profitability, changes

В общем смысле активы предприятия представляют собой совокупность его имущественных и денежных средств. В целях упрощения, как правило, между терминами «активы предприятия» и «имущество предприятия» ставят знак равенства. Однако понятие активов предприятия более широкое. Активы предприятия – это не только его имущество, включая денежные средства, но и имущественные права, имеющие денежную оценку. [1]

Рентабельность активов – это финансовый коэффициент, который демонстрирует отдачу от потребления всех имеющихся активов у предприятия, который позволяет оценить эффективность всей деятельности. [2]

Факторы, которые влияют на рентабельность активов, это: рентабельность продаж, оборачиваемость активов, объем и динамика прибыли, уровень затрат.

Для того, чтобы оценить рентабельность активов, используют экономическую формулу, которая представлена ниже.

$$\text{Рентабельность активов} = \frac{\text{Чистая прибыль}}{\text{Активы}} \quad (1)$$

Для факторного анализа рентабельности активов будем использовать разложенную формулу:

$$\text{Рентабельность активов} = \frac{\text{Чистая прибыль}}{\text{Выручка}} \times \frac{\text{Выручка}}{\text{Активы}} \quad (2)$$

где $X_1 = \frac{\text{Чистая прибыль}}{\text{Выручка}}$ — рентабельность продаж (ценовой и затратный фактор);

$X_2 = \frac{\text{Выручка}}{\text{Активы}}$ — оборачиваемость активов (фактор использования имущества).

В таблице 1 представлены исходные данные для факторного анализа рентабельности активов. Для того чтобы взять эти данные, посмотрим официальные данные бухгалтерского баланса ПАО «ЛУКОЙЛ» за 2022-2024 гг.

Таблица 1

Исходные данные для факторного анализа [3]

Показатель	2022 г.	2024 г.
Чистая прибыль	790120077	732516214
Выручка	2874037264	3046943699
Активы	2279228418	2863934119
Рентабельность продаж (ROS)	0,2749	0,2404
Оборачиваемость активов	1,26	1,06
Рентабельность активов	0,347	0,256

Для того, чтобы провести факторный анализ, определим какой метод будет лучше подходить. В данном случае будем использовать метод цепных подстановок – разложение и выявление каждого фактора на изменение величины результативного показателя. [4]

Базисное значение рентабельности активов (2022 г.):

$$\text{Рентабельность активов}_0 = 0,2749 \times 1,26 = 0,347 \quad (3)$$

Влияние изменения рентабельности продаж: заменяем первый фактор (X_1), второй оставляем базисным:

$$\text{Рентабельность активов}_1 = 0,2404 \times 1,26 = 0,303 \quad (4)$$

Влияние фактора рентабельности продаж:

$$\Delta \text{Рентабельность активов}_{R\Pi} = 0,303 - 0,347 = -0,044 \quad (5)$$

Изменение рентабельности продаж привело к уменьшению рентабельности активов на 4,4 п.п., что связана с ростом себестоимости и снижением маржинальности основной деятельности.

Влияние изменения оборачиваемости активов: заменяем второй фактор на отчётный:

$$\text{Рентабельность активов}_2 = 0,2404 \times 1,06 = 0,256 \quad (6)$$

Влияние фактора оборачиваемости активов:

$$\Delta \text{Рентабельность активов}_{o6} = 0,256 - 0,303 = -0,047 \quad (7)$$

Снижение оборачиваемости активов оказало более сильное негативное влияние, уменьшив ROA на 4,7 п.п. Это обусловлено опережающим ростом активов по сравнению с выручкой, прежде всего за счёт финансовых вложений и дебиторской задолженности.

Общее изменение рентабельности активов представлено ниже в виде формулы:

$$\Delta \text{Рентабельность активов} = -0,044 + (-0,047) = -0,091 \quad (8)$$

Факторный анализ методом цепных подстановок показал, что снижение рентабельности активов ПАО «ЛУКОЙЛ» за 2022-2024 гг. обусловлено действием двух основных факторов:

- фактор оборачиваемости активов оказал наибольшее отрицательное влияние (-4,7 п.п.), что связано с ростом объёма активов, не сопровождаемым эквивалентным ростом выручки;
- фактор рентабельности продаж также снизил эффективность активов (-4,4 п.п.), что отражает рост затрат и снижение маржинальности.

В целом, ключевым фактором ухудшения эффективности использования активов выступает инвестиционный характер роста активов, приводящий к снижению скорости их оборота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булатукова В.М., Коноплёва Ю.А., Литвинов Д.В. Активы организации: экономическая сущность [Электронный ресурс]: научная статья / Булатукова В.М., – 2023 – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50244731>
2. Зыкова Н. В. Методические подходы к оценке рентабельности активов [Электронный ресурс]: научная статья / Зыкова Н. В., – 2020 – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodicheskie-podhody-k-otsenke-rentabelnosti-aktivov>
3. Бухгалтерский баланс ПАО НК «ЛУКОЙЛ» за 2022-2024 гг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://checko.ru/company/pao-lukoyl-1027700035769>
4. Официальный сайт «Семестр» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://axd.semestr.ru/index/chain-substitutions.php>

УДК 004.89

Ахунов В.И.

Уфимский университет науки и технологий

Науч. рук. *Родионова Л.Е.*

Уфимский университет науки и технологий

Akhunov V.I.

Ufa University of Science and Technology

ИИ-АССИСТЕНТ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ КОГНИТИВНОЙ НАГРУЗКИ НА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

AI ASSISTANT TO REDUCE USER COGNITIVE LOAD

Аннотация: В условиях цифровой трансформации общества существенно возрастает объём обрабатываемой пользователем информации, что приводит к увеличению когнитивной нагрузки и снижению эффективности деятельности. В статье рассматривается проблема цифровой многозадачности и анализируются возможности применения проактивных интеллектуальных ассистентов для её решения. Целью исследования является разработка модели ИИ-ассистента, способного прогнозировать перегрузку пользователя на основе анализа поведенческих данных и адаптивно перераспределять задачи. Предложена архитектура системы SmartDay, включающая модуль оценки когнитивной нагрузки и алгоритм прогнозирования перегрузки. Проведено экспериментальное тестирование прототипа на группе пользователей. Полученные результаты демонстрируют снижение субъективного уровня стресса и повышение показателей выполнения задач. Практическая значимость исследования заключается в разработке модели интеллектуального планирования, ориентированной на повышение цифровой продуктивности и снижение психоэмоционального напряжения.

Abstract: In the context of the digital transformation of society, the amount of information processed by users has significantly increased, leading to an increase in cognitive load and a decrease in work efficiency. This article explores the issue of digital multitasking and analyzes the potential of proactive intelligent assistants to address this problem. The goal of this research is to develop an AI assistant model that can predict user overload based on behavioral data analysis and adaptively reallocate tasks. The article proposes the SmartDay system architecture, which includes a cognitive load assessment module and an overload prediction algorithm. An experimental testing of the prototype was conducted on a group of users. The results demonstrate a decrease in subjective stress levels and an increase in task performance. The practical significance of the research lies in the development of an intelligent planning model aimed at improving

Ключевые слова: когнитивная нагрузка; проактивный искусственный интеллект; цифровая продуктивность; машинное обучение; интеллектуальное планирование.

Keywords: cognitive load; proactive artificial intelligence; digital productivity; machine learning; intelligent planning.

Введение

Цифровая многозадачность приводит к росту когнитивной нагрузки, снижению концентрации и увеличению уровня стресса. Большинство существующих систем планирования не предотвращают перегрузку, поскольку работают реактивно и не учитывают поведенческие особенности пользователя.

Цель исследования — разработка модели проактивного ИИ-ассистента, способного прогнозировать перегрузку и адаптивно перераспределять задачи. Гипотеза состоит в том, что такой подход позволяет снизить когнитивную нагрузку и повысить продуктивность.

Теоретические основы снижения когнитивной нагрузки

Когнитивная нагрузка определяется как совокупность умственных ресурсов, затрачиваемых на выполнение задач. При превышении допустимого уровня снижается концентрация внимания, увеличивается количество ошибок и возрастает уровень стресса. Цифровая многозадачность усиливает следующие факторы перегрузки: частые переключения между задачами; избыточное количество уведомлений; несбалансированное распределение времени; отсутствие приоритетизации задач. Таким образом, возникает необходимость создания системы, способной не только фиксировать задачи, но и интеллектуально управлять ими. Подобные системы рассматриваются в рамках концепции интеллектуальных агентов, которые анализируют состояние среды и принимают решения для оптимизации деятельности пользователя [1].

Система

Разработанная система включает следующие модули: модуль сбора поведенческих данных; модуль оценки когнитивной нагрузки; алгоритм прогнозирования перегрузки; модуль адаптивного перераспределения задач; интерфейс аналитической визуализации. В системе применяется комплексная поведенческая оценка состояния пользователя. Приложение анализирует: количество одновременно активных задач; частоту переключения между ними; интенсивность входящих уведомлений; длительность непрерывной концентрации; динамику выполнения задач в течение дня. На основе этих

данных формируется профиль текущей когнитивной нагрузки пользователя. Подход опирается на теорию когнитивной нагрузки [2], согласно которой превышение объёма рабочей памяти приводит к снижению эффективности обработки информации и росту числа ошибок. Исследования в области цифровой многозадачности показывают, что частые переключения между задачами увеличивают время выполнения на 20–40 % и сопровождаются ростом субъективного стресса [3].

Приложение SmartDay помогает пользователю следующим образом:

- Предиктивное выявление перегрузки: система отслеживает поведение и признаки повышения перегрузки. Исследования [4] подтверждают, что раннее выявление критических состояний повышает эффективность управления деятельностью.

- Интеллектуальное перераспределение задач: при обнаружении признаков перегрузки ассистент автоматически переносит второстепенные задачи, группирует однотипные действия.

- Оптимизация уведомлений.

Система временно ограничивает некритичные уведомления, формируя периоды «глубокой работы». Исследования [5] показывают, что сокращение отвлекающих факторов повышает продуктивность и уменьшают напряжение.

- Рекомендации по восстановлению: при длительной высокой нагрузке ассистент предлагает короткие интервалы отдыха.

- Аналитическая обратная связь: пользователь получает визуальные отчёты о пиковых периодах нагрузки, эффективности распределения времени и динамике продуктивности.

Таким образом, система не просто фиксирует задачи, а выполняет роль цифрового посредника между пользователем и информационной средой.

Экспериментальное исследование

Тестирование прототипа проводилось в течение 14 дней на группе из 20 пользователей результаты в таблице 1.

Таблица 1

Показатель	До использования	После использования	Изменения
Средняя субъективная оценка стресса (по 10-балльной шкале)	7,2	5,9	-18%
Процент выполненных задач	63 %	85%	+22%
Среднее количество пересечений задач в день	4,8	3,6	-25%
Среднее количество пересечений задач в день	12	9	-25%
Средняя продолжительность фокусированной работы (мин)	18	26	+44%

Заключение

Разработанная модель проактивного ИИ-ассистента подтверждает эффективность снижения когнитивной нагрузки в условиях цифровой многозадачности. Проактивный анализ поведения и адаптивное перераспределение задач способствуют повышению продуктивности и снижению уровня стресса. Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением выборки пользователей и внедрением методов адаптивного машинного обучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Russell S., Norvig P. Искусственный интеллект: современный подход. 4-е изд. М.: Вильямс, 2021.
2. Sweller J. Cognitive load during problem solving: Effects on learning // Cognitive Science. 1988. Vol. 12. P. 257-285.
3. Розенберг И. Г. Цифровая перегрузка: психологические аспекты многозадачности // Вестник МГУ. Серия 14. Психология. 2022. № 3. С. 112-128.
4. Свиридов А. В., Ковалева Т. М. Архитектуры проактивных интеллектуальных систем: от реактивности к предвидению // Журнал искусственного интеллекта и когнитивных исследований. 2023. № 8(2). С. 45-59.
5. Ophir E., Nass C., Wagner A. D. Cognitive control in media multitaskers // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2009. Vol. 106(37). P. 15583-15587.

Батин А.В.

Уфимский университет науки и технологий

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент каф. АСУ *Кромина Л.А.*

Уфимский университет науки и технологий

Batin A.V.

Ufa University of Science and Technology

**ВЫЯВЛЕНИЕ НЕДОСТАТКОВ ПРОЦЕССА ВЕДЕНИЯ РЕЕСТРА
ФЛАНЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ТРУБОПРОВОДОВ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ИХ
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ**

**IDENTIFICATION OF SHORTCOMINGS IN THE PROCESS OF
MAINTAINING THE REGISTER OF FLANGE CONNECTIONS OF
TECHNOLOGICAL PIPELINES AND PROPOSALS FOR THEIR
IMPROVEMENT**

Аннотация: В данной статье рассматривается проведение приемки фланцевых соединений подрядных компаний представителями строительного контроля заказчика.

Организация, проведение приемки и ведение реестра фланцевых соединений предъявляемых подрядными кампаниями является одним из ключевых направлений деятельности строительного контроля которое определяет достижение его главной цели по подготовке качественной сборки фланцевых соединений и прослеживаемости сдачи всех ста процентов соединений.

Ведение приемки фланцевых соединений у подрядных кампаний сопровождается необходимостью обработки больших объемов информации в условиях жестких сроков.

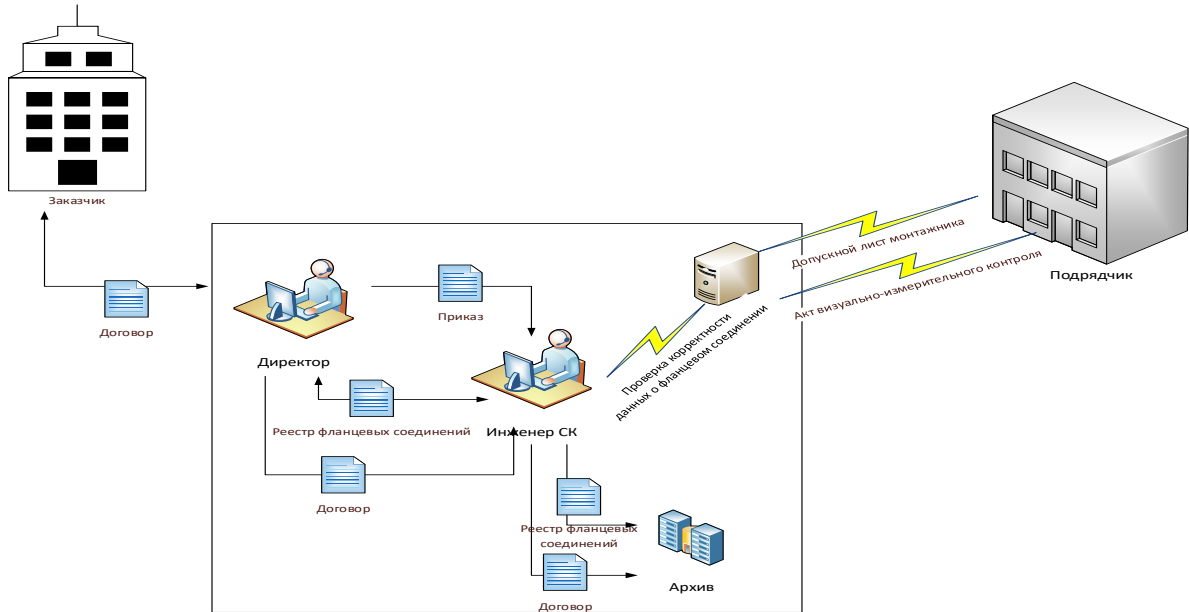
Abstract: This article discusses the issues related to the acceptance of flange connections of contracting companies by representatives of the customer's construction control.

The organization, acceptance and maintenance of a register of flange connections submitted by contracting campaigns is one of the key areas of activity of construction control, which determines the achievement of its main goal of preparing a high-quality assembly of flange connections and traceability of delivery of all one hundred percent of the connections.

The acceptance of flange connections from contracting companies is accompanied by the need to process large amounts of information in conditions of tight deadlines.

Ключевые слова: Строительный контроль, прослеживаемость, реестр фланцевых соединений

Keywords: Construction control, traceability, flanged joint registry



автоматизированная информационная система, автоматизирующая обработку запросов подрядчика.

Реестр фланцевых соединений – обеспечивает контроль, учёт и хранение сведений о фланцевых соединениях.

Описание взаимодействия:

Подрядчик обращается через телефонную связь с вопросом, о приемке сборки фланцевых соединений. В текущем процессе подрядчик собирает информацию в регламентах и пакет документов, что занимает время. При внедрении АИС запрос автоматически обрабатывается: система дает возможность подгрузить всю необходимую информацию о фланцевом соединении и назначить проведение инспекции. Все запросы на проведение инспекции фиксируются в системе для последующего формирования реестра фланцевых соединений.

Предложения по дальнейшим исследованиям:

Нормативно-правовая база для ведения реестра фланцевых соединений (ФС) в РФ не представлена единым законом, а распределена по правилам промышленной безопасности (ФНП), государственным стандартам и внутренним регламентам эксплуатирующих организаций.

Исследование рынка решений в области АИС для повышения эффективности существующего процесса взаимодействия подрядчика со строительным контролем заказчика.

В рамках цифровизации предлагаются следующие возможности системы:

1. Система должна предоставлять пользователю реестр материалов фланцевых соединений.
2. Система должно позволять создавать, просматривать, редактировать и удалять материалы фланцевых соединений
3. Система должна позволять регулировать доступ к реестру материалов фланцевых соединений
4. Система должна предоставлять пользователю реестр фланцевых соединений
5. Система должно позволять создавать, просматривать, редактировать и

удалять фланцевые соединения

6. Система должна позволять импортировать фланцевые соединения

7. Система должна позволять выгружать реестр фланцевых соединений

8. Система должна позволять фильтровать реестр фланцевых соединений

9. Система должна позволять подавать фланцевые соединения на

Инспекцию-СК

10. Система должна позволять регулировать доступ к реестру фланцевых соединений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральные нормы и правила (ФНП)

Это основной уровень регулирования для опасных производственных объектов (ОПО):

Приказ Ростехнадзора от 21.12.2021 № 444 «Об утверждении ФНП в области промышленной безопасности "Правила безопасной эксплуатации технологических трубопроводов"». Он устанавливает общие требования к монтажу, контролю герметичности и ремонту ФС.

Приказ Ростехнадзора от 15.12.2020 № 536 (Правила для оборудования под избыточным давлением). Требуется документального оформления результатов осмотров и испытаний разъемных соединений.

2. Государственные стандарты (ГОСТ)

Регламентируют техническую часть, которая фиксируется в реестре (типы, размеры, методы контроля):

ГОСТ 33259-2015 — ключевой стандарт на конструкцию и размеры фланцев арматуры и трубопроводов.

Буркин А. А.

Уфимский университет науки и технологий

Науч. рук. канд. техн. наук *Родионова Л. Е.*

Уфимский университет науки и технологий

Burkin A.A.

Ufa University of Science and Technology

НЕЙРОСЕТЕВЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В БОРТОВЫХ СИСТЕМАХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ

NEURAL NETWORK METHODS OF INFORMATION PROCESSING IN ON-BOARD SYSTEMS OF AIRCRAFT

Аннотация: в статье представлен новый метод обработки телеметрической информации в бортовых системах летательных аппаратов — Адаптивный сверточно-графовый фильтр (АСГФ). Новизна метода заключается в комбинировании пространственного анализа топологии бортовых сетей (на основе графовых нейронных сетей) и временного анализа динамики параметров (на основе сверточных сетей с расширяющимися ядрами).

Abstract: The article presents a new method for processing telemetric information in on—board aircraft systems, the Adaptive Convolutional Graph Filter (ASGF). The novelty of the method consists in combining spatial analysis of the topology of on-board networks (based on graph neural networks) and temporal analysis of the dynamics of parameters (based on convolutional networks with expanding cores).

Ключевые слова: нейронные сети, графовые нейронные сети, фильтрация данных, прогнозирование отказов, сверточные сети.

Keywords: neural networks, graph neural networks, data filtering, failure prediction, convolutional networks.

1. Введение

Современные летательные аппараты (ЛА) представляют собой сложные киберфизические системы, оснащенные тысячами датчиков, контролирующих состояние планера, двигателей и бортового оборудования. Однако существующие методы обработки этой информации обладают фундаментальными ограничениями:

- Классические методы (фильтр Калмана, Винера) требуют точного математического описания системы, что невозможно для нестационарных процессов [1].

- Существующие нейросетевые методы (LSTM, Transformer) хорошо анализируют временные ряды, но игнорируют топологию ЛА [2].

Цель исследования: разработать метод обработки информации, который одновременно учитывает временную динамику сигналов и пространственно-топологическую структуру летательного аппарата как единой системы.

2. Анализ существующих методов и постановка задачи

Существующие подходы к обработке бортовой информации можно разделить на три категории, данные приведены в табл. 1:

Таблица 1

Сравнительная таблица категорий бортовой информации

Категория	Методы	Достоинства	Недостатки
Классические	Фильтр Калмана, МНК	Математически обоснованы, сертифицированы	Требуют модели, не работают в непредвиденных режимах
Временные (1D)	LSTM, GRU, Transformer	Отлично прогнозируют временные ряды	«Не видят» связи между разными датчиками

Вывод: ни один из методов не моделирует ЛА как сеть взаимосвязанных узлов, где влияние распространяется не мгновенно, а с конечной скоростью [3].

3. Новый метод: Адаптивный сверточно-графовый фильтр (АСГФ)

Предлагаемый метод рассматривает летательный аппарат как ориентированный граф $G = (V, E)$, где [4]:

- V (вершины) — это точки контроля (датчики давления, температуры, вибрации, угловые скорости);

- E (ребра) — это физические и информационные связи (трубопроводы, электропроводка, шины данных, аэродинамическое влияние).

Обучение проводится в два этапа: имитационное обучение, тонкая настройка [5].

4. Экспериментальные результаты

Для валидации метода использовался набор данных, включающий 500 полетных циклов самолета Boeing 737-800. Решалась задача прогнозирования роста температуры в газотурбинном двигателе (EGT) на 15 секунд вперед — критический параметр для определения помпажа.

Сравниваемые методы: классический фильтр Калмана, LSTM (Однослойная LSTM сеть со 128 нейронами), CNN (1D сверточная сеть с 3 слоями), АСГФ (предложенная архитектура).

Метрики: RMSE (Root Mean Square Error), MAE (Mean Absolute Error), Время упреждения (сек).

Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты сравнения методов анализа

Метод	RMSE (°C)	MAE (°C)	Время упреждения (сек)	Требования к ресурсам (MFlops)
Фильтр Калмана	4.82	3.91	0.0 (по факту)	0.5
LSTM	3.15	2.44	+2.1	12.0
CNN (1D)	3.42	2.71	+1.8	8.5
АСГФ (предложенный)	2.14	1.68	+4.6	15.4

Анализ результатов

- Точность: АСГФ снижает RMSE на 32% по сравнению с лучшим из существующих методов (LSTM).
- Скорость обнаружения: Выигрыш во времени упреждения в 2.5 секунды.
- Цена ресурсов: Метод требует 15.4 MFlops, что выше, чем у классики.

5. Заключение

В работе предложен новый метод нейросетевой обработки информации для бортовых систем летательных аппаратов — Адаптивный сверточно-графовый фильтр (АСГФ). Метод впервые объединяет анализ топологической структуры ЛА (через графовые сети) и анализ временной динамики параметров (через расширяющиеся свертки). Экспериментальное сравнение показало, что АСГФ превосходит существующие подходы (фильтр Калмана, LSTM, CNN) по точности прогнозирования критических параметров и времени упреждения аварийных ситуаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барсегян, А.А. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining / А.А. Барсегян, М.С. Куприянов, В.В. Степаненко. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 336 с.
2. Гаскаров, Д.В. Интеллектуальные системы управления: учебное пособие / Д.В. Гаскаров. – М.: Высшая школа, 2006. – 431 с.
3. Дьяконов, В.П. Нейронные сети. MATLAB 6 / В.П. Дьяконов, В.В. Круглов. – М.: SOLON-Пресс, 2006. – 496 с.
4. Круглов, В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В. Круглов, В.В. Борисов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2001. – 382 с.
5. Ларичев, О.И. Методы поддержки принятия решений в сложных ситуациях / О.И. Ларичев. – М.: Наука, 2006. – 240 с.

Вазитдинов М.Д.

Уфимский университет науки и технологий

Науч. рук. канд. тех. наук, доцент *Кромина Л.А.*

Уфимский университет науки и технологий

Vazitdinov M.D.

Ufa University of Science and Technology

МИНУСЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СФЕРЕ

THE DISADVANTAGES OF USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE EDUCATIONAL FIELD

Аннотация: В статье подробно рассмотрены негативные стороны внедрения технологий искусственного интеллекта в образовательный процесс. Проанализированы потенциальные риски и ограничения, возникающие при применении нейросетей в обучении. Представлены обоснованные рекомендации по предотвращению возможных отрицательных эффектов.

Abstract: The article examines in detail the negative aspects of the introduction of artificial intelligence technologies into the educational process. The potential risks and limitations arising from the use of neural networks in training are analyzed. Reasonable recommendations for the prevention of possible negative effects are presented.

Ключевые слова: искусственный интеллект, образовательные технологии, информационные системы, обучение, проблемы, минусы, цифровая педагогика.

Keywords: artificial intelligence, educational technologies, information systems, learning, problems, disadvantages, digital pedagogy.

Сегодня применение цифровых технологий становится неотъемлемой частью образовательной среды. Важнейшую роль здесь играет внедрение решений на основе нейросетей. Помимо очевидных преимуществ, такие сервисы несут в себе множество потенциальных угроз и недостатков, и это требует внимательного изучения и учета при проектировании и реализации инновационных подходов к образованию.

Основные проблемы и ограничения применения ИИ-сервисов в обучении

1. Уменьшение межличностного взаимодействия

Один из наиболее существенных минусов использования ИИ заключается в уменьшении прямого человеческого общения между преподавателями и учениками. Во взаимодействии лицом к лицу присутствует важный элемент эмпатии, интуиции и понимания потребностей каждого конкретного студента, которого невозможно заменить виртуальным ассистентом. Например, именно учитель способен заметить изменения настроения ученика, оценить мотивацию и создать доверительную атмосферу, способствующую развитию творческих способностей и глубокому усвоению материала.

2.Отсутствие универсальности подходов

Каждая личность уникальна, имеет индивидуальные особенности восприятия и освоения нового материала. Применение стандартизированных учебных методик, предлагаемых ИИ, может пренебрегать потребностями отдельных групп учащихся, что приведет к ухудшению результатов обучения. Индивидуальные предпочтения и особенности учащихся зачастую остаются незамеченными автоматизированными алгоритмами, ориентированными на массовое обучение.

3.Возрастающая зависимость от технических устройств

Непрерывное использование электронных устройств и экранов способствует развитию зависимости от цифровых гаджетов среди молодых людей.

4.Возможность манипулирования информацией

Неверно сформированные учебные материалы или предвзятые выводы ИИ могут нанести серьезный ущерб процессу обучения. Даже небольшие отклонения в выводах алгоритма способны существенно исказить представление учащихся о предмете изучения. Важно не забывать, что информация, предоставляемая ИИ, далеко не всегда верна и объективна.

5.Потеря контроля над процессом обучения

Частично автономные системы ИИ иногда дают студентам свободу выбора направления обучения. Но эта свобода может превратиться в хаотичность, лишив учебный процесс структурированности и последовательности. Это

приводит к тому что, учащиеся теряют важные базовые знания, необходимые для дальнейшего успешного продвижения в изучении предмета.

6.Этические вопросы и защита приватности

Собираемые данные об успеваемости, поведении и интересах учащихся могут стать объектом злоупотреблений и мошенничества. Утечка конфиденциальной информации влечет серьезные последствия, включая нарушения закона о защите персональных данных Поэтому важно создавать надежные механизмы хранения и передачи информации, обеспечивать прозрачность сбора данных и соблюдение права учащихся на частную жизнь.

Простые способы минимизировать негатив от ИИ в образовании

Несмотря на отмеченные сложности, современные образовательные учреждения имеют инструменты для предотвращения перечисленных рисков.

Вот некоторые эффективные стратегии:

Усиление мониторинга и регулирования: Постоянный мониторинг эффективности работы ИИ-систем, регулярная оценка успешности достижения поставленных целей обучения и оперативное устранение выявленных ошибок.

Развитие компетенций учителей: Повышение уровня подготовки педагогов в области цифровой грамотности, формирование навыков работы с новыми технологиями и инструментами.

Обеспечение информационной безопасности: Использование надёжных алгоритмов шифрования, жесткий контроль прав доступа и постоянная проверка безопасности информационных систем.

Повышение доступности технологий: Поддержка государственных инициатив, направленных на создание условий для массового внедрения высоких технологий в школы и вузы.

Заключение

Искусственный интеллект способен кардинально изменить подход к обучению, однако массовое внедрение этой технологии связано со значительными вызовами и рисками. Для результативной интеграции ИИ-технологий необходимо уделять внимание вопросам психологического

комфорта учащихся, поддерживать личные контакты между педагогами и студентами, развивать инфраструктуру и защищать персональные данные участников образовательного процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альтшуллер Г.С. Проблемы внедрения информационных технологий в российское образование // Образование и наука. – 2022. – № 4. – С. 12–21.
2. Коростелев А.Б. Преимущества и опасности использования искусственного интеллекта в вузах // Высшее образование в России. – 2024. – № 2. – С. 32–40.
3. Петров М.Ю. Эволюция педагогических технологий: опыт внедрения искусственного интеллекта // Психология и педагогика современного образования. – 2023. – № 3. – С. 15–25.
4. Романова Л.К. Влияние цифрового обучения на когнитивное развитие подростков // Ученые записки Российского государственного социального университета. – 2022. – № 5. – С. 87–98.
5. Тихонов А.Л. Безопасность данных в эпоху цифровых технологий // Информатика и вычислительная техника. – 2023. – № 4. – С. 11–20.
6. Шарапов В.М. Интеграция искусственного интеллекта в учебно-воспитательный процесс // Вестник Московского государственного лингвистического университета. – 2022. – № 3. – С. 34–42.

Дубкова В. А.

Уфимский университет науки и технологий

Науч. рук. канд. техн. Наук *Родионова Л. Е.*

Уфимский университет науки и технологий

Dubkova V. A.

Ufa University of Science and Technology

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИБРИДНОГО МЕТОДА
ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ В СЕТЕВОМ ТРАФИКЕ УСТРОЙСТВ
ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ**

**STUDY OF THE EFFICIENCY OF A HYBRID METHOD FOR DETECTING
ANOMALIES IN NETWORK TRAFFIC OF INTERNET OF THINGS
DEVICES**

Аннотация: Актуальность работы обусловлена ростом числа устройств интернета вещей (IoT) и кибератак на них. Традиционные методы обнаружения вторжений малоэффективны для гетерогенного IoT-трафика из-за разнородности данных и ограниченных ресурсов устройств. Цель - повысить точность обнаружения аномалий путём разработки гибридного метода, сочетающего статистический анализ характеристик трафика и классификатор на основе метода опорных векторов (SVM). Предложена двухэтапная методика: выделение признаков (интенсивность потока, размер пакетов, межпакетные интервалы) и классификация SVM с ядром RBF. Эксперимент на наборе данных CICIDS2017 показал точность 94,7% при 3,2% ложных срабатываний, что на 8-12% лучше классических методов. Результаты могут быть использованы в системах защиты критической инфраструктуры.

Abstract: The relevance is driven by the rapid growth of IoT devices and related cyberattacks. Traditional intrusion detection methods are ineffective for heterogeneous IoT traffic due to data diversity and limited device resources. The aim is to improve anomaly detection accuracy by developing a hybrid method combining statistical traffic analysis and a support vector machine (SVM) classifier. A two-stage technique is proposed: feature extraction (flow intensity, packet size, inter-packet intervals) and SVM classification with an RBF kernel. An experiment on the CICIDS2017 dataset showed 94.7% accuracy with a 3.2% false positive rate, outperforming classical methods by 8-12%. The results can be used in critical infrastructure protection systems.

Ключевые слова: интернет вещей; обнаружение аномалий; сетевая безопасность; машинное обучение; метод опорных векторов.

Keywords: Internet of Things; anomaly detection; network security; machine learning; support vector machine.

Внедрение интернета вещей (IoT) в различные сферы сопровождается ростом киберугроз. К 2030 году количество IoT-устройств превысит 30 млрд [1], что расширяет поверхность атаки [2]. Проблема безопасности усугубляется ограниченностью ресурсов устройств, не позволяющей использовать традиционные средства защиты [3], разнородностью протоколов [4] и динамической топологией сетей [5].

Сигнатурные методы (Snort, Suricata) эффективны лишь против известных атак [6]. Статистические методы дают много ложных срабатываний [7], а методы машинного обучения (изолирующий лес, one-class SVM) требуют значительных вычислительных ресурсов [8, 9]. Обзоры [10, 11] подчёркивают необходимость гибридных подходов, сочетающих статистику и машинное обучение. Таким образом, актуальна разработка легковесного метода обнаружения аномалий, адаптированного к IoT-трафику [12].

Цель исследования - повысить точность обнаружения аномалий в сетевом трафике IoT путём разработки гибридного метода, сочетающего статистический анализ характеристик трафика и классификацию на основе метода опорных векторов (SVM).

Предложен двухэтапный метод обработки трафика IoT.

1. Предобработка и выделение признаков. Пакеты агрегируются в потоки по стандартному правилу [13]. Для каждого потока вычисляются: интенсивность, средний размер пакета и его стандартное отклонение, межпакетные интервалы (среднее, дисперсия, квартили), доля служебных пакетов (ACK, SYN, FIN), энтропия портов. Данные признаки информативны для обнаружения DDoS-атак, сканирования портов и вредоносного ПО [14].

2. Классификация аномалий. Используется SVM с ядром RBF, что позволяет строить нелинейные разделяющие поверхности при невысоких вычислительных затратах на этапе классификации [15]. Функция решения:

$$f(x)=\text{sign}(\sum_{i=1}^m a_i y_i K(x, x_i)+b)$$

где a_i - множители Лагранжа, y_i - метки классов, $K(x, x_i) = \exp(-\gamma ||x - x_i||^2)$

- RBF - ядро, b - смещение, γ - параметр ядра.

Оптимизация гиперпараметров (коэффициент регуляризации C и параметр ядра γ) производилась методом grid search с перекрестной проверкой на обучающей выборке.

Для эксперимента использован набор данных CICIDS2017, содержащий нормальный трафик и различные атаки [6]. Сформирована выборка, имитирующая IoT-трафик (низкая интенсивность, малые пакеты). Оценка проводилась по метрикам: Accuracy, Precision, Recall, F1-мера, False Positive Rate (FPR).

Сравнивались три альтернативных метода: статистический (контрольные карты Шухарта) [7], изолирующий лес [8] и однослойный перцептрон [9]. Обучение - на 70% данных, тестирование - на 30%. Эксперимент повторён 10 раз. Усреднённые результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительная эффективность методов обнаружения аномалий

Метод	Accuracy, %	Precision, %	Recall, %	F1-мера, %	FPR, %
Статистический (контрольные карты)	78,3	71,2	68,4	69,8	12,7
Изолирующий лес	86,5	84,1	82,9	83,5	8,4
Однослойный перцептрон	82,7	79,8	80,3	80,0	10,1
Предлагаемый гибридный метод	94,7	93,2	92,5	92,8	3,2

Предложенный метод превосходит альтернативы по всем метрикам. Точность обнаружения на 8,2% выше, чем у изолирующего леса, и на 16,4%

выше статистического метода. Низкий FPR (3,2%) критичен для практики: высокий уровень ложных срабатываний вызывает недоверие к системе [10].

Анализ ошибок показал, что ложные срабатывания связаны с пиковыми нагрузками, когда нормальный трафик приближается к аномальному. Пропущенные атаки (ложноотрицательные) относятся к медленным атакам Low-and-Slow, маскирующимся под нормальный трафик [11].

Время обучения предлагаемого метода составляет 15-20 с на 100 000 потоков, классификация занимает менее 1 мс на поток, что позволяет использовать его на граничных маршрутизаторах в реальном времени. Результаты согласуются с выводами работ [12, 13], подчёркивающих эффективность комбинирования статистики и машинного обучения. В отличие от них, предложенный метод адаптирован к специфике IoT (нерегулярность, малые пакеты, UDP).

В ходе исследования была достигнута поставленная цель: разработан гибридный метод обнаружения аномалий в сетевом трафике устройств интернета вещей, основанный на комбинации статистического анализа характеристик потоков и классификации с использованием метода опорных векторов с ядром радиальной базисной функции.

Научная новизна работы заключается в адаптации метода опорных векторов к специфике IoT-трафика путем разработки специализированного набора признаков, отражающих особенности функционирования устройств с ограниченными ресурсами, и оптимизации гиперпараметров модели для достижения баланса между точностью обнаружения и вычислительной эффективностью.

Практическая значимость подтверждена результатами вычислительного эксперимента на общедоступном наборе данных CICIDS2017: предложенный метод обеспечивает точность обнаружения аномалий 94,7% при уровне ложных срабатываний 3,2%, что превосходит показатели классических методов на 8-16%. Низкая вычислительная сложность на этапе классификации позволяет

реализовать метод на граничных устройствах IoT-сетей (шлюзах, Edge-серверах) без существенных аппаратных затрат [14].

Перспективы дальнейших исследований включают:

1. Разработку адаптивного механизма обновления модели в условиях дрейфа концепций (concept drift), характерного для динамических IoT-сред [15];
2. Интеграцию предложенного метода с технологиями федеративного обучения (federated learning) для обеспечения конфиденциальности данных при распределенном обнаружении атак;
3. Расширение набора признаков за счет анализа временных рядов с использованием рекуррентных нейронных сетей для обнаружения сложных многошаговых атак.

Материалы исследования могут быть использованы при разработке систем защиты информации для "умных" городов, промышленного интернета вещей и критической инфраструктуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Evans D. The Internet of Things: How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything // Cisco White Paper. - 2023. - Vol. 1. - P. 1-11.
2. Золотарев В.В., Гришанов К.М. Проблемы безопасности интернета вещей и методы их решения // Вопросы кибербезопасности. - 2024. - № 3(43). - С. 42-51.
3. Шахнович И.В. Беспроводные сенсорные сети: технологии и применение. - М.: Техносфера, 2024. - 320 с.
4. Bhuyan M.H., Bhattacharyya D.K., Kalita J.K. Network Anomaly Detection: Methods, Systems and Tools // IEEE Communications Surveys & Tutorials. - 2022. - Vol. 16. - № 1. - P. 303-336.
5. Ahmed M., Mahmood A.N., Hu J. A survey of network anomaly detection techniques // Journal of Network and Computer Applications. - 2016. - Vol. 60. - P. 19-31.
6. Sharafaldin I., Lashkari A.H., Ghorbani A.A. Toward Generating a New Intrusion Detection Dataset and Intrusion Traffic Characterization // Proceedings of the 4th International Conference on Information Systems Security and Privacy. - 2018. - P. 108-116.
7. Roesch M. Snort: Lightweight Intrusion Detection for Networks // Proceedings of the 13th USENIX Conference on System Administration. - 1999. - P. 229-238.
8. Liu F.T., Ting K.M., Zhou Z.H. Isolation Forest // Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Data Mining. - 2008. - P. 413-422.
9. Cortes C., Vapnik V. Support-vector networks // Machine Learning. - 1995. - Vol. 20. - № 3. - P. 273-297.
10. Buczak A.L., Guven E. A Survey of Data Mining and Machine Learning Methods for Cyber Security Intrusion Detection // IEEE Communications Surveys & Tutorials. - 2022. - Vol. 18. - № 2. - P. 1153-1176

11. Sommer R., Paxson V. Outside the Closed World: On Using Machine Learning for Network Intrusion Detection // Proceedings of the IEEE Symposium on Security and Privacy. - 2010. - P. 305-316.
12. Moustafa N., Slay J. UNSW-NB15: a comprehensive data set for network intrusion detection systems // Proceedings of the Military Communications and Information Systems Conference. - 2015. - P. 1-6.
13. Al-Garadi M.A., et al. A Survey of Machine and Deep Learning Methods for Internet of Things (IoT) Security // IEEE Communications Surveys & Tutorials. - 2020. - Vol. 22. - № 3. - P. 1646-1685.
14. Diro A.A., Chilamkurti N. Distributed attack detection scheme using deep learning approach for Internet of Things // Future Generation Computer Systems. - 2018. - Vol. 82. - P. 761-768.
15. Aminanto M.E., et al. Deep Abstraction and Weighted Feature Selection for Wi-Fi Impersonation Detection // IEEE Transactions on Information Forensics and Security. - 2018. - Vol. 13. - № 3. - P. 621-636.

Имамов Р.А.

Уфимский университет науки и технологий

Старший преподаватель *Иксанова О.Н.*

Уфимский университет науки и технологий

Imatov R.A.

Ufa University of Science and Technology

АВТОМАТИЗАЦИЯ УЧЁТА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ОБОРУДОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ

AUTOMATION OF ACCOUNTING OF CONSTRUCTION MATERIALS AND EQUIPMENT IN CONSTRUCTION ORGANIZATIONS

Аннотация: В статье рассматриваются проблемы фрагментарной автоматизации учёта материально-технических ресурсов в строительных компаниях среднего бизнеса. На примере ООО «СтройИмперия» проанализированы существующие бизнес-процессы, выявлены информационные разрывы и операционные риски. Предложена концепция сквозной цифровизации процесса учёта с использованием мобильных решений и ERP-систем.

Abstract: The article discusses the problems of fragmented automation of material and technical resources accounting in medium-sized construction companies. Using the example of StroyImperiya LLC, the existing business processes are analyzed, and information gaps and operational risks are identified. A concept of end-to-end digitalization of the accounting process using mobile solutions and ERP systems is proposed.

Ключевые слова: автоматизация, строительные материалы, учёт, цифровизация, ERP-система, бизнес-процессы.

Keywords: automation, construction materials, accounting, digitalization, ERP system, business processes.

Введение

На фоне сокращения числа новых игроков на рынке строительной отрасли и замедления темпов роста объемов строительных работ конкурентоспособность компаний все в большей степени определяется их способностью к внедрению инноваций и оптимизации внутренних процессов.

Ключевым направлением такой оптимизации является цифровизация и автоматизация бизнес-процессов, в частности, учёта материально-технических ресурсов (МТР).

На примере ООО «СтройИмперия» были выявлены системные проблемы в учёте МТР: использование разрозненных инструментов (Excel, упрощённая 1С, бумажные носители), несвоевременное отражение данных, высокие трудозатраты на инвентаризацию.

Цель работы - разработка концепции автоматизации сквозного бизнес-процесса учёта строительных материалов и оборудования для повышения его оперативности, точности, прозрачности и снижения сопутствующих рисков.

1. Выбор направления исследования

На примере ООО «СтройИмперия» выявлены системные недостатки: высокая доля ручного труда в учётных операциях, несвоевременное отражение данных о движении материальных ценностей, частые ошибки инвентаризации.

Согласно исследованиям Беляева С.В. и Петровой А.Н. (2020), потери от неэффективного логистического и складского учёта в строительстве могут достигать 15-20% от общей стоимости МТР [2].

Объектом исследования является бизнес-процесс учёта строительных материалов и оборудования в ООО «СтройИмперия». Компания специализируется на строительстве и реконструкции объектов коммерческой недвижимости. Среднегодовой объем закупаемых и учитываемых МТР составляет порядка 2500 наименований на сумму свыше 150 млн рублей.

Границы процесса включают:

- обеспечение (формирование заявок, заказы поставщикам);
- поступление (приёмка МТР, оформление документов);
- хранение и перемещение (складской учёт, внутренняя транспортировка);
- списание (оформление выбытия материалов в производство);
- контроль и отчётность (инвентаризации, отчёты об остатках).

Участники процесса: начальники участков (прорабы), кладовщики центрального склада, материально ответственные лица на объектах, сотрудник отдела снабжения, бухгалтер по учёту МТР.

Существующая технология: Процесс реализуется с использованием разрозненных инструментов: заявки - в MS Word или на бумаге, учёт на складе -

в упрощённой 1С, учёт на объектах - в Excel-таблицах. Инвентаризация занимает до 5 рабочих дней.

Основная задача - разработать концепцию и практические рекомендации по внедрению целостной информационной системы, автоматизирующей сквозной бизнес-процесс учёта строительных материалов и оборудования.

Конкретные подзадачи:

1. Провести детальный анализ существующего процесса «как есть» (As-Is).
2. Выбрать и обосновать архитектурный подход к автоматизации.
3. Спроектировать целевую модель процесса «как должно быть» (To-Be).
4. Разработать технико-экономическое обоснование проекта.

2. Исследование состояния рассматриваемого вопроса

Деятельность по учёту строительных материалов регламентируется многоуровневой нормативно-правовой базой.

Первый уровень - федеральное законодательство:

- Гражданский кодекс РФ (части 1 и 2) - определяет положения о договорах поставки и подряда, вопросы перехода права собственности;
- Налоговый кодекс РФ (часть 2) - главы 21 и 25 устанавливают правила документального подтверждения расходов;
- Федеральный закон № 402-ФЗ «О бухгалтерском учёте» - задаёт требования к первичным документам, регистрам, инвентаризации.

Второй уровень - отраслевые нормативные акты:

- Приказ Минстроя России № 926/пр - методика определения стоимости строительства;
- Приказ Минфина России № 119н - методические указания по учёту МПЗ (ПБУ 5/01);
- Постановление Госкомстата России № 71а - унифицированные формы первичной документации (ТОРГ-12, М-15, М-17).

Третий уровень - национальные стандарты (ГОСТ Р) и своды правил (СП), которые касаются технической стороны хранения и приёмки конкретных видов материалов.

Вывод: проектируемая система должна обеспечивать нормативное соответствие требованиям 402-ФЗ и НК РФ, поддерживать отраслевые стандарты документооборота.

Анализ публикаций в журналах РИНЦ и ВАК за период 2018-2025 гг. позволяет выделить ключевые направления исследований.

Направление 1. Критика существующих подходов. В работе Кузнецова А.А. (2019) отмечается, что большинство российских строительных компаний используют ИТ-инструменты эпизодически, что создаёт «цифровую разрозненность» [5]. Эффективность даёт только сквозная автоматизация цепочки «закупка-склад-объект-списание».

Направление 2. Интеграция BIM и ERP-систем. Сидорова Е.Л. и Фролов К.В. (2020) рассматривают возможность автоматического формирования ведомостей материалов из BIM-модели и импорта их в ERP-систему для планирования закупок [11].

Направление 3. Мобильные технологии для учёта на объектах. Петров Д.И. (2021) анализирует кейсы использования планшетов и смартфонов для фиксации поступления и списания материалов непосредственно на строительной площадке [8].

Направление 4. Анализ экономической эффективности. Васильев М.С. (2018) предложил методику расчёта эффекта через снижение трудозатрат, уменьшение сверхнормативных запасов, предотвращение хищений и простоев [3].

Направление 5. Проблемы внедрения и человеческий фактор. Калинина О.Н. (2020) обращает внимание на сопротивление персонала и предлагает поэтапную модель внедрения с вовлечением ключевых пользователей [4].

Направление 6. Концептуальное понимание цифровизации. Рыбкина Г.В. и соавт. (2024) разграничивают понятия «цифровизация» и «цифровая трансформация», предлагают методологию внедрения с оценкой эффективности по KPI [10].

Направление 7. Управление рисками. Антипов С.С. и Бурковский В.Л. (2025) применяют аппарат нечёткой логики для управления рисками в строительстве, что позволяет формализовать экспертные знания о вероятности задержек поставок [1].

Направление 8. Инновационные направления. Половян А.В. и Сеницына К.И. (2025) подчёркивают, что активное внедрение инновационных технологий становится необходимым условием для выживания строительных организаций [9].

Заключение

Проведённая в ходе учебной практики работа позволила всесторонне проанализировать состояние учёта строительных материалов и оборудования в ООО «СтройИмперия» и разработать обоснованные предложения по его совершенствованию.

Рекомендации для ООО «СтройИмперия»:

1. Поэтапное внедрение - начинать с ключевых процессов (приёмка, складской учёт).
2. Мобильный интерфейс - обеспечить работу прорабов и кладовщиков через планшеты.
3. Интеграция с 1С - модернизировать существующую инфраструктуру до уровня ERP.
4. Обучение персонала - включить программу обучения всех участников процесса.
5. Мониторинг KPI - внедрить систему показателей для оценки эффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипов, С. С. Проблематика управления рисками в рамках строительного производства на основе аппарата нечёткой логики / С. С. Антипов, В. Л. Бурковский // Вестник технологического университета. – 2025. – Т. 21, № 3. – DOI: 10.36622/1729-6501.2025.21.3.009.
2. Беляев, С. В. Информационные технологии в управлении строительными проектами: анализ эффективности / С. В. Беляев, А. Н. Петрова // Вестник университета. – 2020. – № 5. – С. 45–53.

3. Васильев, М. С. Оценка экономического эффекта от внедрения систем автоматизации учёта на производственных предприятиях / М. С. Васильев // Экономика и предпринимательство. – 2018. – № 12 (101). – С. 579–583.
4. Калинина, О. Н. Управление изменениями при внедрении информационных систем в строительных холдингах / О. Н. Калинина // Корпоративные системы. – 2020. – Т. 4, № 1 (12). – С. 34–42.
5. Кузнецов, А. А. Цифровая трансформация логистики строительного предприятия / А. А. Кузнецов // Логистика и управление цепями поставок. – 2019. – № 3 (92). – С. 28–37.
6. Об утверждении Методических указаний по бухгалтерскому учёту материально-производственных запасов: приказ Минфина России от 28.12.2001 № 119н (ред. от 16.05.2016) // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. – 2002. – № 9.
7. О бухгалтерском учёте: Федеральный закон от 06.12.2011 № 402-ФЗ (ред. от 26.07.2019) // Собрание законодательства РФ. – 2011. – № 50. – Ст. 7344.
8. Петров, Д. И. Применение мобильных приложений для оперативного учёта материальных ресурсов в строительстве / Д. И. Петров // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2021. – № 1. – С. 61–68.
9. Половян, А. В. Инновационные направления повышения конкурентоспособности организаций на рынке строительных услуг / А. В. Половян, К. И. Сеницына // Вестник Академии знаний. – 2025. – № 2 (67). – С. 499–503.
10. Рыбкина, Г. В. Промышленная цифровизация в строительстве: многоаспектный подход и ключевые технологии / Г. В. Рыбкина, И. А. Зайцева, С. А. Логинова, А. В. Симагин // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2024. – № 2 (48). – С. 77–84.
11. Сидорова, Е. Л. Интеграция информационного моделирования зданий (BIM) и систем управления ресурсами предприятия (ERP) в строительстве / Е. Л. Сидорова, К. В. Фролов // Современные наукоёмкие технологии. – 2020. – № 5–2. – С. 331–335.

Кальянова К.В.

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» в г. Кумертау

Науч. рук. преподаватель отделения СПО *Полякова А.А.*

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» в г. Кумертау

Kalyanova K. V.

Branch of UUST in the city of Kumertau

ДВОЙНИК МЕЖДУ МИРАМИ: ТЕОРИЯ, ЭВОЛЮЦИЯ, ОТРАСЛЕВЫЕ ЛАНДШАФТЫ

THE TWIN BETWEEN WORLDS: THEORETICAL FOUNDATIONS, EVOLUTION, AND INDUSTRY LANDSCAPES

Аннотация: В статье предпринята попытка систематизировать теоретические и прикладные аспекты технологии цифровых двойников (Digital Twins) – одного из ключевых направлений Индустрии 4.0. Актуальность работы продиктована тем, что, несмотря на активное внедрение технологии в промышленности, строительстве и дизайне, в научной среде до сих пор отсутствует унифицированное понимание того, что именно следует считать цифровым двойником, как его классифицировать и по каким принципам строить его архитектуру.

В ходе исследования была прослежена эволюция концепции: от статичных CAD-моделей до самообучающихся киберфизических систем. На основе анализа выделено разграничение между цифровой моделью, цифровой тенью и цифровым двойником – ключевым критерием выступает степень автоматизации потоков данных между физическим и цифровым пространствами. Чтобы показать адаптацию технологии под конкретные задачи, мы рассмотрели три отраслевых кейса: машиностроение (предиктивная аналитика, аддитивные технологии), строительство (интеграция BIM, роботизированные площадки) и промышленный дизайн (персонализация, эргономика).

В качестве основных результатов систематизирована классификация цифровых двойников по уровням функциональной зрелости и архитектурная схема, отражающая структуру связей между физическим объектом и его цифровым отображением. Данные разработки позволяют структурировать существующие подходы, вносят определенность в дискуссию о свойствах таких систем и могут служить практическим ориентиром при проектировании цифровых двойников в различных отраслях.

Abstract: The article attempts to systematize the theoretical and applied aspects of digital twin technology – one of the key directions of Industry 4.0. The relevance of the work is driven by the fact that, despite the active implementation of the technology in industry, construction, and design, there is still no unified understanding in the scientific community of what exactly constitutes a digital twin, how to classify it, and on what principles to build its architecture.

The study traces the evolution of the concept: from static CAD models to self-learning cyber-physical systems. Based on the analysis, a distinction is made between a digital model, a digital shadow, and a digital twin – the key criterion being the degree of data flow automation between physical and digital spaces. To demonstrate how the technology adapts to specific tasks, three industry cases are

examined: mechanical engineering (predictive analytics, additive technologies), construction (BIM integration, robotic sites), and industrial design (personalization, ergonomics).

The main results include a systematized classification of digital twins by levels of functional maturity and an architectural scheme reflecting the structure of connections between a physical object and its digital representation. These developments help structure existing approaches, bring clarity to the discussion on the properties of such systems, and can serve as a practical guide for designing digital twins across various industries.

Ключевые слова: цифровые двойники, Digital Twins, Индустрия 4.0, киберфизические системы, BIM, машиностроение, промышленный дизайн

Keywords: digital twins, Industry 4.0, cyber-physical systems, BIM, mechanical engineering, industrial design

ВВЕДЕНИЕ

В эпоху Индустрии 4.0. ключевую роль связующего звена между физическим и цифровым мирами играет концепция цифрового двойника – виртуальной копии реального объекта, которая получает от него данные, обрабатывает их и помогает принимать решения. Однако до сих пор сохраняется терминологическая неопределенность: под двойником зачастую понимают любую компьютерную модель, что затрудняет научное осмысление и практическое внедрение. В разных отраслях – машиностроении, строительстве, дизайне – специфика применения приобретает принципиально разные черты.

Цель работы – систематизировать теоретические и прикладные аспекты технологии цифровых двойников, уточнить понятийный аппарат, классифицировать типы двойников и проанализировать примеры внедрения в России и за рубежом.

Методика исследования основана на анализе научной литературы, отраслевых отчетов и публичных кейсов с использованием методов сравнительного анализа и систематизации.

1. Теоретические основы, эволюция и классификация

Основу разграничения понятий заложил Майкл Гривз, предложивший модель зеркальных пространств: есть физический объект, его виртуальное отражение и связь между ними. Именно характер связи определяет уровень сложности [1].

Цифровая модель – статичная копия без автоматической связи с объектом. Изменения в реальности требуют ручного внесения правок. Это подробный трехмерный чертеж.

Цифровая тень – следующий уровень. Датчики собирают данные и передают их в модель, которая обновляется в реальном времени. Обратной связи нет. Это приборная панель: всё видно, но управлять нельзя.

Цифровой двойник – высшая ступень. Обмен данными двусторонний и автоматический. Модель обрабатывает данные, просчитывает сценарии и отправляет команды обратно. Физическое и виртуальное существуют как единая система [2].

Прослеживая эволюцию технологии, можно выделить несколько ключевых этапов. 1960-1990-е годы – зарождение: появляются CAD-системы и тренажеры NASA, но модели используются изолированно. 2002 год – концептуализация: Гривз представляет модель зеркальных пространств, закладывая теоретический фундамент. 2010-е годы – активное развитие: интернет вещей и облачные вычисления создают инфраструктуру, General Electric и Siemens начинают первые промышленные внедрения. 2020-е годы – интеллектуальное управление: интеграция с искусственным интеллектом позволяет перейти от простого наблюдения к прогнозированию и автономному управлению.

Если эволюция отвечает на вопрос «как развивалась технология?», то классификация отвечает на вопрос «для чего она нужна?». По функциональному назначению выделяются два макротипа цифровых двойников. Двойники для мониторинга и управления ориентированы на эксплуатационную фазу жизненного цикла. Их цель – обеспечить бесперебойную работу, безопасность и эффективность системы. Они реализуют функции прогнозирования состояния оборудования, контроля технических параметров и автоматического реагирования на критические отклонения. Двойники для проектирования и дизайна применяются на ранних этапах создания продукта – от концепции до испытаний. Их задача – сократить время и стоимость разработки за счет переноса

испытаний из физической среды в виртуальную, проводить многовариантные симуляции и проверять решения до создания физических прототипов.

2. Методология создания

Создание двойника начинается с целеполагания: без четкого ответа на вопрос «зачем?» система превращается в дорогую игрушку. Затем формируется информационная основа – выбор датчиков, сетей, систем управления данными. Ошибки здесь приводят к тому, что двойник либо врет, либо молчит. Разработка виртуальной модели – сердце системы. Используются методы физического моделирования (метод конечных элементов, гидродинамика) или гибридные подходы с машинным обучением. Далее следует обеспечение двунаправленной интеграции – реализация каналов связи, определение степени автономности. Завершает процесс валидация и эксплуатация с непрерывным мониторингом [3].

Роль двойника меняется на разных стадиях жизненного цикла: на проектировании – виртуальные испытания прототипов; в производстве – мониторинг и прогнозирование поломок; в эксплуатации – поддержка решений; при модернизации – оценка состояния компонентов.

3. Отраслевая специфика

Машиностроение и авиация. Здесь доминируют двойники для мониторинга и управления. Boeing с помощью двойника модели 737-800 увеличил коммерческую загрузку на 23%. General Electric прогнозирует износ двигателей, сокращая простои на 10-15%. В России Объединенная двигателестроительная корпорация использует двойники при 3D-печати лопаток турбин, сокращая цикл изготовления с лет до месяцев. Магнитогорский металлургический комбинат создал двойника листопрокатного стана для снижения брака [4].

Строительство. На стыке мониторинга и проектирования: BIM-модели дополняются данными с датчиков. Skanska при строительстве терминала Ла-Гуардия координировала сотни подрядчиков через единый двойник. EllisDon в Торонто снизила эксплуатационные расходы на 18%. В России «Лахта Центр»

обрабатывает данные с 10 тысяч датчиков, экономя до 15% энергии. При строительстве Усть-Лугинского газоперерабатывающего комплекса двойник на базе Bentley Systems объединил команды из четырех стран, ускорив стройку на 10% и сэкономив 550 млн долларов.

Промышленный дизайн. Здесь преобладают двойники для проектирования. Adidas при создании кроссовок 4D использовал сканер стопы и 3D-печать, сократив цикл разработки с 18 месяцев до нескольких недель. Porsche и Ferrari применяют двойники для эргономической оценки интерьеров. В России на Новопортовском месторождении «Газпром нефти» с помощью двойника ускорили бурение скважины на 23%. Нижегородские ученые разработали систему управления 3D-печатью для работы в Арктике [5].

4. Эффективность и перспективы

Исследования показывают: внедрение двойников снижает незапланированные простои на 25-42%, общая эффективность оборудования растет с 72% до 87%, точность прогнозирования отказов достигает 90%. В строительстве время вывода объекта на мощность сокращается на 15-20%, эксплуатационные расходы – на 20-30%. В дизайне количество прототипов уменьшается на 50-70%, ускоряя выход продукта на рынок.

Массовое внедрение сдерживается отсутствием единых стандартов обмена данными: двойник завода собирает информацию из десятков проприетарных систем, что делает интеграцию сложной и дорогой. Средний срок внедрения – 24-36 месяцев. Кроме того, двойники расширяют поверхность атаки для киберугроз.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование позволило систематизировать теоретические и прикладные аспекты цифровых двойников. Предложенное разграничение цифровой модели, цифровой тени и полноценного двойника, а также классификация по функциональному назначению вносят ясность в понятийный аппарат и служат основой для оценки уровня зрелости реализаций.

Рассмотренные кейсы демонстрируют, что цифровые двойники трансформируют традиционные подходы. В машиностроении они позволяют предсказывать неполадки и планировать ремонт, в строительстве превращают статичные модели в адаптивные системы управления, в дизайне открывают возможности для массовой кастомизации.

Перспективные направления – разработка методов совместимости разнородных двойников и интеграция генеративного ИИ для автоматического синтеза оптимальных решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гривз, М. (Michael Grieves). *Virtually Perfect: Driving Innovative and Lean Products through Product Lifecycle Management*.
2. Розин, В. М. (2019). Технологии цифровых двойников: семиотический и философский анализ // *Философия и культура*.
3. Батов, Д. В., & Елизаров, А. И. (2020). Цифровые двойники: определение, уровни зрелости, архитектура // *Информационные технологии в проектировании и производстве*.
4. Цифровой двойник листопркатного оборудования внедрил ММК [Электронный ресурс] // сайт. – Екатеринбург, 2025. – 5 сент.
5. Газпром нефть (2022-2024). Отчеты о внедрении цифровых двойников на месторождениях

Каменева А.Е., Корнев К.В.

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
в г. Кумертау

Науч. рук. *Родионова Л.Е.*

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
в г. Кумертау

Kameneva A.E., Kornev K.V.

Kumertau University of Science and Technology

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ СОСТАВЛЕНИЯ МАРШРУТА ДЛЯ ЛИЦ С ОВЗ И ИНВАЛИДНОСТЬЮ

MOBILE ROUTE PLANNING APP FOR PEOPLE WITH DISABILITIES

Аннотация: Цифровой помощник —мобильное приложение для навигации в медицинских учреждениях, ключевой особенностью которого является построение персонализированных маршрутов с учетом архитектуры здания и физических параметров пользователя (зрение, слух, ОДА). Приложение использует технологии позиционирования, дополненной реальности и голосовых/тактильных подсказок для создания оптимального пути, охватывающего все зоны учреждения, повышая самостоятельность пациентов, снижая нагрузку на персонал и обеспечивая инклюзивную среду с равным доступом к медицинским услугам.

Abstract: Digital Assistant is a mobile application for navigation in medical facilities, the key feature of which is the construction of personalized routes, taking into account the architecture of the building and the physical parameters of the user (vision, hearing, ODA). The application uses positioning technologies, augmented reality and voice/tactile prompts to create an optimal path covering all areas of the facility, increasing the independence of patients, reducing the workload of staff and providing an inclusive environment with equal access to medical services.

Ключевые слова: Мобильное приложение, люди с ОВЗ и инвалидностью, маршрутизация, пациент, пользователь.

Keywords: Mobile application, people with disabilities, routing, patient, user.

Введение

Для людей с ОВЗ визит в поликлинику затруднен из-за физических и информационных барьеров: лестниц, отсутствия звуковых или визуальных указателей. Эти препятствия ограничивают доступ к медицине и создают стресс.

Решением станет мобильный навигатор, строящий маршруты с учетом ограничений: через лифты для маломобильных, с голосовым сопровождением

для слабовидящих и текстом для слабослышащих. Приложение обеспечит безопасный и самостоятельный путь до любого кабинета.

Цель проекта — гарантировать равный доступ к услугам и вернуть пациентам независимость. Это важный шаг к инклюзивной среде, повышающий качество жизни и социальную интеграцию миллионов людей.

1. Цель и задачи проекта

Цель проекта: Создание мобильного приложения для формирования маршрута при передвижении по зданию лиц с ОВЗ и инвалидностью на примере медицинского учреждения.

Основные задачи проекта:

1. Интеграция и безопасность: обеспечить совместимость с медицинскими системами, защиту данных и развертывание серверного ПО.
2. Алгоритм маршрутизации: разработать геолокационный сервис и интерфейс, адаптированный под физические особенности лиц с ОВЗ.
3. Функции доступности: внедрить голосовое/визуальное сопровождение и провести тестирование приложения с участием пациентов и врачей.
4. Интерактивные карты: создать детализированные карты медучреждений с построением индивидуальных маршрутов (при господдержке).

2. Актуальность и новизна проекта

Традиционная навигация не обеспечивает людям с ОВЗ автономности. Мобильное приложение решает эту проблему, строя персональные маршруты без барьера с учетом индивидуальной мобильности и потребностей пользователя.

Новизна заключается в интеграции внутреннего GPS, AR и голосовых помощников для точного ориентирования. Адаптивный интерфейс поддерживает тактильную и визуальную обратную связь, подстраиваясь под физические, зрительные или слуховые ограничения.

Система охватывает всё здание, автоматически рассчитывая кратчайший доступный путь. Это минимизирует нужду в посторонней помощи, повышает

самостоятельность пациентов и формирует в здравоохранении инклюзивную среду.

3. Сильные и слабые стороны проекта

Сильные стороны: Глубокая адаптация под нужды лиц с ОВЗ и использование современных технологий обеспечивают высокую персонализацию маршрутов. Это качественно улучшает доступность медицинской среды и делает навигацию максимально удобной для каждого пользователя.

Слабые стороны: Проект требует значительных вложений в разработку и постоянных ресурсов для поддержания точности карт. Основными барьерами являются сложность привлечения инвестиций и возможные трудности в освоении смартфона частью целевой аудитории.

4. Целевая аудитория проекта

1. Пациенты с нарушением слуха: люди с различной степенью потери слуха, включая слабослышащих и глухих.

2. Пациенты с нарушением зрения: Люди с различной степенью потери зрения, включая слабовидящих и слепых.

3. Пациенты с когнитивными нарушениями: люди с нарушением памяти, внимания, мышления и другими когнитивными функциями.

4. Пациенты с нарушениями опорно-двигательного аппарата (НОДА): люди, использующие инвалидные коляски, ходунки, трости или имеющие другие ограничения в передвижении, требующие доступной среды.

5. Посетители (сопровождающие, родственники) людей с ОВЗ и инвалидностью: люди, сопровождающие пациентов с малой мобильностью и оказывающие им помощь в перемещении и ориентировании.

6. Медицинский персонал: врачи, медсёстры и другие сотрудники медицинского учреждения, работающие с пациентами с ОВЗ и инвалидностью.

5. Классификация по группам лиц с ОВЗ

Ограниченные возможности здоровья связаны как с состояниями здоровья (например, церебральным параличом, синдромом Дауна, депрессией), так и с

внешними факторами — недоступной средой, негативным отношением общества, ограниченной социальной поддержкой.

По оценкам экспертов, более 1 миллиарда человек в мире имеют инвалидность — это около 15 % населения. До 190 миллионов человек в возрасте 15 лет и старше (3,8 %) имеют значительные функциональные нарушения, часто требующие медицинского ухода. Число людей с ОВЗ растёт из-за увеличения количества хронических заболеваний и старения населения.

Люди с ограниченными возможностями — одна из самых уязвимых групп в мире. Они сталкиваются с дискриминацией и нарушениями прав (включая насилие и предрассудки), барьерами при получении медицинской помощи, а также имеют ограниченный доступ к образованию и занятости.

6. Модель информационного пространства

Для создания интеллектуального помощника используется модель информационного пространства, интегрированная с системами внутренней навигации (GPS, AR и голосовое сопровождение). Это позволяет точно определять местоположение пользователя и строить оптимальные маршруты в сложных пространствах медучреждений.

Интерфейс решения полностью адаптирован под нужды лиц с ОВЗ: он поддерживает голосовое управление, тактильную отдачу и визуальные подсказки. Специальные алгоритмы автоматически прокладывают беспрепятственный путь до любой цели (кабинета, регистратуры или лифта), исключая лестницы и узкие проемы, что обеспечивает комфортное самостоятельное перемещение по всему зданию.

Внедрение приложения повысит автономность пациентов, значительно снизит нагрузку на персонал и обеспечит равный доступ к медицинским услугам, формируя в учреждении полноценную инклюзивную среду.

7. Пример использования мобильного приложения

Приложение содержит подробную карту здания (планы этажей, ширина дверей, лифты, пандусы, размеры кабинетов). Цель — провести пользователя от входа до нужного кабинета.

Логика построения маршрута ищет самый удобный и безопасный путь, учитывая потребности пользователя (коляска, поручни, тактильная плитка). Алгоритм избегает лестниц, предлагая альтернативные маршруты.

Пример: поиск офтальмолога с фильтром доступности (широкие двери, лифт, санузел). Голосовые подсказки ведут от дома до кабинета, минуя препятствия.

Проект требует взаимодействия с маломобильными людьми и администрацией клиник, чтобы создать инструмент, обеспечивающий реальную свободу передвижения.

8. Описание продукта проекта

Специализированное приложение для лиц с ОВЗ и инвалидностью упрощает получение медуслуг, адаптируясь к индивидуальным потребностям пользователей (голосовое управление, тактильная обратная связь, экранные подсказки).

Обеспечивает детализированную навигацию по всем ключевым зонам учреждения, снижая потребность в посторонней помощи.

Включает чат со специалистом (текст, голос, фото, видео) для оперативных консультаций и возможность настройки индивидуальных параметров.

Собирает отзывы для улучшения доступности, разработано в сотрудничестве с медперсоналом для оптимизации записи и взаимодействия, снижает нагрузку на персонал и обеспечивает персонализированный подход.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Инновационное приложение для навигации маломобильных групп в медучреждениях создает персональные маршруты, учитывая тип инвалидности и архитектуру здания. Система объединяет точное позиционирование, голосовое сопровождение и тактильные подсказки, обеспечивая доступность для всех категорий пользователей.

Внедрение решения значительно повышает самостоятельность пациентов и оптимизирует работу клиник. Проект реализует принципы универсального

дизайна, гарантируя равный доступ к медицинским услугам и улучшая качество жизни людей с ОВЗ.

В перспективе планируется интеграция приложения с электронными системами записи и масштабирование функционала на другие типы общественных зданий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов В.В., Куликов Г.Г., Родионова Л.Е., Казаргулова А.Г. Использование информационных технологий для студентов с ограниченными возможностями в образовательных учреждениях // сборник трудов конференции VIII Всероссийской научной конференции (с приглашением зарубежных ученых) (ITTDS'2020), Уфа. – 2020. С. 32-36
2. Антонов В.В., Куликов Г.Г., Кромина Л.А., Родионова Л.Е., Фахруллина А.Р. Архитектура интеллектуального программно-аналитического комплекса оперирования большими массивами данных предметно-ориентированной области (на примере в электроэнергетике) // сборник трудов Международной научно-практической конференции "2020 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems" IEEE Catalog Number: CFP20S88-USB, Уфа. – 2020. С. 419-425
3. Ковалев С.П. Теоретико-категорный подход к проектированию программных систем. Фундамент. И прикл. Матем. 2014. Том 19, выпуск 3. С. 117-170
4. Как технологии помогают людям с ограниченными возможностями [Электронный ресурс] – URL: <http://neinvalid.ru/kak-tehnologii-pomogayut-lyudyam-s-ogranichennyimi-vozmozhnostyami/>
5. Смартфон аудиогид // [электронный документ] (режим доступа: <https://orpheogroup.com.turbopages.org/orpheogroup.com/s/ru/mobile-applications/>)
6. Аудиогид карта // [электронный документ] (режим доступа: <https://1000guides.com/>)
7. Информационные стойки // [электронный документ] (режим доступа: https://roscommerc.ru/katalog/informacionnye_terminaly_dlya_invalidov)
8. Родионова Л.Е. Описание предметной области для проектирования программной системы / Родионова Л.Е. // Сборник статей 7й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Современные инновации в науке и технике». Под общей редакцией Горохова А.А. // Издательство: ЗАО «Университетская книга». – 2017. – С. 171-174

Князев А.К.

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» в городе Кумертау, Отделение среднего профессионального образования "Авиационный технический колледж"

Преподаватель СПО Чурилкина Н.В.

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» в городе Кумертау, Отделение среднего профессионального образования "Авиационный технический колледж"

Knyazev A.K.

Branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ufa University of Science and Technology" in the city of Kumertau, Department of Secondary Vocational Education "Aviation Technical College"

СЕРЫЕ СХЕМЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СУВЕРЕНИТЕТ: ПОЧЕМУ КОМПАНИИ ПРОДОЛЖАЮТ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ИНОСТРАННОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В ОБХОД САНКЦИЙ

GRAY SCHEMES AND TECHNOLOGICAL SOVEREIGNTY: WHY COMPANIES CONTINUE TO USE FOREIGN SOFTWARE IN VIOLATION OF SANCTIONS

Аннотация: В статье рассматриваются причины сохранения зависимости российского корпоративного сектора от иностранного программного обеспечения в условиях санкционного давления и политики импортозамещения. На основе данных Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (далее – НИУ ВШЭ), Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации (далее – Минцифры России) и аналитических агентств выявлены масштабы использования серых схем поставок программного обеспечения, включая параллельный импорт, использование прокси-структур и нелицензионное программное обеспечение. Проанализированы ключевые барьеры на пути к технологическому суверенитету: технологический разрыв, миграционные издержки и кадровый дефицит. Предложены направления совершенствования государственной политики в данной сфере с учетом количественных оценок рисков.

Abstract: The article examines the reasons for the Russian corporate sector's continued dependence on foreign software in the context of sanctions pressure and import substitution policies. Based on data from the National Research University Higher School of Economics (HSE), the Ministry of Digital Development, Communications, and Mass Media of the Russian Federation (Minцифры России), and analytical agencies, the article identifies the extent of the use of gray software supply schemes, including parallel imports, the use of proxy structures, and unlicensed software. The key

barriers to technological sovereignty have been analyzed: the technological gap, migration costs, and staff shortages. Directions for improving public policy in this area have been proposed, taking into account quantitative assessments of risks.

Ключевые слова: технологический суверенитет, импортозамещение, программное обеспечение, санкции, серые схемы, информационная безопасность, параллельный импорт, статистика рынка программного обеспечения.

Keywords: technological sovereignty, import substitution, software, sanctions, gray schemes, information security, parallel imports, software market statistics.

Введение

В условиях беспрецедентного санкционного давления, усилившегося после 2022 года, обеспечение технологического суверенитета стало одной из ключевых задач экономической политики Российской Федерации. Курс на импортозамещение в сфере информационных технологий был заявлен как приоритетный. Однако, несмотря на законодательные ограничения, создание реестров отечественного программного обеспечения и меры государственной поддержки, многие российские компании продолжают использовать иностранное программное обеспечение, прибегая к различным серым схемам его поставки.

По данным АНО «Цифровая экономика», по состоянию на начало 2026 года доля иностранного программного обеспечения в критической информационной инфраструктуре (далее – КИИ) составляет около 42%, причем в сегменте промышленного программного обеспечения (CAD/CAM/CAE) этот показатель достигает 68% [6]. Данное явление представляет собой значительный вызов для национальной безопасности и экономической стабильности, что обуславливает актуальность темы исследования. Целью работы является выявление причин устойчивости серых схем импорта программного обеспечения и оценка барьеров на пути достижения технологического суверенитета с опорой на эмпирические данные.

Масштабы использования иностранного программного обеспечения и серых схем

Согласно исследованию НИУ ВШЭ «Рынок программного обеспечения в России: 2025» [2], совокупный объем российского рынка программного

обеспечения в 2025 году составил 1,42 трлн руб., из которых на долю отечественных решений пришлось 38%, на легальное иностранное программное обеспечение, ввезенное по каналам параллельного импорта, – 27%, на использование прокси-структур – 18%, а на нелегальное программное обеспечение – 17%. Таким образом, суммарная доля иностранного программного обеспечения, поступающего в обход формальных ограничений, превышает 60% от всего используемого в корпоративном секторе объема (рис.1).

Особенно высока доля таких поставок в сегменте высокотехнологичного программного обеспечения для промышленности. Опрос 500 крупных предприятий, проведенный в четвертом квартале 2025 года, показал, что 73% компаний нефтегазового сектора, 81% компаний машиностроения и 67% предприятий авиастроения продолжают использовать иностранные CAD/CAE-системы, причем в 55% случаев поставка осуществляется через параллельный импорт или аффилированные структуры в дружественных юрисдикциях [9].

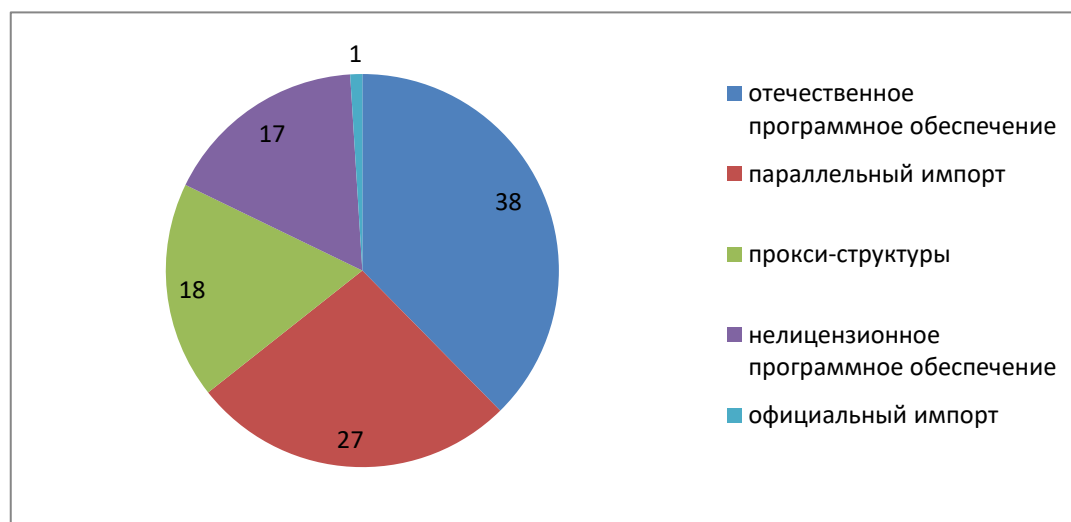


Рис. 1. Структура российского рынка программного обеспечения по каналам поступления в 2025 году.

Динамика параллельного импорта программного обеспечения подтверждает устойчивость данного канала. По данным Федеральной таможенной службы (в аналитической справке Минцифры России), в 2024 году объем ввезенного в рамках параллельного импорта программного обеспечения

вырос на 34% по сравнению с 2023 годом и составил 312 млрд руб. в стоимостном выражении. В первом полугодии 2025 года темпы роста замедлились до 12%, что связывается с насыщением канала и ужесточением контроля со стороны правообладателей, однако абсолютные показатели остаются высокими [7].

Ключевые барьеры на пути к технологическому суверенитету

Основные причины сохранения спроса на иностранное программное обеспечение можно разделить на три группы: технологические, экономические и институциональные.

Технологический разрыв и экосистемная зависимость. Согласно данным реестра отечественного программного обеспечения (Минцифры России), по состоянию на март 2026 года в нем зарегистрировано более 22 тыс. продуктов. Однако анализ функциональной полноты показывает, что в сегментах PLM-систем (управление жизненным циклом изделия), высокоуровневых САЕ-пакетов (инженерный анализ) и специализированного программного обеспечения для микропроцессорного проектирования доля классов продуктов, имеющих полноценные отечественные аналоги, не превышает 15% [10]. Во многих отраслях, таких как нефтегазовое машиностроение, авиастроение и фармацевтика, критически важное промышленное программное обеспечение не имеет функционально эквивалентных российских заменителей. Замена западных решений (например, продуктов Autodesk, Dassault Systèmes, Ansys, Siemens) влечет за собой риски срыва сроков реализации инвестиционных проектов и снижения качества конечной продукции.

Экономические барьеры и миграционные издержки. Затраты на переход с одного класса программного обеспечения на другое (Total Cost of Ownership) включают не только стоимость новых лицензий, но и расходы на переобучение персонала, перенос и конвертацию данных (миграцию), а также простой производства. По оценке Института статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ, средние миграционные издержки для крупного

промышленного предприятия составляют от 120 до 350 млн руб., а срок окупаемости проекта импортозамещения в ИТ-ландшафте превышает 5–7 лет [1]. Для компаний с устоявшимися бизнес-процессами использование серых схем оказывается экономически более рациональным решением в краткосрочной и среднесрочной перспективе.

Кадровый дефицит. Успешный переход на отечественное программное обеспечение невозможен без квалифицированных специалистов, владеющих как новыми программными продуктами, так и методами миграции данных. Опрос, проведенный Ассоциацией предприятий компьютерных и информационных технологий (далее – АПКИТ) в 2025 году, выявил, что 62% компаний-заказчиков сталкиваются с острым дефицитом специалистов в сфере информационных технологий, способных осуществлять миграцию с импортных систем на российские аналоги [5]. Дефицит кадров увеличивает сроки проектов импортозамещения в среднем на 30–40% по сравнению с плановыми показателями.

Серые схемы как ответ на правовую неопределенность

В ответ на уход вендоров с российского рынка сформировались устойчивые каналы поставок программного обеспечения в обход официальных ограничений. К основным схемам относятся:

1. **Параллельный импорт.** Ввоз оригинальных лицензионных продуктов через третьи страны (Казахстан, Армения, Турция, Объединенные Арабские Эмираты) без разрешения правообладателя. Данная схема легализована законодательством Российской Федерации (приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации № 1532), однако сопряжена с рисками прекращения технической поддержки и блокировки программного обеспечения производителем. По данным опроса CNews Analytics, 41% компаний, использующих параллельный импорт, сталкивались с отказами в обновлениях безопасности или принудительной деактивацией программного обеспечения [9].

2. Использование прокси-структур и трансфертное ценообразование. Программное обеспечение приобретается иностранной «дочкой» или аффилированным лицом в недружественной юрисдикции и передается российской компании по внутрикорпоративным каналам. Данная схема характерна для крупных холдингов с международной структурой. По оценкам аналитиков, через прокси-структуры поступает до 18% всего используемого иностранного программного обеспечения в сегменте крупного бизнеса [2].

3. Эксплуатация нелицензионного программного обеспечения. Использование пиратских версий, что создает серьезные риски информационной безопасности (невозможность получения обновлений безопасности, наличие «закладок») и антикоррупционные риски. В секторе малого и среднего бизнеса доля нелицензионного программного обеспечения, по оценкам IDC Russia, составляет около 35%, что в 2 раза выше, чем в крупных компаниях [8].

Классификация используемых серых схем в зависимости от уровня риска для компании представлена в таблице 1.

Таблица 1

Классификация серых схем импорта программного обеспечения по уровню риска

Тип схемы	Юридические риски	Риски информационной безопасности	Доступ к технической поддержке	Распространенность, % от общего объема
Параллельный импорт (оригинал)	Низкие	Низкие	Отсутствует	27
Прокси-структуры	Средние	Средние	Ограничена	18
Нелицензионное программное обеспечение	Высокие	Критические	Отсутствует	17

Направления совершенствования государственной политики

Преодоление сложившейся ситуации требует комплексного подхода с учетом количественных оценок. Во-первых, необходима корректировка государственной политики: переход от формального требования наличия записи в реестре отечественного программного обеспечения к стимулированию создания отраслевых «бесшовных» решений на базе партнерств крупного бизнеса и вендоров. В рамках национального проекта «Экономика данных» на 2025–2030 годы запланировано выделение 120 млрд руб. на разработку приоритетных классов промышленного программного обеспечения, однако эффективность этих вложений напрямую зависит от синхронизации с реальными производственными задачами крупнейших заказчиков [3].

Во-вторых, целесообразно развитие институтов «песочниц» (регуляторных песочниц) для ускоренного тестирования и внедрения отечественных продуктов в критической инфраструктуре без риска остановки производства. Пилотные проекты, реализованные в 2024–2025 гг. на базе Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» и Публичного акционерного общества «Газпром нефть», позволили сократить сроки внедрения опытных образцов программного обеспечения с 18 до 9 месяцев [4].

В-третьих, требуется разработка налоговых и грантовых механизмов, компенсирующих предприятиям прямые миграционные издержки. Согласно расчетам НИУ ВШЭ, субсидирование до 50% затрат на миграцию для предприятий критической информационной инфраструктуры позволило бы снизить долю иностранного программного обеспечения в этом сегменте с текущих 42% до 25% к 2028 году [1].

Заключение

Таким образом, использование серых схем импорта иностранного программного обеспечения является следствием глубинного технологического разрыва в ряде критически важных сегментов, высоких миграционных издержек и кадрового дефицита. Статистические данные свидетельствуют о том, что более 60% используемого в корпоративном секторе иностранного программного

обеспечения поступает в обход формальных ограничений, что создает существенные риски для технологической безопасности и устойчивости экономики. Достижение подлинного технологического суверенитета возможно лишь на пути консолидации усилий государства, крупного бизнеса и разработчиков, направленных на создание конкурентоспособных продуктов, снижение транзакционных издержек перехода на них и адресную поддержку миграционных проектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обухова, А. С. РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА В РОССИИ // РСЭУ. 2024. №1 (64). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-tehnologicheskogo-suvereniteta-v-rossii>
2. Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Институт статистических исследований и экономики знаний. Рынок программного обеспечения в России: 2025 / под ред. Л. М. Гохберга. – М.: Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2026. – 156 с. – ISBN 978-5-7598-2895-6. – Текст : электронный // Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» : официальный сайт. – URL: <https://issek.hse.ru/>
3. Паспорт национального проекта «Экономика данных». – М.: Аппарат Правительства Российской Федерации, 2024. – 210 с. – Текст : электронный // Правительство России : официальный сайт. – URL: <http://government.ru/>
4. Калинин, Н. Л. Импортозамещение и технологический суверенитет // Н. Л. Калинин // Образование и право. 2023. №11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/importozameschenie-i-tehnologicheskii-suverenitet>
5. Ассоциация предприятий компьютерных и информационных технологий. Кадровый потенциал ИТ-отрасли в условиях импортозамещения: аналитический отчет. – М., 2025. – 43 с. – Текст : электронный // АПКИТ : официальный сайт. – URL: <https://apkit.ru/>
6. АНО «Цифровая экономика». Мониторинг импортозамещения в критической информационной инфраструктуре: аналитический доклад. – М., 2026. – 84 с. – Текст : электронный // Цифровая экономика : официальный сайт. – URL: <https://data-economy.ru/>
7. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. Отчет о ходе импортозамещения программного обеспечения в Российской Федерации за I полугодие 2025 года. – М., 2025. – 67 с. – Текст : электронный // Минцифры России : официальный сайт. – URL: <https://digital.gov.ru/>
8. IDC Russia. Software Market Overview and Forecast, 2025. – Moscow: IDC, 2026. – 112 p. – Текст : электронный // International Data Corporation : официальный сайт. – URL: <https://www.idc.com/>
9. CNews Analytics. Импортозамещение программного обеспечения в промышленности: барьеры и пути решения. – М., 2025. – 92 с. – URL: <https://www.cnews.ru/>
10. Реестр отечественного программного обеспечения / Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. – URL: <https://reestr.digital.gov.ru/>

Корнев К. В., Каменева А. Е.

Уфимский университет науки и технологий

Науч. рук. канд. техн. наук *Родионова Л. Е.*

Уфимский университет науки и технологий

Kornev K. V., Kameneva A. E.

Ufa University of Science and Technology

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ JAVASCRIPT И TYPESCRIPT В РАЗРАБОТКЕ МАСШТАБИРУЕМЫХ СИСТЕМ

COMPARATIVE ANALYSIS OF JAVASCRIPT AND TYPESCRIPT IN THE DEVELOPMENT OF SCALABLE SYSTEMS

Аннотация: В статье рассматриваются особенности языков программирования JavaScript и TypeScript, проводится их сравнительный анализ в контексте разработки масштабируемых информационных систем. Особое внимание уделяется вопросам надежности, поддержки кода и предотвращения ошибок.

Abstract: This article examines the characteristics of the JavaScript and TypeScript programming languages and provides a comparative analysis of them in the context of developing scalable information systems. Particular attention is paid to issues of reliability, code maintenance, and error prevention.

Ключевые слова: JavaScript, TypeScript, статическая типизация, масштабируемые системы, веб-разработка, языки программирования.

Keywords: JavaScript; TypeScript; scalable systems; software architecture; static typing; software engineering; web development; programming languages; maintainability; distributed systems.

Современный этап развития информационных технологий характеризуется стремительным ростом сложности программных систем, увеличением объемов обрабатываемых данных и повышением требований к надежности программного обеспечения. В условиях цифровизации и автоматизации различных отраслей, включая высокотехнологичные сферы, возрастает необходимость использования инструментов, способных минимизировать вероятность ошибок и обеспечить устойчивость работы программных решений.

Одним из ключевых направлений развития веб-технологий является эволюция языка JavaScript, который на протяжении длительного времени

остается основным инструментом разработки клиентских и серверных приложений. Однако динамическая типизация, лежащая в его основе, при всех преимуществах гибкости создает предпосылки для возникновения ошибок, особенно в крупных проектах. В ответ на эти ограничения был разработан язык TypeScript, представляющий собой надстройку над JavaScript и реализующий механизм статической типизации.

Целью настоящего исследования является сравнительный анализ JavaScript и TypeScript с точки зрения их применения в разработке масштабируемых информационных систем, а также оценка влияния типизации на надежность программного обеспечения.

Сравнительный анализ языков программирования

Язык JavaScript является динамически типизированным, что означает отсутствие строгой проверки типов данных на этапе компиляции. Такой подход обеспечивает высокую гибкость разработки, позволяя быстро создавать прототипы и адаптировать код под изменяющиеся требования. Однако при увеличении объема проекта и количества разработчиков данный подход приводит к росту числа труднообнаружимых ошибок, возникающих уже на этапе выполнения программы.

В отличие от JavaScript, язык TypeScript реализует статическую типизацию, при которой проверка типов осуществляется до запуска программы. Это позволяет выявлять значительную часть ошибок на ранних этапах разработки, снижая вероятность их появления в рабочей системе. Кроме того, TypeScript предоставляет расширенные возможности работы с интерфейсами, обобщениями и структурой данных, что способствует улучшению читаемости и поддерживаемости кода.

Сравнительный анализ показывает, что при разработке небольших проектов использование JavaScript может быть оправдано за счет скорости и простоты. Однако при переходе к масштабируемым системам, включающим множество взаимосвязанных модулей, преимущество постепенно смещается в сторону TypeScript. Это связано с тем, что статическая типизация позволяет

формализовать структуру данных и взаимодействие компонентов системы, тем самым снижая риск возникновения логических ошибок.

таблица 1

Сравнительные характеристики языков

Параметр	JavaScript	TypeScript
Типизация	Динамическая, проверка типов во время выполнения	Статическая, проверка типов на этапе компиляции
Обнаружение ошибок	На этапе выполнения	На этапе разработки (до запуска)
Масштабируемость	Ограничена в крупных проектах	Высокая за счёт строгой структуры
Поддержка кода	Сложнее при росте проекта	Упрощена благодаря типам и интерфейсам
Читаемость кода	Может ухудшаться в больших проектах	Более высокая за счёт явной типизации
Инструменты разработки	Базовые возможности	Расширенные (автодополнение, анализ типов)
Скорость разработки	Быстрее на старте	Медленнее на старте, но быстрее при масштабировании
Порог входа	Ниже	Выше из-за необходимости изучения типов
Совместимость	Выполняется напрямую в браузере	Требует компиляции в JavaScript
Надёжность	Ниже в сложных системах	Выше за счёт контроля типов

Особое значение данный аспект приобретает в системах с повышенными требованиями к надежности. В таких системах даже незначительная ошибка может привести к серьезным последствиям, включая отказ системы или некорректную обработку данных. Аналогичные требования предъявляются к программному обеспечению в аэрокосмической отрасли, где надежность и предсказуемость работы являются критическими параметрами.

Заключение

Таким образом, проведенный сравнительный анализ показал, что язык TypeScript является эффективным инструментом разработки масштабируемых информационных систем, обеспечивающим более высокий уровень надежности по сравнению с JavaScript.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке корпоративных информационных систем, а также с анализом практики применения TypeScript в крупных промышленных проектах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. OwlofMacloud. Карманная книга по TypeScript. Часть 1. Основы // Хабр. – 2021. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/articles/559902/> (дата обращения: 21.03.2026).
2. JavaScript vs TypeScript: что в каких случаях лучше использовать // Proglib. – 2017. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://proglib.io/p/javascript-vs-typescript> (дата обращения: 23.03.2026).
3. Камышев И. и др. TypeScript и статическая типизация // Doka.guide. – 2024. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://doka.guide/tools/static-types/> (дата обращения: 23.03.2026).
4. Черный Б. Профессиональный TypeScript: разработка масштабируемых JavaScript-приложений. – СПб.: Питер, 2021. – 352 с.

Панфилов А.В.

Уфимский университет науки и технологий г. Кумертау.

Науч. рук. канд. техн. наук *Кромина Л.А.*

Уфимский университет науки и технологий г. Кумертау.

Panfilov A.V.

Ufa University of Science and Technology, Kumertau.

АДАПТИВНАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА С ИИ ДЛЯ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА УСПЕВАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ

ADAPTIVE EDUCATIONAL PLATFORM WITH AI FOR PERSONALIZED STUDENT PERFORMANCE ANALYSIS

Аннотация: Современные образовательные процессы требуют индивидуального подхода к студентам, что невозможно обеспечить традиционными средствами дистанционного обучения. В статье представлена концепция адаптивной образовательной системы с использованием искусственного интеллекта, способной анализировать учебную активность студентов, выявлять проблемные темы и формировать персонализированные рекомендации. Рассмотрены принципы работы системы, включая сбор и предобработку данных, применение алгоритмов машинного обучения для анализа успеваемости и генерацию индивидуальных учебных маршрутов. Также описана визуализация прогресса и преимущества системы по сравнению с традиционными LMS. Результаты имитационного моделирования показывают, что использование интеллектуальных систем анализа образовательных данных может повысить персонализацию обучения, облегчить работу преподавателей и ускорить освоение материала студентами.

Abstract: Modern educational processes require an individualized approach to students, which is difficult to achieve with traditional distance learning tools. This paper presents a concept of an adaptive educational system using artificial intelligence, capable of analyzing students' learning activities, identifying challenging topics, and generating personalized recommendations. The principles of system operation are discussed, including data collection and preprocessing, application of machine learning algorithms for performance analysis, and generation of individualized learning paths. The visualization of progress and the advantages of the system compared to traditional LMS platforms are also described. Simulation results demonstrate that the use of intelligent educational data analysis systems can enhance learning personalization, reduce instructors' workload, and accelerate students' mastery of material

Ключевые слова: адаптивное обучение, искусственный интеллект, образовательные технологии, персонализированные рекомендации, анализ успеваемости студентов.

Keywords: adaptive learning, artificial intelligence, educational technology, personalized recommendations, student performance analysis.

Современные образовательные процессы требуют индивидуального подхода к студентам. Разные учащиеся усваивают материал с разной скоростью, используют разнообразные стратегии обучения, а преподаватели ограничены во времени и не всегда могут адаптировать учебный процесс под каждого. Универсальная система с искусственным интеллектом способна решать эту проблему, анализируя прогресс студентов, выявляя слабые места, прогнозируя успешность и предлагая персонализированные рекомендации. Такая система может быть интегрирована как с существующими платформами дистанционного обучения, так и работать в рамках разрабатываемой под конкретные цели образовательной платформы, что делает её гибкой и масштабируемой [1].

Сегодня существует множество цифровых образовательных платформ, предназначенных для организации дистанционного и смешанного обучения. К таким системам относятся различные LMS-решения, онлайн-курсы и образовательные порталы, позволяющие размещать учебные материалы, проводить тестирование и отслеживать базовые показатели активности студентов. Однако большинство подобных платформ выполняет преимущественно функцию хранения контента и фиксации результатов обучения. Анализ полученных данных чаще всего ограничивается стандартной статистикой, не позволяя выявлять индивидуальные особенности усвоения материала и оперативно адаптировать учебный процесс. В результате преподаватели по-прежнему вынуждены самостоятельно интерпретировать полученные данные, что требует значительных временных затрат и не всегда позволяет своевременно обнаружить проблемы в обучении [2]. Использование интеллектуальной системы анализа образовательных данных может существенно расширить возможности подобных платформ, превратив их из пассивных хранилищ учебной информации в активный инструмент поддержки учебного процесса.

В связи с этим возникает необходимость разработки интеллектуального инструмента, способного не только фиксировать результаты обучения, но и анализировать образовательную активность студентов. В рамках данной работы

рассматривается концепция адаптивной системы с использованием искусственного интеллекта, предназначенной для анализа образовательных данных и формирования персонализированных рекомендаций. Основной задачей исследования является изучение принципов функционирования подобной системы и демонстрация её потенциальных возможностей в образовательной среде.

Новизна предложенного подхода заключается в использовании алгоритмов машинного обучения для комплексного анализа образовательной активности студентов и автоматического формирования персонализированных рекомендаций. В отличие от традиционных систем дистанционного обучения, где анализ данных ограничивается базовой статистикой, рассматриваемая система ориентирована на выявление закономерностей в процессе обучения и адаптацию образовательной траектории в зависимости от индивидуальных особенностей студента.

Разрабатываемая адаптивная система с использованием технологий искусственного интеллекта предназначена для анализа учебной активности студентов и выявления особенностей их образовательного прогресса. С её помощью можно определять темы, вызывающие наибольшие затруднения в процессе обучения, и формировать индивидуальные рекомендации, направленные на повышение эффективности освоения учебного материала. Кроме того, система предоставляет визуальные аналитические панели, позволяющие наглядно отслеживать динамику обучения и общее состояние образовательного процесса как для студентов, так и для преподавателей.

Использование подобной системы предоставляет ряд преимуществ для образовательного процесса:

- автоматический анализ большого объёма образовательных данных;
- выявление тем, вызывающих наибольшие трудности у студентов;
- формирование персонализированных рекомендаций по изучению материала;
- снижение нагрузки на преподавателей при анализе успеваемости;

– повышение эффективности и адаптивности образовательного процесса.

Функционирование системы основано на последовательной обработке информации, поступающей из цифровой образовательной среды. На начальном этапе фиксируются действия обучающихся: результаты выполнения тестовых и практических заданий, степень прохождения учебных модулей, продолжительность работы с учебными материалами и уровень активности в обсуждениях. После этого данные передаются в аналитический модуль, где алгоритмы машинного обучения анализируют полученную информацию и выявляют закономерности в процессе освоения дисциплины. На основе выявленных взаимосвязей система определяет темы, требующие дополнительного внимания, оценивает динамику прогресса студентов и формирует прогноз дальнейших результатов обучения [3].

На следующем этапе система формирует рекомендации, направленные на оптимизацию образовательной траектории. В зависимости от уровня освоения материала студенту могут быть предложены дополнительные учебные ресурсы, повторное изучение отдельных разделов курса или выполнение практических заданий для закрепления знаний. В случае успешного освоения темы система может рекомендовать переход к более сложным материалам, обеспечивая тем самым адаптацию учебного процесса к индивидуальным возможностям обучающегося [4].

Визуализация прогресса является ключевым элементом системы (рис. 1).

Адаптивная система с ИИ для анализа успеваемости студентов

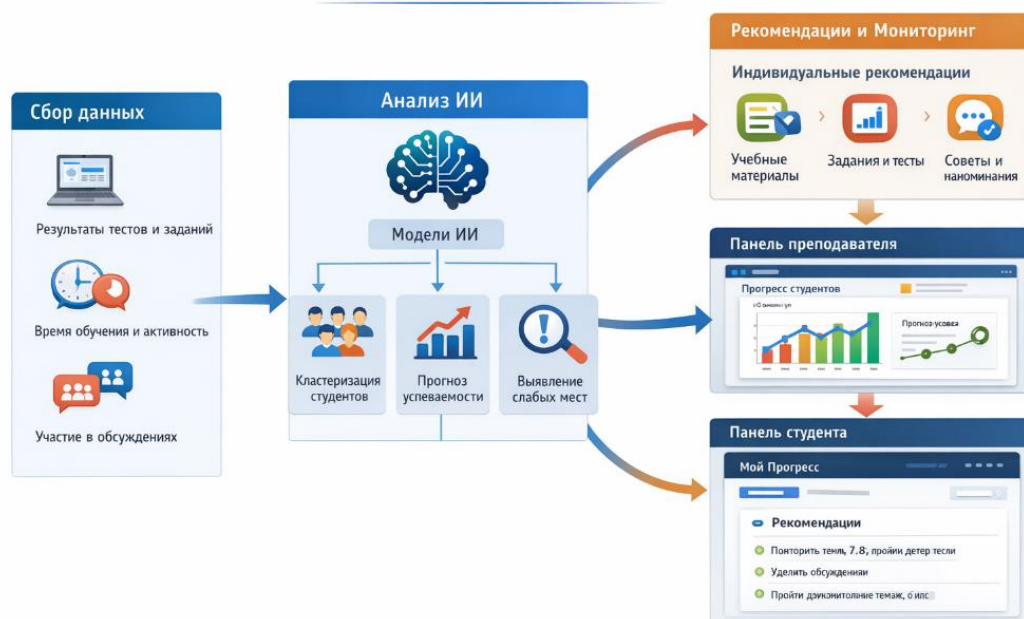


Рис. 1. Схема адаптивной системы с ИИ

Студенты и преподаватели смогут наблюдать динамику освоения материала, уровень усвоения ключевых компетенций и прогноз успешного завершения курса (рис. 2).

Итоги успеваемости студентов				
Итоги анализа успеваемости студентов. Система проанализировала успеваемость студентов и сформировала рекомендации по улучшению результатов. Все студенты				
Студент	Пройдено тем	Средний балл	Прогноз успеха	Рекомендации
Иванов И.	12 / 15	78 %	85% ↑	Повторить темы 7–8, пройти дополнительное задание 9
Петрова А.	15 / 15	92 %	95% ↑	Перейти к продвинутым упражнениям
Сидоров В.	10 / 15	65 %	70% ↑	Уделить внимание темам 3, 5, 11, пройти тесты повторно

Рис. 2. Пример вывода итогов успеваемости студентов

Результаты проведённого моделирования показали, что предложенный подход позволяет автоматически определять студентов, испытывающих затруднения при освоении отдельных тем, а также выявлять проблемные элементы учебного содержания [5]. Система формирует рекомендации по повторному изучению сложных разделов и предлагает дополнительные задания, направленные на закрепление материала. Визуальное представление аналитических данных облегчает восприятие информации и позволяет быстрее оценить текущее состояние учебного процесса (рис. 3).

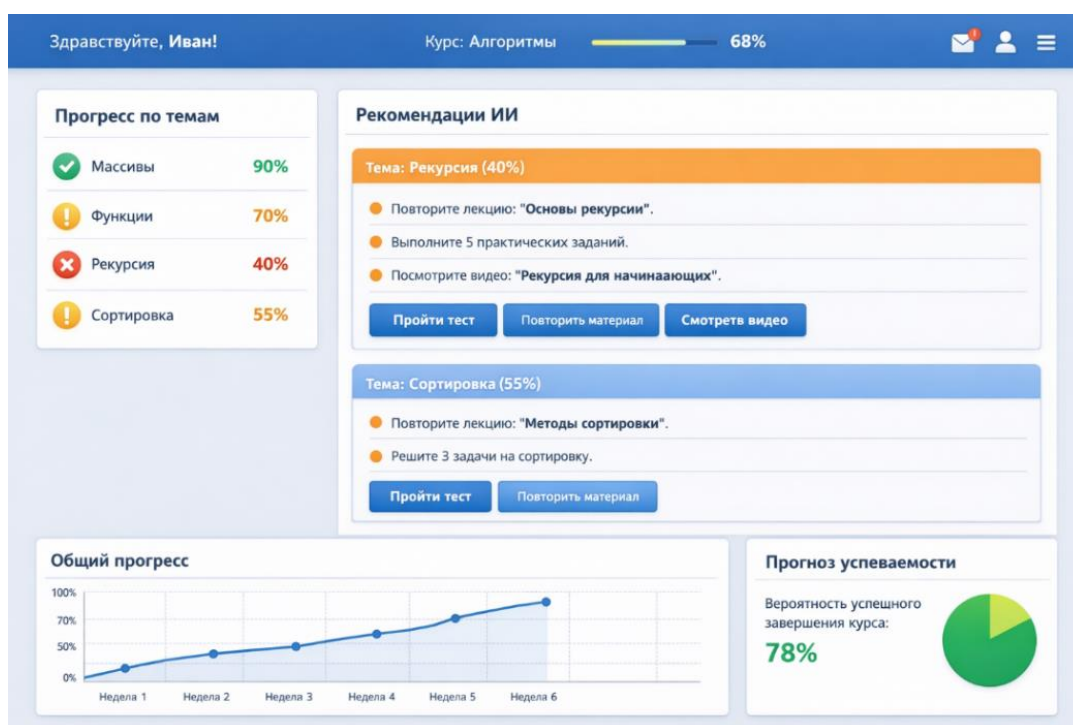


Рис. 3. Иллюстрация учебного прогресса

Полученные результаты демонстрируют перспективность использования интеллектуальных систем анализа образовательных данных. Применение подобных технологий может повысить уровень персонализации обучения, упростить процесс мониторинга академической успеваемости и помочь более оперативно выявлять проблемные аспекты освоения учебного материала.

В заключение, разработка универсальной системы с искусственным интеллектом предоставляет образовательным учреждениям инструмент для анализа прогресса студентов и предоставления персонализированных

рекомендаций. Такой подход способствует улучшению результатов обучения, повышению вовлечённости и оптимизации работы преподавателей. В перспективе возможна интеграция с дополнительными технологиями, включая AR/VR, когнитивные ассистенты и автоматизированные системы раннего предупреждения о риске отчисления, создавая полноценную интеллектуальную образовательную экосистему.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. М.: Вильямс, 2021. 1408 с.
2. Ахмедьянова Г. Ф., Пищухина Т. А., Пищухин А. М. Моделирование процессов. Оренбург: ОГУ, 2024. 162 с.
3. Назаревич С. А. Организационный дизайн и диагностика бережливых производственных систем. СПб.: ГУАП, 2023. 92 с.
4. Правовое и этическое регулирование роботизации и внедрения искусственного интеллекта (ИИ): материалы науч.-практ. конф. с междунар. участием, 18 марта 2022 г. М.: Дело РАНХиГС, 2022. 132 с.
5. Баланов А. Н. Искусственный интеллект. Понимание, применение и перспективы. 3-е изд., стер. СПб.: Лань, 2026. 312 с.

Хамидуллин Р.Р.

Уфимский университет науки и технологий

Науч. рук. канд. техн. наук, зав. кафедрой ТПЛА *Бондарев А.В.*

Уфимский университет науки и технологий

Khamidullin R.R.

Ufa University of Science and Technology

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПОДДЕРЖКИ АБИТУРИЕНТА В ПРИЕМНОЙ КОМИССИИ ВЫСШЕГО УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ

INTELLECTUAL AND ANALYTICAL SUPPORT SYSTEM FOR APPLICANTS AT THE ADMISSIONS OFFICE OF A HIGHER EDUCATION INSTITUTION

Аннотация: В данной статье рассматривается интеллектуально-аналитический комплекс (ИАК), который будет находиться в приемной комиссии ВУЗа и консультировать абитуриентов при поступлении. Приводится мнемосхема бизнес-процесса консультирования абитуриентов в приёмной комиссии ВУЗа и анализируются преимущества внедрения ИАК. Кроме того, рассматриваются предложения по дальнейшим исследованиям ИАК для повышения эффективности существующего процесса взаимодействия абитуриентов с приёмной комиссией ВУЗа.

Abstract: This article discusses an intellectual and analytical complex (IAC) that will be located in the university's admissions office and provide advice to applicants during the admission process. It presents a flowchart of the business process of advising applicants in the university's admissions office and analyzes the benefits of implementing the IAC. Additionally, the article discusses suggestions for further research on the IAC to enhance the efficiency of the existing process of applicants interacting with the university's admissions office.

Ключевые слова: Абитуриент, приемная комиссия, интеллектуально-аналитический комплекс
Keywords: Applicant, Admissions Committee, Intellectual and Analytical Complex

В условиях цифровизации и роста конкуренции на рынке образовательных услуг высшие учебные заведения сталкиваются с необходимостью оптимизации и автоматизации ключевых бизнес-процессов. Особенно это касается приемной кампании — процесса с высокой сезонной нагрузкой, требующего оперативной и точной работы с большим потоком абитуриентов и их запросов.

Цель исследования — анализ существующего процесса взаимодействия абитуриентов с приёмной комиссией ВУЗа, выявление типовых, рутинных операций (ответы на типовые вопросы, консультирование по условиям поступления, раздача информационных материалов) и зон повышенной нагрузки на персонал для последующей разработки и внедрения интеллектуально-аналитического комплекса поддержки абитуриента (ИАКПА). Внедрение ИАКПА, реализованного в форме роботизированной головы, направлено на автоматизацию данного процесса, повышение его эффективности, доступности информации для абитуриентов и снижения операционной нагрузки на сотрудников приемной комиссии.

Мнемосхема (рис. 1) наглядно отображает бизнес-процесс консультирования абитуриентов в приёмной комиссии ВУЗа, а также информационные потоки между участниками процесса.



Рис. 1. Мнемосхема бизнес-процесса объекта исследования

Типы связей на мнемосхеме:

Сплошная линия – документооборот (заявления, справки, регламенты).

Пунктирная линия – устное взаимодействие (консультации, разъяснения).

Двойная линия – электронный обмен данными (запросы к ИАК, обновление

баз данных).

Участники процесса:

Абитуриент – инициатор обращения, предоставляет персональные данные и задаёт вопросы.

Интеллектуально-аналитический комплекс (ИАК) – роботизированная система, автоматизирующая обработку типовых запросов.

Сотрудник приёмной комиссии – осуществляет консультацию, проверяет документы, вносит данные в систему.

База данных ВУЗа – содержит информацию о программах, правилах приёма, рейтингах абитуриентов.

Система документооборота – обеспечивает учёт и хранение заявлений и личных дел.

Описание взаимодействия:

Абитуриент обращается в приёмную комиссию с вопросом, например, о перечне вступительных испытаний. В текущем процессе сотрудник вручную ищет информацию в регламентах или базах данных, что занимает время. При внедрении ИАК запрос автоматически обрабатывается: система анализирует ключевые слова, извлекает актуальную информацию из базы знаний и формирует ответ в голосовом формате. В случае сложного или нестандартного запроса ИАК перенаправляет абитуриента к специалисту. Все обращения фиксируются в системе для последующего анализа и улучшения базы знаний.

Предложения по дальнейшим исследованиям:

1. Детальный анализ нормативно-правовой базы для формирования корректной и юридически точной базы знаний комплекса, особенно в части правил подачи документов и особых прав абитуриентов.

2. Исследование рынка решений в области ИАК для повышения эффективности существующего процесса взаимодействия абитуриентов с приёмной комиссией ВУЗа. К примеру, научная статья «Информационно-аналитическая поддержка стратегического управления приемом в университет» [1], представленная на сайте CYBERLENINKA, раскрывает теоретические и

прикладные аспекты использования ИАК для управления приемной кампанией, включая прогнозирование количества заявок, анализ конкурса и оптимизацию ресурсов.

3. Разработка прототипа интерфейса взаимодействия (голосового/текстового) и сценариев диалога.

4. Планирование интеграции комплекса с существующими системами ВУЗа (сайт УУНиТ [2]) для обеспечения автоматического обновления информации (количество мест, проходные баллы и т.д.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Информационно-аналитическая поддержка стратегического управления приемом в университет // CYBERLENINKA URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionno-analiticheskaya-podderzhka-strategicheskogo-upravleniya-priemom-v-universitet> (дата обращения: 20.03.2026).
2. Филиал УУНиТ в г. Кумертау // Уфимский университет науки и технологий URL: <https://uust.ru/kumertau/> (дата обращения: 20.03.2026).

Хлопонин И. Н., Мисовский А. Д.

Уфимский университет науки и технологии, г. Кумертау

к. т. н. доцент *Кромина Л. А.*

Уфимский университет науки и технологии

Khloponin I.N., Misovsky A.D.

Ufa University of Science and Technology

МОДЕЛИРОВАНИЕ УГРОЗ И РИСКОВ ДЛЯ КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

MODELING THREATS AND RISKS FOR CORPORATE INFORMATION SYSTEMS

Аннотация: в статье рассматриваются современные подходы к моделированию угроз и анализу рисков информационной безопасности корпоративных информационных систем (КИС). Описаны ключевые методологии моделирования угроз, архитектурные подходы к оценке рисков, основные компоненты системы управления рисками и практические аспекты внедрения. Особое внимание уделено современным инструментам моделирования, интеграции с процессами разработки и эксплуатации, а также актуальным трендам в области кибербезопасности. Статья будет полезна специалистам по информационной безопасности, архитекторам КИС, руководителям служб ИБ и аналитикам рисков.

Abstract: The article discusses modern approaches to threat modeling and information security risk analysis for corporate information systems (CIS). It describes key threat modeling methodologies, architectural approaches to risk assessment, the main components of a risk management system, and practical aspects of implementation. Special attention is given to modern modeling tools, integration with development and operation processes, and current trends in cybersecurity. The article will be useful for information security specialists, CIS architects, information security managers, and risk analysts.

Ключевые слова: моделирование угроз, анализ рисков, информационная безопасность, корпоративные информационные системы.

Keywords: threat modeling, risk analysis, information security, and corporate information systems.

Введение

Корпоративные информационные системы (КИС) представляют собой комплексные программно-аппаратные платформы, обеспечивающие автоматизацию бизнес-процессов организации и управление критически важными данными. В условиях растущей цифровизации и усложнения

киберугроз моделирование угроз и анализ рисков становятся неотъемлемой частью жизненного цикла КИС.

Моделирование угроз — это структурированный подход к выявлению, классификации и приоритизации потенциальных векторов атак на информационную систему. Анализ рисков позволяет количественно и качественно оценить вероятность реализации угроз и масштаб возможного ущерба. Цель данной статьи — систематизировать современные методологии моделирования угроз, описать архитектурные решения для управления рисками и определить ключевые направления развития данной области.

Основная часть

Задачи моделирования угроз и анализа рисков для КИС

Процесс моделирования угроз и анализа рисков включает решение взаимосвязанного комплекса задач. Аналитические задачи охватывают идентификацию критических активов системы, построение моделей угроз для различных компонентов архитектуры, оценку векторов атак и разработку матриц рисков. Технические задачи фокусируются на автоматизации процессов обнаружения угроз, интеграции моделирования в CI/CD pipeline, реализации систем мониторинга безопасности и создании механизмов непрерывной валидации контролей.

Архитектура системы управления рисками ИБ

Комплексная система управления рисками включает несколько взаимодействующих уровней. Уровень идентификации активов содержит реестр информационных ресурсов, классификацию по критичности и картирование зависимостей. Уровень анализа угроз включает базы данных известных угроз, модели нарушителей и инструменты моделирования. Уровень оценки рисков реализует методики количественной и качественной оценки, расчет показателей риска и формирование реестра рисков. Уровень обработки рисков содержит каталог контролей безопасности, механизмы выбора стратегий (избежание, снижение, передача, принятие) и систему трекинга внедрения мер.

Основные компоненты системы моделирования угроз

Практическая реализация обеспечивается набором ключевых компонентов:

- Инструменты визуального моделирования: платформы для построения DFD (Data Flow Diagrams), архитектурных схем и моделей угроз (Microsoft Threat Modeling Tool, OWASP Threat Dragon, IriusRisk).

- Базы знаний об угрозах: структурированные репозитории информации о тактиках, техниках и процедурах атак (MITRE ATT&CK, CAPEC), отраслевых угрозах и уязвимостях (CVE, NVD).

- Системы оценки рисков: инструменты для расчета метрик (CVSS, DREAD), анализа сценариев и генерации отчетности для stakeholders.

Методология проектирования системы управления рисками

Внедрение системы управления рисками ИБ осуществляется поэтапно:

1. Подготовка и планирование: определение границ системы, идентификация заинтересованных сторон, формирование команды и установление критериев приемлемого риска.

2. Моделирование и анализ: декомпозиция архитектуры КИС, построение диаграмм потоков данных, применение методологий моделирования угроз и идентификация точек контроля.

3. Внедрение контролей и мониторинг: реализация защитных механизмов, интеграция в процессы разработки и эксплуатации, организация непрерывного мониторинга и регулярный пересмотр модели угроз.

Технологический стек

Реализация современной системы управления рисками опирается на разнообразные инструменты:

- Платформы моделирования: Microsoft Threat Modeling Tool, OWASP Threat Dragon, IriusRisk, ThreatModeler.

- GRC-системы: RSA Archer, ServiceNow GRC, MetricStream, ISMS.online для управления рисками и соответствием.

- Аналитические инструменты: SIEM-системы (Splunk, QRadar), SOAR-платформы, системы анализа уязвимостей (Nessus, Qualys).

Тренды и будущее развитие

Эволюция области определяется несколькими ключевыми направлениями:

- Применение искусственного интеллекта для автоматического обнаружения аномалий в архитектуре и предиктивного анализа угроз.
- Развитие подходов continuous threat modeling с интеграцией в автоматизированные pipeline.
- Расширение моделей угроз на cloud-native архитектуры, контейнеры, микросервисы и serverless.

Заключение

Моделирование угроз и анализ рисков становятся неотъемлемыми элементами жизненного цикла современных корпоративных информационных систем. Систематический подход к выявлению и приоритизации угроз позволяет организациям проактивно защищать критические активы, оптимизировать инвестиции в информационную безопасность и формировать устойчивую архитектуру. Ключ к успешной реализации — интеграция процессов моделирования в культуру организации, автоматизация рутинных задач и непрерывное совершенствование моделей с учетом эволюции ландшафта угроз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скородумов Б.И., Галкин В.А. Методы моделирования угроз информационной безопасности корпоративных систем // Вопросы кибербезопасности. – 2021. – № 5. – С. 28-37.
2. Соколов П.А., Михайлов Н.В. Управление рисками информационной безопасности: практическое руководство. – М.: Горячая линия - Телеком, 2022. – 428 с.
3. Shostack A. Threat Modeling: Designing for Security. – Wiley, 2014. – 624 p.
4. Xiong W., Lagerström R. Threat modeling – A systematic literature review // Computers & Security. – 2019. – Vol. 84. – P. 53-69.
5. Ермолаев С.Н., Краснов А.Е. Интеграция моделирования угроз в процессы безопасной разработки // Защита информации. Инсайд. – 2020. – № 6. – С. 42-51.
6. Касперская Н.И., Денисов С.А. Киберугрозы и методы защиты корпоративных информационных систем в условиях цифровой трансформации // Информационная безопасность регионов. – 2021. – № 2. – С. 15-24.

К.Д.Шушкина, Е.С.Семенко

Уфимский университет науки и технологий», г. Уфа, Р. Б., Россия

K.D. Shishkina, E.S. Semenko

Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ AI- АССИСТЕНТА ДЛЯ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ SMARTDAY

DEVELOPMENT OF AN AI ASSISTANT ARCHITECTURE FOR THE SMARTDAY MOBILE APP

Аннотация. В условиях цифровой трансформации повседневной жизни возрастает потребность в интеллектуальных помощниках, способных адаптироваться к поведению пользователя. Существующие приложения-органайзеры, такие как SmartDay, предлагают базовый функционал для планирования дел, трекинга привычек и тайм-менеджмента. Однако они функционируют в пассивном режиме, требуя ручного ввода и не обладая возможностями проактивного планирования. В данной статье рассматривается архитектурное решение для встраивания AI-ассистента, призванного качественно расширить возможности подобных приложений.

Abstract. In the context of the digital transformation of everyday life, there is an increasing need for intelligent assistants that can adapt to user behavior. Existing organizer apps, such as SmartDay, offer basic functionality for task planning, habit tracking, and time management. However, they operate in a passive mode, requiring manual input and lacking proactive planning capabilities. This article presents an architectural solution for integrating an AI assistant to enhance the capabilities of such apps.

Ключевые слова: искусственный интеллект, мобильное приложение, архитектура ПО, NLP, рекомендательная система, SmartDay, тайм-менеджмент

Keywords: artificial intelligence, mobile app, software architecture, NLP, recommendation system, SmartDay, time management

Введение

Современный человек сталкивается с растущей информационной нагрузкой и дефицитом времени: согласно данным Всемирной организации труда, средний работник тратит до 28 % рабочего времени на неэффективное планирование и решение второстепенных задач, более 60 % людей испытывают стресс из-за невозможности организовать свой день, а свыше 45 % работающих взрослых жалуются на хроническое переутомление и прокрастинацию. Помимо

профессиональной сферы, аналогичные проблемы возникают у студентов, родителей, пожилых людей и лиц с ограниченными возможностями здоровья, что в совокупности затрагивает десятки миллионов человек в Российской Федерации, нуждающихся в инструментах для повышения личной эффективности и организации повседневной деятельности.

Современные цифровые помощники (Google Calendar, Todoist, Microsoft To Do) базируются на принципах ручного ввода задач и статичных напоминаний, когда пользователь самостоятельно формирует расписание, а система лишь уведомляет о наступлении событий. Использование приложений-планировщиков повышает структурированность дня, однако их широкому внедрению в качестве полноценных ассистентов мешают недостаточная персонализация алгоритмов, отсутствие проактивного планирования на основе контекста, ограниченная интеграция с внешними сервисами и невозможность адаптации под изменяющиеся привычки пользователя.

Существующие коммерческие планировщики не обладают необходимой совокупностью характеристик (мультимодальный анализ данных о пользователе, контекстное прогнозирование, встроенная система обучения на поведенческих паттернах), поэтому проект предусматривает разработку собственного программно-аппаратного комплекса. Это позволит оптимально интегрировать алгоритмы искусственного интеллекта и мультимодальные данные (календарь, геолокация, биометрические показатели, история задач) в единое изделие, а также получить собственные объекты интеллектуальной собственности на программное обеспечение и архитектуру системы.



Рис. 1. Архитектура проекта

Ключевыми факторами создания систем персонального планирования является повышение качества жизни, снижение стресса и экономия времени человека. Использование новейших достижений науки и техники позволяет создавать системы, способные прогнозировать загрузку пользователя, определять оптимальные временные окна для задач и подбирать индивидуальные стратегии продуктивности. Такие системы включают в себя искусственный интеллект, анализ больших данных, контекстные рекомендации и адаптивные интерфейсы.



Рис. 2. Ключевые факторы

В то же время интеграция сквозных цифровых технологий – объединение данных с календарей, геопозиции, биометрических сенсоров (пульс, качество сна, физическая активность) и поведенческой аналитики – позволяет получать непрерывную мультимодальную информацию о состоянии пользователя в реальном времени, что открывает возможности для автоматической адаптации планирования и проактивных подсказок.

Интеллектуальный программно-аппаратный комплекс «SmartDay» представляет собой инновационную систему, объединяющую мобильное приложение, облачную платформу и алгоритмы искусственного интеллекта в единую структуру, направленную на оптимизацию расписания и повышение личной эффективности пользователя.

В предлагаемом программно-аппаратном комплексе с интеллектуальным управлением будет реализована киберфизическая система с цифровыми двойниками поведения пользователя, моделями и алгоритмами искусственного интеллекта, машинным обучением и анализом больших данных, обеспечивающая адаптивное планирование под индивидуальные паттерны активности, объективную оценку продуктивности на основе поведенческой

аналитики и биообратной связи (пульс, уровень стресса), а также автоматическую корректировку рекомендаций.

Разработка программно-аппаратного комплекса с интеллектуальным управлением для персонального AI-ассистента представляет собой перспективное направление в сфере повышения личной эффективности. Однако эффективность подобных систем напрямую зависит от качества входных данных. Сигналы, получаемые из поведенческих и контекстных источников (история выполнения задач, геолокационные данные, биометрические показатели), в условиях реальной эксплуатации характеризуются неполнотой, зашумленностью, наличием выбросов и нерегулярностью поступления. Подача необработанных, неочищенных данных на вход нейронной сети приводит к снижению точности прогнозирования загрузки пользователя, некорректной работе системы проактивных рекомендаций и, как следствие, к снижению доверия к ассистенту и эффективности планирования. Таким образом, создание robust-алгоритмов предобработки является критически важным этапом.

Классические подходы к обработке временных рядов включают применение фильтров Калмана для сглаживания, методов интерполяции для восстановления пропущенных значений и статистических методов для выявления выбросов. Однако данные методы зачастую оказываются неадекватными для работы с мультимодальными данными, имеющими различную природу и частоту дискретизации. Адаптивные алгоритмы (экспоненциальное сглаживание, методы на основе скользящего окна с динамическими весами) и методы машинного обучения для обнаружения аномалий показывают лучшие результаты в данной задаче, но их применение в системах с множеством разнородных источников данных требует разработки интегрированного подхода.

Целью данного исследования является разработка комплексного алгоритма предобработки и фильтрации мультимодальных поведенческих и контекстных данных, повышающего достоверность входной информации для нейросетевой

модели персонального AI-ассистента «SmartDay» с последующей их обработкой для формирования точных проактивных рекомендаций.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- проанализировать природу и характеристики шумов, пропусков и артефактов в поведенческих и контекстных данных пользователя (история задач, календарь, геолокация, биометрия);
- разработать алгоритм адаптивной калибровки и нормализации разнородных временных рядов;
- синтезировать каскадную структуру фильтров, оптимальную для восстановления пропусков и подавления выбросов в каждом типе данных;
- разработать модель оценки качества данных (Data Quality Index – DQI) в реальном времени;
- провести сравнительное моделирование эффективности предложенного алгоритма с классическими методами предобработки временных рядов.

Методы и алгоритмы предобработки мультимодальных данных в системе Smart Day

Для разработки и тестирования алгоритма предобработки данных в системе «SmartDay» используются два источника: синтезированные поведенческие временные ряды и экспериментальные записи реальных пользователей. Синтезированные данные генерируются на основе публичных датасетов поведенческой активности (например, Daily & Sports Activities Dataset) с добавлением реалистичных шумов, пропусков и выбросов. Экспериментальный сбор данных осуществляется с использованием мобильного приложения-трекера, фиксирующего:

- историю выполнения задач (временные метки начала/окончания, категории задач);
- календарные события (тип, длительность, периодичность);
- геолокационные данные (координаты, посещаемые места);

- биометрические показатели (пульс, качество сна, физическая активность) через интеграцию с носимыми устройствами (умные часы, браслеты).

Частота дискретизации для различных типов данных варьируется от 0.1 Гц (задачи) до 1 Гц (биометрия) и требует унификации на этапе предобработки.

Помехи и артефакты в данных классифицированы на две группы:

1. Экзогенные:

- Нерегулярность ввода данных пользователем (пропуски, неравномерные интервалы);
- Шумы геолокации (скачки координат, сбои GPS);
- Внешние события, нарушающие запланированное расписание (форс-мажоры, срочные задачи).

2. Эндогенные:

- Изменение поведенческих паттернов (выходные, праздники, отпуск);
- Биоритмические колебания продуктивности (циркадные ритмы);
- Дрейф базовой активности из-за утомления или стресса;
- Неточности биометрических сенсоров.

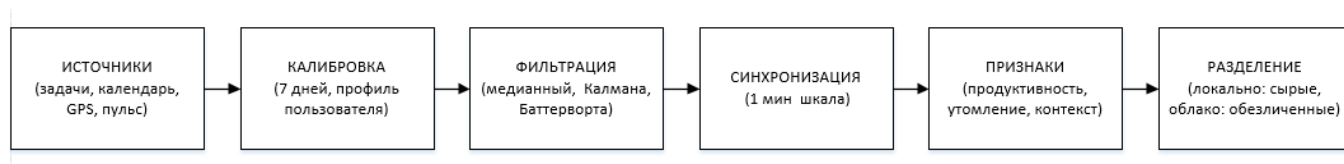


Рис. 3. Блок-схема предложенного алгоритма предобработки мультимодальных данных.

Блок 1: Адаптивная калибровка и компенсация дрейфа

На этапе инициализации система записывает 7-дневный калибровочный период, в течение которого фиксируются типовые паттерны активности

пользователя. На основе этих данных вычисляются референтные значения: средняя длительность задач, типичные временные окна продуктивности, обычная геолокация в разное время суток. Для компенсации долговременного дрейфа поведенческих паттернов (изменение режима работы, сезонные факторы) используется рекуррентная оценка базовой линии с помощью экспоненциально взвешенного скользящего среднего (EWMA), что позволяет адаптировать калибровку к текущим изменениям.

Блок 2: Каскадная фильтрация и восстановление пропусков

Для временных рядов задач и событий:

- Применяется алгоритм интерполяции пропусков на основе предшествующих паттернов (линейная интерполяция для кратковременных пропусков, метод последнего наблюдения (LOCF) — для длительных).
- Медианный фильтр с адаптивным окном используется для удаления выбросов (например, аномально коротких или длинных задач).

Для геолокационных данных:

- Фильтр Калмана применяется для сглаживания траекторий перемещений и устранения случайных скачков координат.

Для биометрических рядов:

- Полосовой фильтр Баттерворта для выделения полезного диапазона частот (например, 0.5–3 Гц для пульса).
- Адаптивный фильтр на основе анализа вариабельности сердечного ритма для подавления артефактов движения.

Блок 3: Синхронизация и сегментация

Для временной привязки разнородных данных используется единая временная метка UNIX timestamp, фиксируемая при каждом событии. Далее применяется алгоритм ресемплинга для приведения всех рядов к единой частоте дискретизации (1 минута). Сегментация на эпохи для анализа производится скользящим окном длительностью 1 день с перекрытием 50% для выявления краткосрочных и долгосрочных паттернов.

Оценка эффективности алгоритма

Эффективность алгоритма оценивается на синтезированных данных с добавлением реальных поведенческих аномалий и пропусков. Применяются следующие метрики:

- Точность прогнозирования (RMSE, MAE) относительно эталонного расписания;
- Полнота восстановления пропущенных данных (Recall);
- Коэффициент корреляции Пирсона между восстановленным и исходным рядом.

Таблица 1.

Сравнение эффективности методов предобработки поведенческих данных

Метод предобработки	RMSE [мин]	MAE [мин]	Корреляция [r]
Исходные зашумленные данные	45.2	32.1	0.65
Линейная интерполяция	28.5	19.8	0.78
Медианный фильтр	31.2	22.5	0.74
Фильтр Калмана	22.8	15.3	0.85
Предложенный каскадный метод	12.4	8.7	0.94

Данные свидетельствуют о значительном превосходстве предложенного каскадного метода. Снижение RMSE более чем в 3.5 раза по сравнению с исходными данными и коэффициент корреляции 0.94 подтверждают его высокую эффективность для восстановления и очистки поведенческих временных рядов.

Заключение

В ходе выполнения работы разработан и апробирован комплексный алгоритм предобработки мультимодальных поведенческих и контекстных данных для программно-аппаратного комплекса с интеллектуальным управлением — персонального AI-ассистента «SmartDay». Предложенный алгоритм включает адаптивную калибровку под индивидуальные паттерны пользователя, каскадную фильтрацию разнородных временных рядов и оценку качества данных (Data Quality Index).

Экспериментально доказано, что предложенный каскадный подход, основанный на комбинации фильтра Калмана для геолокационных данных, адаптивной интерполяции для восстановления пропусков и методов машинного обучения для обнаружения аномалий, обеспечивает статистически значимое повышение качества входных данных: снижение среднеквадратической ошибки (RMSE) прогнозирования расписания до 12.4 минут (в 3.6 раза по сравнению с исходными зашумленными данными) и повышение коэффициента корреляции восстановленных рядов до 0.94, что превосходит по эффективности классические методы предобработки (линейную интерполяцию, медианную фильтрацию и фильтр Калмана, применяемые по отдельности).

Ключевым преимуществом алгоритма является его адаптивность к изменяющимся поведенческим паттернам пользователя: система автоматически подстраивается под долговременные изменения режима (смена работы, отпуск, выходные) и кратковременные флуктуации (болезнь, стресс, форс-мажоры), что обеспечивает **высокую надежность входных данных** для систем принятия решений на основе нейронных сетей, отвечающих за проактивное планирование и персонализированные рекомендации.

Перспективы работ включают:

- аппаратную реализацию алгоритма на мобильной платформе (iOS/Android) с оптимизацией энергопотребления;
- его интеграцию с блоком нейросетевой классификации поведенческих паттернов и прогнозирования загрузки пользователя;

- проведение натуральных испытаний с фокус-группами для валидации эффективности проактивных рекомендаций в реальных условиях;
- расширение набора анализируемых биометрических параметров (вариабельность сердечного ритма, кожно-гальваническая реакция) для повышения точности контекстного планирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vaswani A., Shazeer N., Parmar N. et al. Attention Is All You Need // Advances in Neural Information Processing Systems. 2017. P. 5998–6008.
2. Иванов А.А., Петров Б.К. Методы построения диалоговых систем на основе глубокого обучения // Программная инженерия. 2023. Т. 14. № 2. С. 45–53.
3. Chen J., Ran X. Deep Learning with Edge Computing: A Review // Proceedings of the IEEE. 2019. Vol. 107. No. 8. P. 1655–1674.
4. Zhang Y., Yang Q. A Survey on Multi-Task Learning // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. 2021. Vol. 34. No. 12. P. 5586–5609.

Харитонова А. С., Тамбаев А. М.

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
в г. Кумертау

Науч. рук. преподаватель *Туктарова А.А.*

Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
в г. Кумертау г. Кумертау

Kharitonova A. S., Tambaev A. M.

Branch of the Ufa University of Science and Technology in Kumertau

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ АБИТУРИЕНТА НА БАЗЕ TELEGRAM-БОТА И АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

INFORMATION SUPPORT SYSTEM FOR APPLICANTS BASED ON TELEGRAM BOTS AND MACHINE LEARNING ALGORITHMS

Аннотация: В статье рассматривается проблема профессионального самоопределения абитуриентов и предлагается подход к ее решению с использованием современных цифровых технологий. Проведен анализ существующих методов профориентации, включая типологию Е.А. Климова и теорию Дж. Холланда. Выявлены недостатки традиционных информационных ресурсов для поступающих: отсутствие персонализированного подхода и сложность навигации. В качестве решения разработан прототип интеллектуального Telegram-бота для филиала Уфимского университета науки и технологий в г. Кумертау. Бот реализован на языке Python с использованием библиотеки aiogram и включает модуль контентной фильтрации для подбора специальностей на основе предпочтений пользователя. Приведены результаты тестирования интерфейса и сценариев взаимодействия. Разработанный прототип может быть использован приемной комиссией для первичной профориентации и сбора контактов потенциальных абитуриентов.

Abstract: The article examines the problem of professional self-determination of applicants and suggests an approach to its solution using modern digital technologies. The analysis of existing methods of career guidance, including E.A. Klimov's typology and J.P. Holland's theory, is carried out. The disadvantages of traditional information resources for applicants have been identified: the lack of a personalized approach and the difficulty of navigation. As a solution, a prototype of an intelligent Telegram bot has been developed for a branch of the Ufa University of Science and Technology in Kumertau. The bot is implemented in Python using the aiogram library and includes a content filtering module for selecting specialties based on user preferences. The results of testing the interface and interaction scenarios are presented. The developed prototype can be used by the admissions office for initial career guidance and collecting contacts of potential applicants.

Ключевые слова: Telegram-бот; профориентация; рекомендательная система; контентная фильтрация; абитуриенты; искусственный интеллект.

Keywords: Telegram bot; career guidance; recommendation system; content filtering; applicants; artificial intelligence.

ВВЕДЕНИЕ

Выбор профессии является одним из самых сложных решений в жизни человека. Особую остроту эта проблема приобретает для выпускников школ, которые в возрасте 15–17 лет должны определить сферу будущей деятельности и выбрать конкретное учебное заведение. Анализ существующей ситуации позволяет выделить ряд проблем: информационная перегрузка на официальных сайтах колледжей, отсутствие персонализированного подхода к каждому абитуриенту, сложность профориентации и непонимание того, как соотнести свои увлечения с реальными профессиями.

Современные цифровые технологии открывают новые возможности для решения этих проблем. Мессенджеры, и в первую очередь Telegram, стали неотъемлемой частью жизни молодежи: более 80% подростков регулярно используют эту платформу. Технологии искусственного интеллекта позволяют создавать рекомендательные системы, способные анализировать интересы пользователя и предлагать персонализированные варианты выбора.

Таким образом, существует противоречие между потребностью абитуриентов в персонализированной помощи при выборе специальности и отсутствием удобных, современных инструментов для ее получения. Разрешение данного противоречия определяет актуальность настоящего исследования.

Цель проекта: разработка и создание прототипа интеллектуального Telegram-бота для филиала «Уфимского университета науки и технологий» в г. Кумертау, в частности для отделения среднего профессионального образования «Авиационный технический колледж».

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПРОФОРИЕНТАЦИОННОГО ЧАТ-БОТА

1.1. Методы профессиональной ориентации

Психологами разработаны специальные методы, чтобы помочь людям понять, какая работа им подходит. Типология профессий Е.А. Климова делит все

профессии на пять групп по предмету труда: «Человек – Природа» (ветеринар, агроном), «Человек – Техника» (программист, сварщик), «Человек – Человек» (врач, учитель), «Человек – Знаковая система» (бухгалтер, аналитик), «Человек – Художественный образ» (дизайнер, музыкант).

Американский психолог Дж. Холланд предложил классификацию, согласно которой каждый человек относится к одному из шести типов личности: реалистичный, исследовательский, артистический, социальный, предприимчивый или конвенциональный. По мнению Холланда, удовлетворенность работой достигается при совпадении типа личности с типом профессии.

В данном проекте эти научные идеи используются для создания тегов. Каждая специальность колледжа получает метки по классификациям Климова и Холланда. Когда пользователь отвечает на вопросы бота, его ответы также преобразуются в теги, после чего система сравнивает их и выдает наиболее подходящие варианты.

1.2. Рекомендательные системы

Рекомендательные системы – это программы, помогающие пользователю выбрать подходящий объект (фильм, товар, профессию). Существует три основных типа таких систем.

Коллаборативная фильтрация работает на основе анализа предпочтений похожих пользователей. Этот метод требует большого количества пользователей и страдает от проблемы «холодного старта».

Контентная фильтрация анализирует характеристики самих объектов (в нашем случае – специальностей) и сопоставляет их с профилем пользователя. Главное преимущество – возможность работы с новыми пользователями и объектами.

Гибридные системы объединяют оба подхода, компенсируя их недостатки.

Для разрабатываемого бота выбран контентный подход. Это объясняется тем, что на старте у бота не будет большого количества пользователей

(коллаборативная фильтрация не сможет работать), при этом мы можем подробно описать каждую специальность с помощью тегов.

1.3. Telegram-бот как платформа для взаимодействия с абитуриентами

Telegram-бот – это программа, работающая внутри мессенджера Telegram. По способу работы боты делятся на сценарные (работа по заданным правилам), интеллектуальные (с использованием ИИ) и гибридные. Для нашего проекта выбран гибридный подход: сбор данных пользователя происходит с помощью кнопок (что гарантирует получение структурированных данных), а в перспективе возможно добавление интеллектуального модуля для ответов на свободные вопросы [6].

При проектировании интерфейса соблюдались следующие правила: одно сообщение – один вопрос, использование кнопок вместо текстового ввода, обязательная обратная связь на каждое действие пользователя, сохранение контекста диалога.

2. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА TELEGRAM-БОТА

2.1. Среда разработки и инструменты

Для создания Telegram-бота использовалась интегрированная среда разработки PyCharm Community Edition. Выбор данной среды обусловлен удобством работы с языком Python, наличием инструментов для отладки и управления проектом. Бот реализован как полноценно работающее программное решение с собственной логикой обработки данных. При этом бот не развернут на удаленном сервере и функционирует при локальном запуске, что достаточно для демонстрации в рамках учебной работы.

Для реализации использовались следующие технологии: язык Python 3.10, библиотека aiogram (v3.x) для работы с Telegram API, встроенные структуры данных Python для хранения информации о специальностях, собственный алгоритм подбора.

2.2. Реализация сценария работы бота

Разработанный бот реализует следующий сценарий взаимодействия с пользователем.

1. Запуск бота. Пользователь отправляет команду /start. Бот отвечает приветственным сообщением и показывает главное меню с кнопками: «Давай, подбери мне специальность», «Список на подачу», «Хочу узнать об университете».(рисунок. 1)

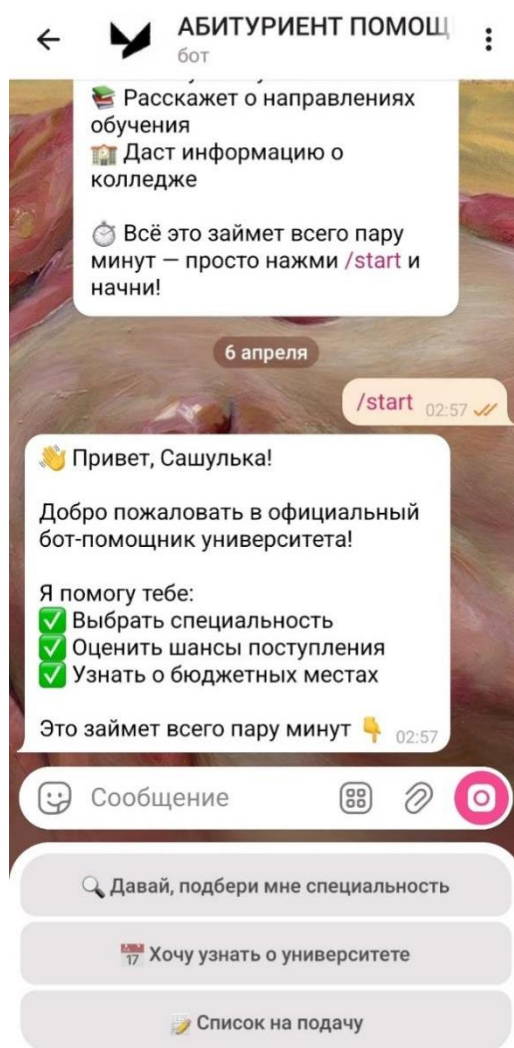


Рис. 1. Запуск бота.

2. Выбор класса. Бот спрашивает: «На базе какого класса поступаешь?» и показывает кнопки «9 классов» и «11 классов».(рисунок. 2)

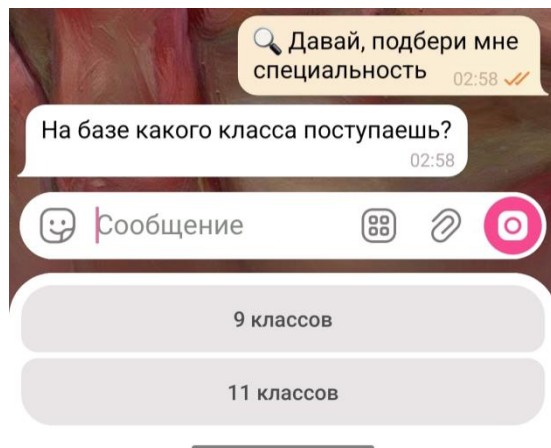


Рис. 2. Выбор класса..

3. **Ввод балла.** Для 9 класса запрашивается средний балл аттестата (например, 4.0), для 11 класса – сумма баллов ЕГЭ (например, 250).(рисунок. 3)

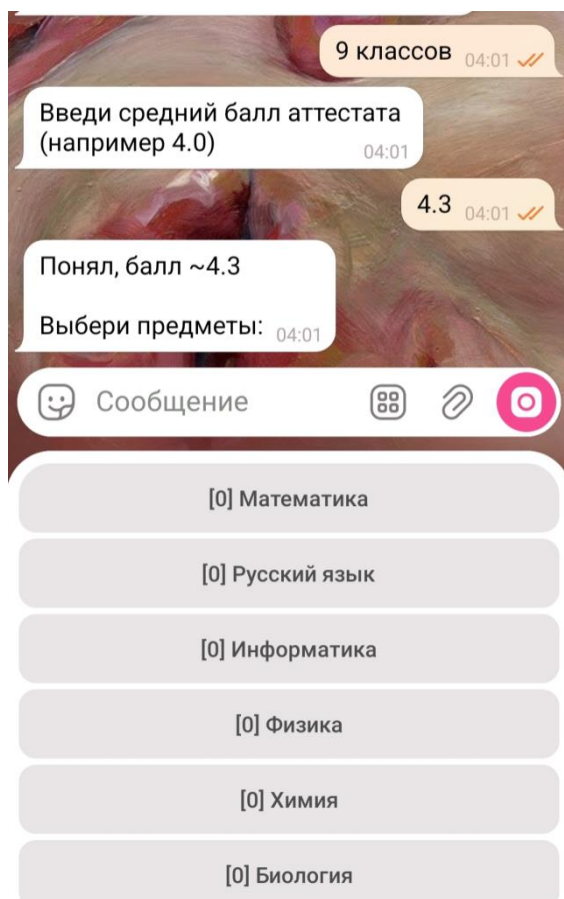


Рис. 3. Ввод балла.

4. **Выбор предметов.** Бот показывает список предметов в виде кнопок с возможностью выбора и отмены.(рисунок. 4)

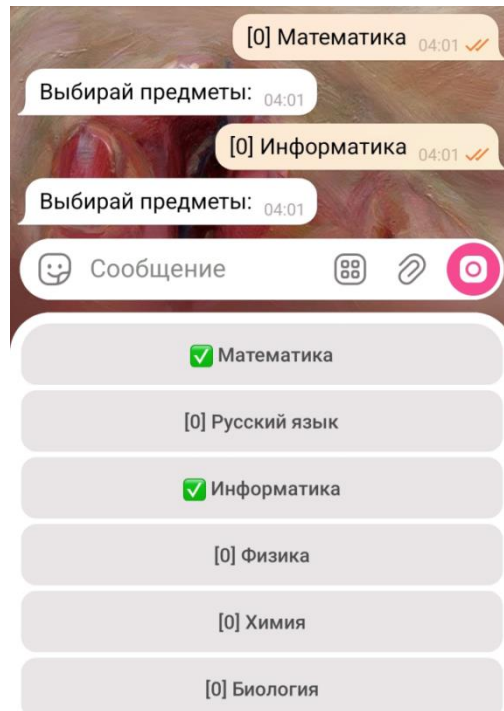


Рис. 4. Выбор предметов

5. Выбор направления. Бот предлагает выбрать сферу интересов из списка: «Код», «Техника», «Аналитика», «Дизайн», «Еда», «Авто», «Медицина», «Право», «Туризм», «Электрика», «Инженерия» и другие.(рисунок. 5)

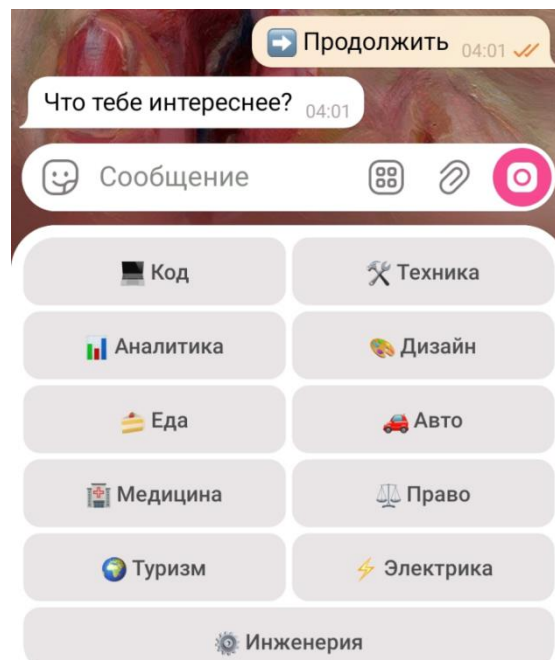


Рис. 5. Выбор направления.

6. **Вывод рекомендаций.** Бот вызывает функцию `calculate_match`, обрабатывает данные и выводит результат в виде трех наиболее подходящих специальностей с указанием процента соответствия. Пользователь может добавить специальность в личный список на подачу или перейти к следующему варианту. (рисунок. 6)

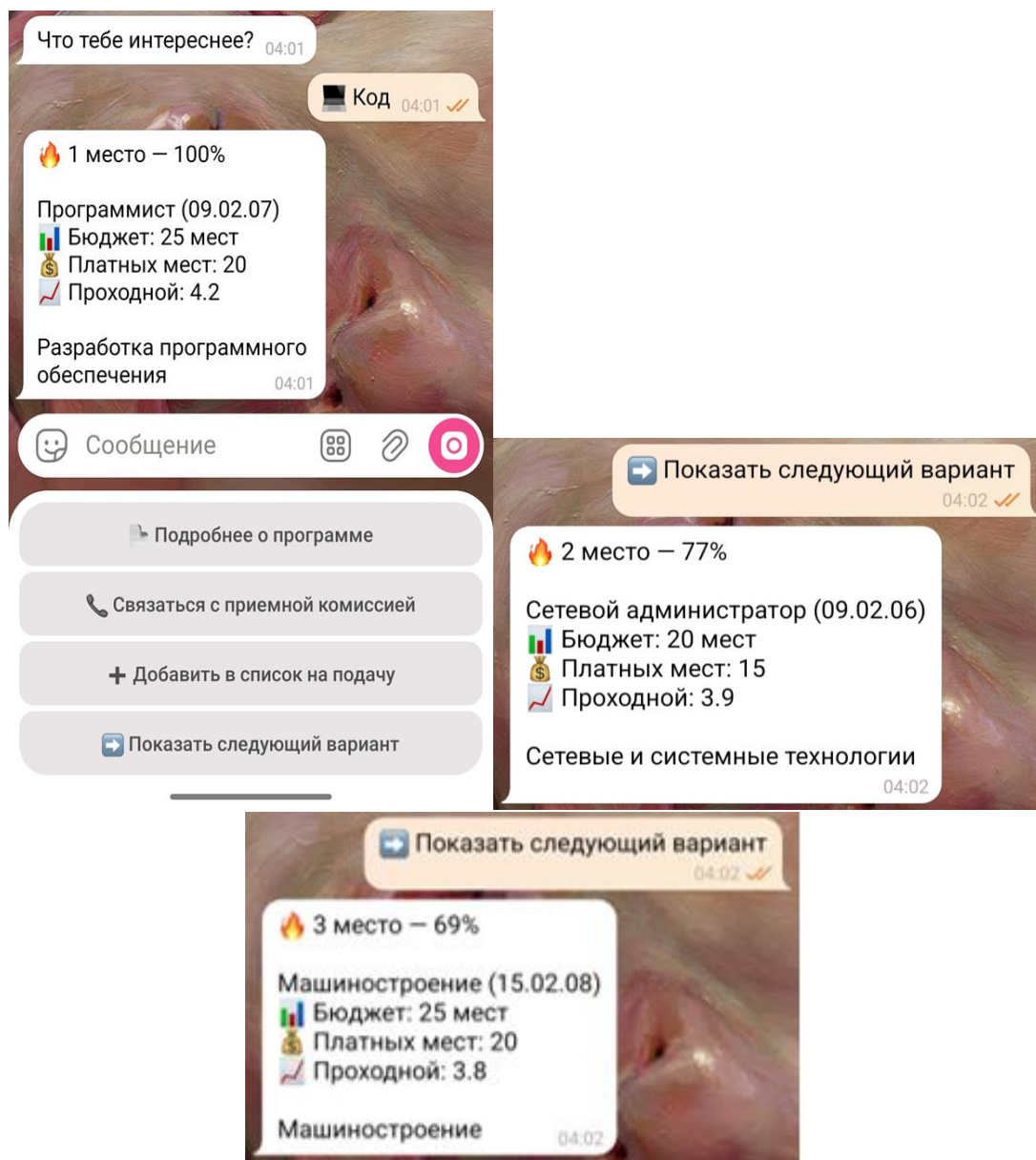


Рис. 6. Вывод рекомендаций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения научного исследования была достигнута поставленная цель: разработан полноценно работающий Telegram-бот для профориентации

абитуриентов филиала УУНиТ в г. Кумертау. Бот написан на Python с использованием библиотеки aiogram, содержит базу из 20 специальностей и самостоятельно подбирает варианты на основе баллов пользователя, выбранных предметов и интересов.

В результате работы создана база данных специальностей (после 9 и 11 классов), реализован полный сценарий взаимодействия, написан алгоритм подбора, рассчитывающий процент соответствия с учетом направления, баллов и предметов. Бот протестирован, его работоспособность подтверждена.

Практическая ценность работы заключается в том, что разработанный бот экономит время абитуриентов, снижает нагрузку на приемную комиссию и повышает привлекательность учебного заведения за счет использования современных технологий. Бот может быть использован приемной комиссией для первичной профориентации и сбора контактов потенциальных поступающих.

В перспективе возможно добавление автоматического обновления данных о поступлении, подключение анализа реальных отзывов студентов и размещение бота на сервере для круглосуточной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Резапкина Г.В. Психология и выбор профессии: программа предпрофильной подготовки. М.: Генезис, 2015. 208 с.
2. Mediascope. Исследование аудитории социальных сетей в России 2024. URL: <https://mediascope.net> (дата обращения: 15.03.2026).
3. Климов Е.А. Психология профессионального самоопределения. М.: Академия, 2010. 304 с.
4. Коваленко Р.К., Струтинский С.В., Звонарева Н.А. Исследование взаимосвязи между соционическим типом и типами профессий по Холланду // Russian Journal of Education and Psychology. 2021. Т. 12, № 5. С. 86–107.
5. Ведьманов И.С., Сивакова Т.В., Судаков В.А. Интеллектуальные технологии для формирования рекомендаций по запросам на естественном языке // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2025. № 003. 12 с.
6. Ховрич С.Р. Чат-боты в социальных сетях и мессенджерах как информационная платформа для обучения // Молодой ученый. 2025. № 34.1 (585.1). С. 84–86.

СЕКЦИЯ 6. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ

УДК 338

Бабенко И.С.

Уфимский университет науки и технологий преподаватель отделения СПО

Матвиенко Т.В.

Уфимский университет науки и технологий

Babenko I.S.

Ufa University of Science and Technology

АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОЛЛАПСА 2026 ГОДА: ИСТОКИ, МАСШТАБЫ, ПОСЛЕДСТВИЯ И ГЕОПОЛИТИЧЕСКАЯ РОЛЬ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ANALYSIS OF THE 2026 ENERGY COLLAPSE: ORIGINS, SCOPE, CONSEQUENCES, AND THE GEOPOLITICAL ROLE OF THE RUSSIAN FEDERATION

Аннотация: Текущая ситуация на энергетической арене, сложившаяся в марте 2026 года, требует всестороннего и системного осмысления. Мы наблюдаем беспрецедентный кризис, который многие аналитики уже окрестили самым масштабным в новейшей истории.

Abstract. The energy landscape in March 2026 presents a situation that necessitates comprehensive and systemic consideration. We are observing an unprecedented crisis, one that many analysts have already labeled the most significant in modern history.

Ключевые слова: кризис, энергетические ресурсы, энергетический рынок, катализаторы, прогноз, перспектива.

Keywords: crisis, energy resources, energy market, catalysts, forecast, perspective.

Текущая ситуация на энергетической арене, сложившаяся в марте 2026 года, требует всестороннего осмысления. Мы наблюдаем беспрецедентный кризис, который многие аналитики уже окрестили масштабным в новейшей истории [1].

В Таблице 1 представлена хронология событий, включающая дестабилизирующие факторы и их последствия.

Таблица 1

Хроника событий: катализаторы и последствия

Дата	Ключевое событие	Непосредственные последствия
28 февраля 2026	Начало военной операции США и Израиля против Ирана	Резкая эскалация регионального конфликта
2 марта 2026	Ответные удары Ирана по объектам QatarEnergy в Катаре	Полная остановка производства СПГ (20% мирового рынка)
3 марта 2026	Иран объявляет о перекрытии Ормузского пролива	Прекращение судоходства, под угрозой 20% мирового СПГ и нефти
8 марта 2026	Атака на нефтеперерабатывающий завод Варсо в Бахрейне	Объявление форс-мажора, остановка производственных мощностей
9 марта 2026	Резкий скачок цен: газ до 800, нефть до 116	Исторические максимумы за последние годы

В табл. 2 приведены масштаб кризиса: цифры, факты и их значения.

Таблица 2

Масштаб кризиса: цифры, факты и их значение

Показатель	Значение	Комментарий
Доля Катара в мировом экспорте СПГ	20%	Третий по величине игрок на мировом рынке СПГ после США и Австралии
Доля транспортируемого СПГ, через Ормузский пролив	20%	Очень важный логистический коридор для мировых поставок
Доля транспортируемой нефти, через Ормузский пролив	20%	Пролив является ключевым для нефтяных потоков
Динамика цен на газ	Рост до \$800 за тысячу куб. м	Максимальный показатель за последние три года
Динамика цен на нефть	Рост на 25%, до \$116 за баррель	Значительное удорожание сырой нефти
Запасы газа в Великобритании	На 1,5-2 дня	Критически низкий уровень, свидетельствующий о высокой уязвимости
Производство СПГ в Катаре	77 млн тонн в год	Полностью остановлено, что создает существенный дефицит на рынке

Международное энергетическое агентство ожидает дефицита нефтяного рынка в 2026 году на уровне 3–4%, при этом мировой спрос прогнозируется на уровне 104,5–104,6 млн баррелей в день, а предложение — 108,6 млн баррелей в день. Согласно анализу МЭА, к общему приросту предложения в 2,5 млн баррелей в сутки вклад ОПЕК+ составит 1,3 млн баррелей, а стран, не участвующих в соглашении, — 1,2 млн баррелей.

С другой стороны, ОПЕК оценивает ситуацию на рынке как сбалансированную, заявляя, что для поддержания равновесия в 2026 году участникам альянса ОПЕК+ необходимо обеспечивать среднюю добычу на уровне 43 млн баррелей в сутки.

По данным МЭА, из-за разногласий на Ближнем Востоке объем потерь предложения превышает 11 млн баррелей в день. Прогнозируемый спрос на глобальном масштабе к 2026 году составляет около 104,8 млн баррелей в сутки.

В табл. 3 приведены мнения экспертов и участников рынка.

Таблица 3

Мнения экспертов и участников рынка

Эксперт / Организация	Ключевая мысль
Алексей Гривач (ФНЭБ)	"Уход Катара с рынка в сочетании с перекрытием Ормузского пролива порождает кризис невиданных масштабов для мировой энергетики."
Игорь Юшков (Финансовый университет)	"Ожидается ожесточенная борьба регионов за доступные объемы поставок, что неизбежно подтолкнет цены вверх."
Саад аль-Кааби (Министр энергетики Катара)	"В случае сохранения текущей ситуации, производители в регионе будут вынуждены объявить форс-мажор."

В табл.4 приведены прогноз развития ситуации, краткосрочная перспектива.

Таблица 4

Прогноз развития ситуации. Краткосрочная перспектива (до 3 месяцев)

Прогноз	Вероятность	Обоснование
Сохранение высоких цен на газ	90%	Дефицит предложения, усиление конкуренции между потребителями.
Превышение ценой на нефть отметки в \$100	85%	Блокировка Ормузского пролива и угроза стабильности поставок.
Возникновение новых форс-мажорных обстоятельств в регионе	80%	Заявление министра энергетики Катара указывает на высокую вероятность.
Наращивание паники на европейских рынках	95%	Низкий уровень запасов в Великобритании и высокая зависимость от импорта.

В табл.5 приведена среднесрочная перспектива (до 1 года).

Таблица 5

Среднесрочная перспектива (до 1 года)

Прогноз	Вероятность	Обоснование
Переориентация спроса на российские энергоресурсы	70%	По данным МЭА, наблюдается растущий интерес к российской нефти и газу.
Сокращение дисконтов на российскую нефть	80%	Спрос на российскую нефть превышает доступное предложение.
Укрепление позиций России на азиатских рынках	75%	Китай принципиально не закупает СПГ из США, а Катар выбыл из числа поставщиков.

В табл. 6 показана Россия, как фактор стабильности на энергетическом рынке. В условиях глобальной нестабильности на Ближнем Востоке Россия демонстрирует исключительную надежность.

Таблица 6

Энергетический рынок России

Показатель	Значение / Характеристика
Готовность энергокомпаний к отопительному сезону	97%
Численность аварийно-восстановительных бригад	23 000 человек
Экспортная выручка ВПК (нефтегазовый сектор)	Ожидается значительный рост
Потенциал замещения катарского СПГ в Азии	Высокий

Россия всегда придерживалась принципа выполнения контрактных обязательств, никогда не используя энергетические ресурсы в качестве инструмента давления. В текущей ситуации, когда мир столкнулся с рукотворным кризисом, эта надежность приобретает особую ценность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. vc.ru. Статья Константина Андреева «Системный анализ энергетического кризиса 2026 года: причины, масштабы, последствия и роль России».
2. Investing.com. Анализ «Энергетический кризис в мире».
3. Международное энергетическое агентство (IEA). Отчёты и аналитика по глобальному энергетическому рынку, включая данные о спросе, предложении и ценах на энергоносители. iea.org.
4. Международное энергетическое агентство (МЭА). Отчёт «Electricity 2026». repository.ach.gov.ru.

Баскаков В. В., Зайцев Е. А.

Уфимский университет науки и технологий

Науч. рук. доцент *Зайцева А. А.*

Уфимский университет науки и технологий

Baskakov V. V. Zaitsev E. A.

Ufa University of Science and Technology

ДВУХКАНАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОКОНУСНОСТИ НЕСУЩИХ ВИНТОВ ВЕРТОЛЁТА

TWO-CHANNEL HELICOPTER ROTOR CONE DETECTION SYSTEM

Аннотация. В данной работе представлена двухканальная система определения соконусности несущих винтов вертолёт — технического параметра, критически влияющего на управляемость и безопасность полётов. Приведены описания методов измерений положений винтов, структурная схема системы, включающая датчики вибрации и угловой скорости, а также алгоритмы обработки сигналов в реальном времени.

Abstract. This paper presents a two—channel system for determining the conicity of helicopter rotors, a technical parameter that critically affects flight controllability and safety. The paper describes methods for measuring screw positions, a structural diagram of the system, including vibration and angular velocity sensors, as well as real-time signal processing algorithms.

Ключевые слова: безопасность полетов, соконусность несущих винтов, контроль параметров, информационно-измерительная система.

Key words: flight safety, rotor cone, parameter control, information and measurement system.

Безопасность полета любых ЛА и вертолетов в частности — ключевое требование для выполнения любых полетов данного транспорта, для которого необходимо содержать в исправности огромного количество элементов конструкции. Несущая система вертолёт позволяет подъем данного ЛА в воздух осуществимым, в которой необходимо соблюдать соконусность лопастей, критически необходимой для балансировки и аэродинамики вертолёт. Её нарушение приводит к вибрации, снижению управляемости и повышенному износу конструкции.

Одним из факторов, влияющих на динамические параметры вертолѐта и, в частности, на его виброактивность, является «размыв» конуса, в плоскости которого должны вращаться все лопасти каждого из винтов [3].

Причиной данного дисбаланса обычно является несовершенство технологии изготовления: незначительные отклонения по весу, смещения центра тяжести, различная упругость винтов [2].

Для устранения данных недостатков требуется проводить дополнительные контрольные и регулировочные технологические операции, после — лопасти подлежат испытаниям на ЛА. Данные испытания состоят из двух этапов.

– Первый этап заключается в балансировке лопасти с целью исключения вибрации, процесс которого не вызывает трудностей, поскольку лопасти на вертолете имеют самую низкую частоту вибрации на вертолете. По этой причине выявить вибрацию достаточно просто.

– Второй этап — проверка соконусности лопастей, измерение выполняется в реальном времени траекторий движения лопастей, что является трудоемким процессом [4].

Несмотря на попытки автоматизировать данный процесс на других предприятиях, некоторые предприятия даже на сегодняшний момент применяют метод определения соконусности винтов с помощью шеста и ватмана, закрепленного на данный шест, что является опасным процессом.

Помимо прочего, применения различных методов измерений положения лопасти при работающем винте осложняются высокой вибрационной составляющей данных процессов и требования к точности измерений.

По способу получения измерительной информации различают контактные и бесконтактные методы.

Контактные методы:

– Тензометрические измерения основаны на использовании тензометрических датчиков, фиксирующие деформации лопасти, после чего пересчитываются в линейные отклонения торца лопасти. Датчики передают данные на тензометрическую станцию, которая передаёт информацию в

вычислительный блок. Преимущество метода — возможность измерений на всём диапазоне вращения лопасти ($0-360^\circ$). Однако требуется перевод показаний датчиков в систему координат летательного аппарата, так как каждый датчик работает в своей системе координат.

Бесконтактные методы

– Оптические измерения включают обработку изображений, получаемых с высокоскоростной видеокамеры. Положение торца лопасти определяется в моменты, когда она находится в поле зрения камеры. Для улучшения видимости лопасти может использоваться дополнительная подсветка. Преимущества метода — высокая точность и быстродействие. Недостатки — зависимость от погодных условий, времени суток и необходимость разработки алгоритмов обработки изображений.

– Радиолокационные методы обеспечивают высокую точность измерений, но сложны в реализации и дороги. Основаны на использовании радиодальномеров или радиопеленгаторов, которые вычисляют дальность до объекта по времени запаздывания отражённого сигнала.

– Ультразвуковые датчики зависят от состояния окружающей среды и подвержены искажениям из-за шумов. Их сложно устанавливать для измерения положения торца лопасти.

Оптоэлектронные системы (ОЭС) используют волоконно-оптические, оптоэлектронные и лазерные преобразователи. Они могут быть разделены на группы по способу взаимодействия с объектом (дистанционные и контактные), по месту расположения датчиков (на поверхности объекта или удалённые) и по типу источника излучения (искусственный, естественный или комбинированный). Дистанционные оптические системы включают лазерные, фотографические и видеодатчики. [1]

Соответствие различных типов датчиков требованиям к измерениям приведено в таблице 1.

Соответствие различных типов датчиков требованиям к измерениям

Датчики	Производительность	Точность	Требуемый диапазон	Система координат
Тензометрические	+	+	+	-
Емкостные	+	+	-	+
Индуктивные	+	+	-	+
Оптические	+	+	+	+
Радиолокационные	+	+	-	-
Ультразвуковые	-	+	+	+
Высокоскоростные видеокамеры	+	+	-	+

На основе анализа рассмотренных методов измерений были выбраны два из них, которые совместно при условии комплексирования измерений удовлетворяют поставленным требованиям к задаче – оптический и тензометрический методы измерений. На рисунке 1 показана схема размещения измерительной системы на борту вертолета.

Состав тензометрического канала измерения:

1. Тензометрические датчики (6), измеряющие относительную деформацию лопасти на участках их размещения.
2. Тензометрическая станция (7), основная задача которой – регистрация показаний тензометрических датчиков с заданной частотой и формирование сообщений для последующей передачи по цифровому радиоканалу.
3. Ноутбук (5), производящий прием сообщений с измерениями от тензометрической станции и последующую обработку.

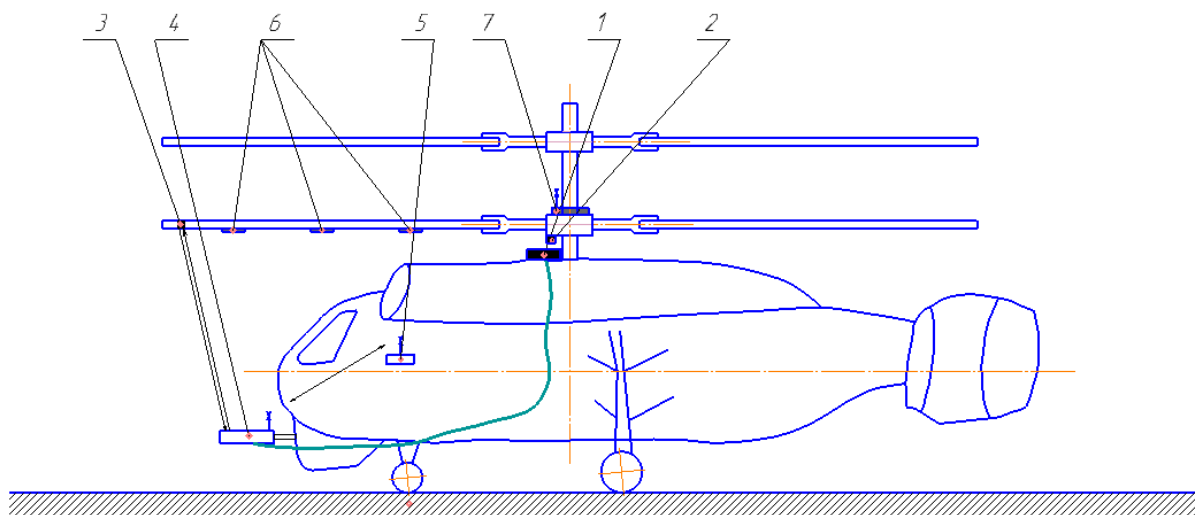


Рис.1. Схема размещения измерительной системы на борту вертолета

Состав оптического канала измерения:

1. Камерная головка (4) предназначена для формирования видеосигнала от законцовок (3).
2. Датчик Холла (1, 2) служит в качестве отметчика первой лопасти и стыкуется с камерной головкой кабелем.
3. Ноутбук (5), производящий прием сообщений с измерениями от камерной головки и последующую обработку.

Выводы: Камерная головка определяет расстояния от законцовок лопастей до самой себя. Тензодатчики измеряют прогиб лопасти. По измеренным расстояниям и изгибу определяют соконусность лопастей. Специально написанная программа на ноутбуке определяет положение лопасти в реальном моменте времени. Если какая – то из лопастей не попала интервал 20 мм, значит, она не в конусе и подлежит регулировке либо отстраняется от эксплуатации. Применение двухканальной системы позволяет отработать лопасть не только на земле, но и в полете на различных режимах, что максимально повышает достоверность измерительной информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прохоров П.Д., «Разработка двухканальной системы измерения положения лопастей вертолета», ВАК РФ 05.13.01, 2017, – 133 с.

2. Иншаков, И.С., Исследование движения лопасти натурного винта вертолета в наземных испытаниях и в полете, Тезисы 52 -ой научной конференции МФТИ, 20 09, 38 – 39 с.
3. Кривцов, В.С. Проектирование вертолетов: учебник / В.С. Кривцов, Я.С. Карпов, Л.И. Лосев. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун - т «Харьк. авиац. ин - т», 2003, – 344 с.
4. Особенности конструкции и технического обслуживания несущей системы вертолета: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://poznayka.org/s66424t1.html> (дата обращения 17.02.2026).

Баскаков В. В., Шарипов А. З.

Уфимский университет науки и технологий

Науч. рук. доцент *Зайцева А. А.*

Уфимский университет науки и технологий

Baskakov V. V. Sharipov A. Z.

Ufa University of Science and Technology

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ НАВИГАЦИИ ТЕХНОЛОГИЕЙ «МАШИННОГО ЗРЕНИЯ» В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ

SOLVING NAVIGATION PROBLEMS WITH "MACHINE VISION" TECHNOLOGY IN CONDITIONS OF INCREASED FLIGHT RISK

Аннотация. В данной работе рассматривается применение технологии машинного зрения для решения задач навигации воздушных судов в условиях повышенной опасности полётов, таких как сложные метеоусловия, ограниченная видимость, зоны с высокой плотностью препятствий или потенциальные угрозы техногенного характера. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения безопасности и автономности полётов в экстремальных условиях, где традиционные навигационные системы могут быть недостаточно эффективны.

Abstract. This paper examines the application of machine vision technology to solve aircraft navigation problems in high-risk flight conditions, such as difficult weather conditions, limited visibility, areas with high density of obstacles or potential man-made threats. The relevance of the study is due to the need to improve flight safety and autonomy in extreme conditions where traditional navigation systems may not be effective enough.

Ключевые слова: машинное зрение, навигация, безопасность полётов, распознавание образов, нейронные сети, БПЛА.

Keywords: machine vision, navigation, flight safety, pattern recognition, neural networks, UAVs.

Машинное зрение — это технология, позволяющая компьютерам и другим устройствам интерпретировать визуальные данные из реального мира. Она включает в себя получение изображений, обработку и использование данных для решения прикладных задач без участия человека.

Роль машинного зрения в навигации — помощь системам навигации в ориентировании в окружающей среде, обнаруживании препятствий и принятия

решений в режиме реального времени. По масштабу охватываемой наблюдением территории различают спутниковый, авиационный и наземный мониторинг.

– Спутниковый мониторинг: осуществляется с помощью космических средств наблюдения и позволяет обследовать обширные лесные территории. Однако при этом не удастся детально исследовать локальные аномалии, связанные с возникновением лесных пожаров, скоплений вредителей и болезней леса, а также незаконной хозяйственной деятельностью.

– Наземный мониторинг: отслеживание состояния леса с помощью вышек и наземного транспорта, оснащенных камерами видеонаблюдения и другими видами датчиков, оказывается эффективным на плотно заселенных территориях, где есть возможность обеспечения бесперебойными энергоносителями.

– Авиационный мониторинг: проводится с использованием летательных аппаратов различных типов, что позволяет объединить преимущества оперативного обследования обширных территорий с детальным анализом выявленных аномалий [2, 3].

Одним из методов с большим потенциалом развития авиационного мониторинга стало применение БПЛА с массой менее 20 кг. В ряде работ [1, 4, 5, 6] проведен подробный анализ характеристик и возможностей использования БПЛА в интересах решения лесохозяйственных задач. В качестве полезной нагрузки БПЛА снабжаются видеокамерами оптического и инфракрасного диапазонов, фотоаппаратурой, сканирующими устройствами (радары, лидары, лазерными сканерами). Однако существующие в настоящее время БПЛА самолетного и вертолетного типов (включая мультикоптеры) непригодны для такого способа мониторинга, так как велика вероятность повреждения элементов конструкции, в первую очередь винтов, при перемещении в условиях высокой опасности. В связи с этим, для осуществления мониторинга в особо опасных для полета областях целесообразно использовать БПЛА специальных конструкций с обтекаемыми формами и скрытыми в корпусе несущими винтами [7, 8].

Постановка задачи

Перед выполнением любых летных задач происходит формирование гибкой траектории полета с учетом существующей априорной информации о рассматриваемой сцене с учетом типа и характера объектов сцены, взаимных расположений, геометрических и яркостных характеристик, оптического контраста, позволяющего построить её эталонное изображение, а также оперативной информации о наблюдаемой в процессе полета сцене, получаемой непосредственно на борту летательного аппарата [11].

Важнейший элемент в поставленной задаче — процедура обработки и распознавания изображений объектов для выявления любых опасных участков траектории полета, степени их опасности и разработки оптимального косвенного управления БПЛА, формируемого путем программирования движения по упреждающей траектории [9, 10].

К примеру, для комплексной оценки опасностей, возникающих при движении БПЛА по территории лесного массива, полетное воздушное пространство зонировается по уровню летной опасности с дальнейшей сегментацией этих изображений:

- "открытые" участки траектории - области пространства между деревьями, не содержащие видимых препятствий;
- "полупроходимые" участки - области пространства, в пределах которых имеются листья и тонкие ветки;
- "непроходимые" участки - области пространства, в пределах которых имеются стволы деревьев и крупные ветки.

С этой целью используют текстурные дескрипторы, полученные путем статистического анализа гистограмм яркости областей изображения. Статистические методы позволяют отнести текстуру области к различным типам (гладкой, грубой, зернистой и т.д.). Целесообразность использования методов сегментации на основе текстурных признаков обусловлена тем, данное разделение областей обладает достаточно резкой для однозначного различения машинным зрением текстурных характеристик. Так, открытые участки

представляют собой "светлые гладкие" области, "непроходимые" участки – "темные гладкие", а "полупроходимые" – "зернистые" области с промежуточным значением яркости [12].

Перспективы развития

БПЛА становятся все более интеллектуальными за счет достижений в области визуальной навигации: они адаптируются к трудным сценариям полета, вследствие чего беспилотникам доверяют всё более разнообразные и сложные задачи и требования. Благодаря улучшениям в технологиях связи и вычислительной мощности, визуальные навигационные системы все чаще интегрируются с 5G и облачными системами.

С достижениями в области глубокого обучения и компьютерного зрения визуальная навигация получает широкое распространение и оптимизацию. Системы машинного зрения на основе искусственного интеллекта повысят точность, эффективность и безопасность логистики.

Периферийные вычисления значительно ускоряют этот прогресс, обрабатывая данные ближе к источнику, тем самым сокращая задержку и улучшая время отклика. Расширенные методики распознавания и отслеживания объектов позволяют системам эффективнее взаимодействовать с окружающей средой.

Кроме того, адаптивные методы обучения позволяют системам визуальной навигации постоянно совершенствоваться на основе реального опыта, позволяя им легко адаптироваться к новым условиям. Также ожидается, что будущие системы будут ещё надежнее и безопаснее работать в неблагоприятных условиях, (ограниченной видимости, плохой погоды, недоступных для изучения альтернативными методами и т.д.), тем самым расширяя их возможности использования в разнообразных сценариях [13].

Интеграция искусственного интеллекта и высокопроизводительной обработки изображений уже позволяет БПЛА работать автономно, что делает технологии визуальной навигации неотъемлемо важным компонентом

логистической отрасли, принося удобства и преимущества во всех сферах деятельности человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коносевиц, В. В. Разработка научно-методических подходов и технологии использования беспилотных летательных аппаратов в лесном хозяйстве / В. В. Коносевиц // Отчет о научно-исследовательской работе. – Пушкино: ФГУ «Авиалесоохрана», 2010. – 105 с.
2. Мониторинг лесных экосистем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://wood-prom.ru/analitika/14763_monitoring-lesnykh-ekosistem (дата обращения 15.02.2026).
3. Мониторинг лесных земель: учеб.-метод. пособие / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Агроном. фак.; сост: Л. П. Галеева. – Новосибирск: Изд-во НГАУ «Золотой колос», 2016. – 147 с.
4. Коршунов, Н. Воздушные роботы призваны на защиту и охрану лесов / Н. Коршунов // Авианорама. – 2015, № 4. – С. 14–20.
5. Денисов С. А. Опыт применения квадрокоптера для мониторинга возобновления леса / С. А. Денисов, А. А. Домрачев, А. С. Елсуков // Вестник ПГТУ. – 2016, № 4. – С. 34–46.
6. Медведев, Е. М. Преимущества применения лазерных сканирующих систем наземного и авиационного базирования / Е. М. Медведев, С. Р. Мельников // Горная промышленность. – 2002, №5. – С. 2–4.
7. "Группа Эйр" продемонстрировала беспилотник с кольцевым крылом [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sdelanounas.ru/blogs/34006/> (дата обращения 15.02.2026).
8. Fleye – самый безопасный летающий дрон [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.computerra.ru/180490/fleye/> (дата обращения 15.02.2026).
9. Моисеев В. С. Прикладная теория управления беспилотными летательными аппаратами. – Казань: РЦ МКО, 2013. – 768 с.
10. Моисеев В. С. Основы теории эффективного применения беспилотных летательных аппаратов. – Казань: РИЦ «Школа», 2015. – 444 с.
11. Гонсалес, Р. С. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2012. – 1104 с.
12. Медведев, Е. М. Лазерная локация земли и леса: Учебное пособие / Е. М. Медведев, И. М. Данилин, С. Р. Мельников. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Геолидар, Геоскосмос; Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2007. – 230 с.
13. Удивительная навигация на основе зрения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mrdvs.com/ru/vision-based-navigation-on-autonomous-forklifts/> (дата обращения 15.02.2026).

Баскаков В. В., Зайцева А. А.

Уфимский университет науки и технологий

Науч. рук. доцент *Зайцева А. А.*

Уфимский университет науки и технологий

Baskakov V. V., Zaitseva A. A.

Ufa University of Science and Technology

СЕГМЕНТАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ И ФОРМИРОВАНИЕ БЕЗОПАСНЫХ ТРАЕКТОРИЙ АВТОНОМНОГО ПОЛЕТА БПЛА В УСЛОВИЯХ МНОГОЧИСЛЕННЫХ ПОМЕХ И ПРЕПЯТСТВИЙ

SEGMENTATION OF IMAGES AND FORMATION OF SAFE TRAJECTORIES OF AUTONOMOUS UAV FLIGHT IN CONDITIONS OF NUMEROUS HINDRANCES AND OBSTACLES

Аннотация. В данной работе рассматривается разработка алгоритма сегментации изображения окружающей обстановки на основе статистического анализа гистограмм яркости областей изображения для зонирования воздушного пространства по уровню опасности с использованием введенной совокупности текстурных признаков; оценка эффективности алгоритма сегментации изображения лесного массива на основе вычисления статистических текстурных характеристик и алгоритма формирования траектории движения низколетящих БПЛА для уклонения от опасности.

Abstract. This paper considers the development of an algorithm for segmenting the image of the environment based on statistical analysis of histograms of the brightness of image areas for zoning the airspace according to the level of danger using the introduced set of textural features; evaluating the effectiveness of the algorithm for segmenting the image of a forest area based on the calculation of statistical textural characteristics and an algorithm for forming the trajectory of low-flying UAVs to avoid danger.

Ключевые слова: управление полетом, траектория, безопасность, сегментация, изображение, текстурные характеристики.

Keywords: flight control, trajectory, safety, segmentation, image, textural characteristics.

Автономный полёт беспилотных летательных аппаратов в среде многочисленных помех и препятствий требует в обязательном порядке алгоритмы планирования безопасных траекторий с функциями моделирования сред, прогнозирования угроз и оптимизации маршрута с учётом ограничений по динамике аппарата и условий видимости.

Наиболее распространенный метод описания текстуры полета БПЛА — использование статистических характеристик, определяемых по гистограмме яркости всего изображения или части области [5]. Пусть z_i — дискретная случайная величина, значение которой — уровень яркости изображения. Обозначим $p(z_i)$, $i = 1, 2, \dots, L$ как нормированную гистограмму, где L — число возможных значений яркости. Тогда число $p(z_i)$ оценивает относительную частоту появления величины яркости z_i изображения.

В разрабатываемом алгоритме навигации БПЛА для сегментации изображения примем использования меры средней яркости m , средней контрастности $\sigma = \sqrt{\mu_2}$, относительной гладкости R и асимметрию яркости μ_3 в качестве текстурных дескрипторов.

Алгоритм сегментации изображения окружающей обстановки на основе вычисления статистических текстурных характеристик

Предлагаемый алгоритм требует выполнения этапов:

Первый этап. Предварительная обработка изображений. Производятся операции: преобразование цветного изображения в полутоновое, изменение яркости с усилением контраста или перевод негативного изображения в позитивное, фильтрация шумовой составляющей.

Второй этап. Формирование квадратной (прямоугольной) области изображения с координатами x , y для определения текстурных характеристик. Центр области перемещается между пикселями в рамках всего изображения, полученный результат отображается в центре редактируемого участка. Размер выбирается исходя из масштаба изображения: расстояние от БПЛА до деревьев, маршрут по которому прокладывается с использованием областей с нечетными размерами, так как в этом случае маска имеет выраженную центральную точку.

Третий этап. Вычисление текстурных признаков каждого участка с формированием матрицы, в которой число строк есть количество пикселей, а четыре столбца содержат текстурные дескрипторы для каждого участка.

Четвертый этап. Сегментация лесного массива по матрице текстурных дескрипторов с использованием алгоритма кластеризации по математическому

ожиданию или нечеткой кластеризации (*c-means*). Количество кластеров выбирается в трех значениях, условно обозначаемых как "открытые", "непроходимые" и "полупроходимые" области. После восстанавливается исходное расположение изображения [2].

Пятый этап. Анализ сегментированного изображения для построения финальной траектории БПЛА со сопоставлением размеров ближайшей "открытой" области с размером БПЛА. Если габариты БПЛА превышают — к "открытой" области добавляются "полупроходимые" участки с повторной оценкой возможности пролета устройства. Если полученный гибридный участок меньше БПЛА, то переходят к анализу ближних "открытых" или "полупроходимых" участков.

Оценка эффективности алгоритма сегментации изображения лесного массива на основе вычисления статистических текстурных характеристик

Для тестирования алгоритма в качестве вводных данных берут изображение дерева — на нем легко проследить соответствие начального и конечного изображений процесса кластеризации и визуальных результатов лазерного сканирования древостоя.

Вычисления проводились в среде Matlab R2010a с использованием функций пакета Image Processing Toolbox [6].

Размер участка вычисления текстурных признаков — 9×9 пикселей. При выводе изображений динамический диапазон расширяется, согласно которому пиксели с минимальным значением признака показываются черными, с максимальным — белыми, а пиксели с промежуточными значениями имеют среднюю яркость.

Текстурные меры для "открытых", "полупроходимых" и "непроходимых" участков изображения одиночного дерева, полученные после кластеризации по математическому ожиданию и использования четырех признаков, даны в табл. 1.

Таблица 1

Текстурные меры для "открытых", "полупроходимых" и "непроходимых" областей изображения одиночного ветвистого дерева, полученные методом кластеризации по математическому ожиданию с использованием четырех признаков

Область	Средняя яркость	Средняя контрастность	Относительная гладкость	Асимметрия яркости
"Непроходимая"	0.3088	0.0959	0.0131	0.0016
"Полупроходимая"	0.5484	0.1177	0.0169	-0.0003
"Открытая"	0.8083	0.0288	0.0026	-0.0003

Анализ полученного изображения показывает, что наибольшую среднюю яркость имеют открытые участки, наименьшую среднюю яркость – ствол дерева, крупные ветки и густая листва, промежуточное значение яркости – тонкие ветки и редкая листва. Наименьшие отклонения от среднего значения наблюдаются на открытом пространстве, земле и стволе дерева, а средние и максимальные значения — на кроне дерева. Аналогичная картина наблюдается при отображении кластеризации по признаку "относительная гладкость". Признак "асимметрия яркости" при описании текстуры имеет смысл учитывать только при большой асимметрии гистограммы яркости в сторону темных или светлых значений от среднего.

Наибольший вклад в результат кластеризации по четырем признакам вносит дескриптор "средняя яркость", остальные характеристики проявляются лишь на отдельных участках. Этот результат соответствует специфике решаемой задачи. При необходимости увеличить влияние на результат кластеризации признаков "средняя контрастность", "относительная гладкость" и "асимметрия яркости" рекомендуется использовать повышенные весовые коэффициенты.

Оценим далее пригодность предложенного алгоритма для сегментации изображения, полученного путем визуализации результатов лазерного сканирования древостоя. Результат кластеризации по математическому ожиданию с использованием текстурных признаков "средняя яркость", "средняя контрастность", "относительная гладкость", "асимметрия яркости" приведен в табл. 2.

Таблица 2

Текстурные меры для "открытых", "полупроходимых" и "непроходимых" областей изображения лазерного сканирования древостоя, полученные методом кластеризации по математическому ожиданию с использованием четырех признаков

Область	Средняя яркость	Средняя контрастность	Относительная гладкость	Асимметрия яркости
"Непроходимая"	0,3965	0,0521	0,0033	0,0001
"Полупроходимая"	0,5099	0,1281	0,0175	0,0012
"Открытая"	0,7180	0,1264	0,0175	-0,0014

Анализ результатов свидетельствует о том, что лазерно-локационный метод обладает достаточной разрешающей способностью, чтобы использовать его для выделения участков лесных массивов, пригодных для построения траектории движения БПЛА. При этом лазерные сканеры обладают рядом преимуществ перед фото- или видеокамерами, подробно рассмотренными в работе [7].

Алгоритм формирования траектории движения низколетящих БПЛА для уклонения от опасности

Данный алгоритм позволяет осуществить зонирование воздушного пространства по уровню опасности. Обозначим переменные: Ω_1 — область "открытых" участков, Ω_2 — "полупроходимые" участки, "непроходимые" участки — Ω_3 . Рассмотрим алгоритм, позволяющий двигаться вдоль границы области Ω_3 .

Возьмем ситуацию, в которой на определенном этапе полета возникла опасность пересечения границы области Ω_3 и ожидаемая точка $[x_0; y_0] \in \Omega_3$. В таком случае необходимо выполнить маневр изменения направления движения, для чего воспользуемся математическими операциями параллельного переноса и поворота системы координат.

Выполняя повороты по и против часовой стрелки (по исходной точке) относительно Ω_3 , можно обнаружить две точки, $[x_1; y_1]$ и $[x_2; y_2]$ на границе этой

области. После выполним шаг, соединяя точки $[x_1; y_1]$, и оценим положение итоговой точки $[x^0; y^0]$ относительно Ω_3 [4].

Вероятны два исхода:

– Точка $[x^0; y^0]$ вне области Ω_3 . Для выхода на границу области Ω_3 необходимо выполнить поворот вокруг точки $[x_2; y_2]$ против часовой стрелки. Координаты следующей точки рассчитываются по формулам

$$\begin{aligned} x^1 &= x_2 + (x^0 - x_2)\cos \alpha - (y^0 - y_2)\sin \alpha; \\ y^1 &= y_2 + (x^0 - x_2)\sin \alpha + (y^0 - y_2)\cos \alpha. \end{aligned} \quad (1)$$

где α — угол поворота.

– Второй случай соответствует положению точки с координатами $[x^0; y^0]$ внутри области Ω_3 . Для выхода на границу необходимо осуществить поворот по часовой стрелке. Формулы для определения положения точки $[x^1; y^1]$ имеют вид

$$\begin{aligned} x^1 &= x_2 + (x^0 - x_2)\cos \alpha + (y^0 - y_2)\sin \alpha; \\ y^1 &= y_2 - (x^0 - x_2)\sin \alpha + (y^0 - y_2)\cos \alpha. \end{aligned} \quad (2)$$

Дальнейший выход к границе осуществляем путем оценки положения точки $[x^1; y^1]$ относительно областей Ω_1 , Ω_2 и Ω_3 . Если точка $[x^1; y^1] \in \Omega_1 \cup \Omega_2$, то определение координат следующей точки $[x^2; y^2]$ осуществляется по формулам (1). Эта процедура продолжается до тех пор, пока первый случай не перейдет во второй случай или наоборот.

Таким образом, алгоритм движения вдоль границы опасной зоны осуществляется в следующей последовательности.

– По двум исходным точкам $[x_1; y_1]$ и $[x_2; y_2]$ определяются координаты следующей точки $[x^0; y^0]$.

– Оценивается положения $[x^0; y^0]$ относительно областей Ω_1 , Ω_2 , Ω_3 .

– Если $[x^0; y^0] \in \Omega_1 \cup \Omega_2$, то необходимо уточнить координаты точек, располагающихся ближе к границе области Ω_3 по формулам (1). Это соответствует повороту вектора скорости движения против часовой стрелки. Поворот продолжается до тех пор, пока не произойдет пересечение границы.

– Если же $[x^0; y^0] \in \Omega_3$, то координаты следующей точки определяются по формулам (2). Это соответствует вращению по часовой стрелке.

Если отслеживаемая область имеет сложную конфигурацию, то процедуру построения границы можно разделить на два этапа: поиск и уточнение границы. В режиме поиска используются большие углы поворота, в режиме уточнения — малые.

Угол α может быть выбран из условия окончания слежения $\alpha h \leq \varepsilon$, где h — величина шага; ε — заданная точность. Если заданы точность и шаг, то можно оценить величину угла α (режим уточнения): $\alpha \leq \varepsilon/h$ [1].

Заключение

Представленный алгоритм формирования траектории БПЛА в трудных условиях полета позволяет оценивать опасные участки пролета с целью корректировки координат и движения, обеспечивающих заданный уровень безопасности, с автоматическим маневрированием [3].

Алгоритм сегментации изображения на основе вычисления статистических текстурных характеристик исключает необходимость в громоздких вычислениях с анализом информационно емких характеристик изображения — вместо этого используется эффективный механизм распознавания объектов динамически меняющихся сцен с алгоритмом навигации и выявлением безопасных траекторий автономного полета БПЛА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Управление и наведение беспилотных маневренных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий / Под ред. М. Н. Красильщикова и Г. Г. Себрякова. – М.: Физматлит, 2003. – 280 с.
2. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов. / Под ред. М. Н. Красильщикова, Г. Г. Себрякова. – М.: Физматлит, 2009. – 556 с.
3. Моисеев В. С. Прикладная теория управления беспилотными летательными аппаратами. – Казань: РИЦ МКО, 2013. – 768 с.
4. Моисеев В. С. Основы теории эффективного применения беспилотных летательных аппаратов. – Казань: РИЦ «Школа», 2015. – 444 с.
5. Гонсалес, Р. С. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2012. – 1104 с.
6. Гонсалес, Р. С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB / Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс. – М.: Техносфера, 2006. – 615 с.
7. Медведев, Е. М. Лазерная локация земли и леса: Учебное пособие / Е. М. Медведев, И. М. Данилин, С. Р. Мельников. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Геолидар, Геоскосмос; Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2007. – 230 с.

Баскаков В. В., Трушин А. А.

Уфимский университет науки и технологий

Науч. рук. доцент *Зайцева А. А.*

Уфимский университет науки и технологий

Baskakov V. V., Trushin A. A.

Ufa University of Science and Technology

ВЫЧИСЛИТЕЛЬ ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ СВС

CALCULATOR OF THE SHS OUTPUT PARAMETERS

Аннотация: В данной работе рассматривается цифровая система воздушных сигналов (СВС), предназначенная для определения высотно-скоростных параметров полета самолета и измерения во внешней воздушной среде. Рассмотрен информационный комплекс ИКВСП-2-10, обеспечивающий выработку информации обо всей совокупности параметров. Рассмотрены современные цифровые СВС, которые представляют собой набор датчиков и устройств, управляемых микропроцессором, работающим по заданным алгоритмам и соответствующим программам. Также была предложена структурная схема цифровой СВС, которая обеспечивает определение полного и статического давлений и угла атаки.

Abstract: In this paper, a digital air signal system is considered, designed to determine the altitude and speed parameters of aircraft flight and measurement in the external air environment. The information complex IKVSP-2-10, which provides information on the entire set of parameters, is considered. Modern digital SHS are considered, which are a set of sensors and devices controlled by a microprocessor operating according to specified algorithms and corresponding programs. A block diagram of the digital SHS was also proposed, which provides the determination of total and static pressures and angle of attack.

Ключевые слова: микроконтроллер, информационный комплекс, аэродинамические характеристики, вычислитель воздушных сигналов, блок датчиков

Keywords: microcontroller, information system, aerodynamic characteristics, air signal calculator, sensor unit

Современные ЛА предъявляют всё более высокие требования к точности и надёжности систем измерения полётных параметров. Одним из важнейших элементов бортового оборудования выступает цифровая система воздушных сигналов (СВС), обеспечивающая летный экипаж и бортовые системы информацией о высотно-скоростных параметрах полёта.

В условиях усложнения задач управления, под необходимостью повышения требований к безопасности, СВС в особой значимости приобретают цифровой вид, минимизирующие погрешности измерений, предоставляющие надежную помехозащищенность и интеграцию с комплексами авионики.

Система воздушных сигналов (СВС) современных самолётов — программно-аппаратная система измерения, вычисления и вывода информации о летных параметрах (высота абсолютная $H_{абс}$ и относительная $H_{отн}$, скорость вертикальная V_v , истинная воздушная $V_{ист}$ и приборная $V_{пр}$, число маха M , температура воздуха T , углы атаки α и скольжения β).

Для реализации используется аэрометрический метод определения движения, основанный на измерениях определенных аэрометрических величин и выведении уравнений с последующим решением. Так же данный метод работает с первичными измеряемыми величинами: статическое давление атмосферы $p_{ст}$, динамическое давление набегающего потока (скоростного напора) $p_{дин}$ и температура торможения воздуха T_t .

Первые аналоговые СВС появились в 1950-е гг. как результат развития бортового оборудования в направлении повышения степени автоматизации задач пилотирования, навигации и целевого применения ЛА. Один из примеров аналоговых СВС — СВС-72. Передача сигнала напрямую отражает измеряемые физические величины, однако подвержены погрешностям (шум, дрейф компонентов или нелинейность датчиков), чувствительны к деградации сигнала и электромагнитным помехам. Сейчас они обладают недостаточной точностью выходных параметров системы, недостаточной стабильностью выходных характеристик, значительными габаритами и неудовлетворительным весом системы воздушных сигналов.

Приблизительно с 1975 года внедряются в эксплуатацию аналого-цифровые и цифровые СВС, такие как СВС-2Ц. Они сочетают аналоговые датчики и преобразователи, имеющие цифровые обработчики. Аналоговая часть СВС относится к датчикам первичных параметров, предназначенная для измерения, вычисления и выдачи на индикацию экипажу, в бортовые

автоматические системы информацию о высотно-скоростных и аэродинамических параметрах. Помимо прочего, резервирование аналоговых и цифровых трактов позволяет наблюдать повышенную отказоустойчивость; диагностика ошибок АЦП и каналов передачи улучшает эксплуатационную надёжность. ARINC-706 использовалась в качестве аппаратного интерфейса, что упрощало подключение к авионике, дисплеям и системам регистрации. В свою очередь, цифровые часть СВС позволяют полно использовать летно-технические характеристики самолета с возможностью интеграции в систему задач, решаемых различными системами при аналоговом принципе. Микропроцессоры с каналом информационного обмена предоставляют большие возможности для проектирования модификаций СВС (благодаря тому, что редактирование программы и только её в памяти существенно меняет характеристики вычислителя).

Современные цифровые СВС — набор датчиков и взаимосвязанных устройств, работающих по заданной программе. В них все процессы, связанные с работой над данными, ведутся в цифровой форме. Датчики выдают цифровой код (например, по SPI, I²C), а центральный процессор вычисляет параметры и распределяет их по сетям авионики. Высокоточные благодаря цифровой фильтрации, компенсации температурных дрейфов и калибровке по таблицам/полиномам; шумы минимально влияют на передаваемые данные. Для визуального отображения на приборной доске летчика и подачи в многочисленные системы электро-сигналами информация о величинах аэрометрических параметров используется на современных ЛА.

На сегодняшний день практически на всех отечественных ЛА применяются цифровые СВС трех поколений: СВС-2Ц-1, СВС-85 (СВС-2Ц-У), и СВС-ВБЭ (Высотомер барометрический электронный – СВС). СВС-ВБЭ интегрирует функции нескольких приборов (рис. 1), среди которых: цифровой СВС, пультов задатчика высоты эшелона H_e и давления атмосферного воздуха на уровне аэродрома p_0 , системы сигнализации отклонения от заданного эшелона, средства визуального представления информации [6].

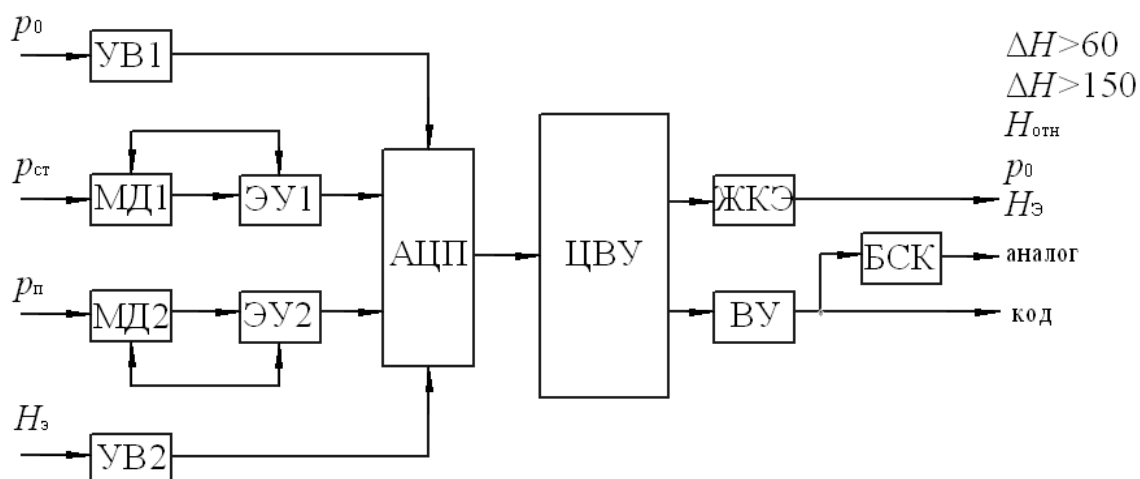


Рис. 1. Функциональная схема цифровой СВС типа ВБЭ-СВС: УВ1, УВ2 – устройства ввода значений давления на уровне Земли; МД1, МД2 – модули давления вибрационных датчиков воздушных давлений; ЭУ1, ЭУ2 – электронные узлы датчиков давления; АЦП – преобразователь типа частота - код и напряжение – код; ЖКЭ – жидкокристаллический экран; ВУК – выходное устройство формирования последовательного биполярного кода; БСК – блок согласования цифрового сигнала ВБЭ-СВС с аналоговым бортовым оборудованием

Начиная со второго поколения цифровых систем интегрирована концепция унификации систем для применения на 16 типах ЛА, например в СВС-85. Эта система представляет собой счетно-решающее цифровое устройство с реализацией частотных датчиков абсолютного давления как датчики полного и статического давлений (рис. 2.). По мимо этого, она корректирует восприятие статического давления и угла атаки, имеет встроенное средство контроля работоспособности датчиков и вычислителей.

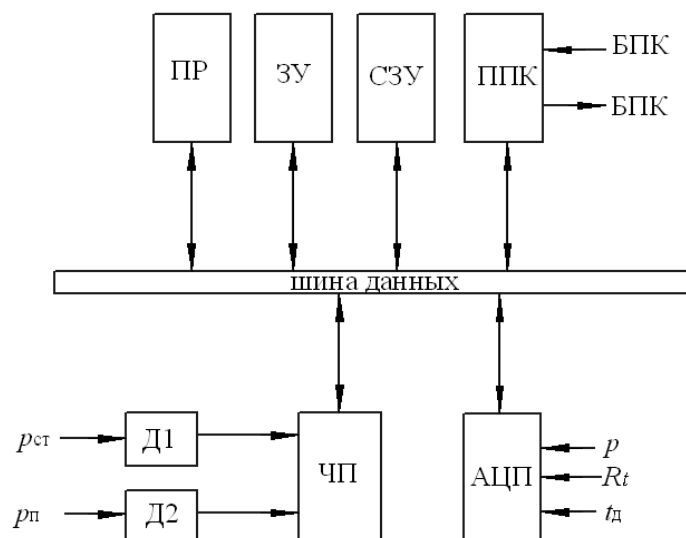


Рис. 2. Архитектура цифровой системы воздушных сигналов СВС-85: ПР – процессор; ЗУ – запоминающее устройство; СЗУ – специальное, запоминающее устройство ППК – приемопередатчик биполярного кода (БПК); ЧП – частотный преобразователь, АЦП – аналого-цифровой преобразователь; Д1 и Д2 – датчики давления

На основе цифровых СВС построены комплексы высотно-скоростных параметров (ИКВСП), представляющие собой совокупность функционально связанных бортовых средств. Они осуществляют восприятие, измерение, обработку и вывод в бортовые автоматические системы и экипажу достоверной информации о текущих, заданных, предельно допустимых значениях высотно-скоростных параметров полета ЛА, идентификацию и оповещение экипажа о приближении к опасным режимам полета [7].

СВС-2Ц-У входит в состав информационного комплекса ИК ВСП-2-10. Она обеспечивает выработку информации обо всей совокупности ВСП, при этом компенсируя аэродинамические погрешности и повышая динамическую точность на неустановившихся режимах полета комплексной обработкой аэрометрической и инерциальной информации. Также имеется система ограничительных сигналов, которая обеспечивает формирование области допустимых в полете значений высоты, скорости, числа М, угла атаки, вертикальной перегрузки и выработку предупредительных сигналов о приближении параметров полета к допустимым в эксплуатации значениям [1,2].

Вышеперечисленные системы соответствуют требованиям ARINC 706, однако, современное развитие авиационной техники требует дальнейшего совершенствования бортового оборудования, в основном с точки зрения точности и надежности. Поэтому для решения задач СВС предлагается следующая структурная схема (рис.3.).

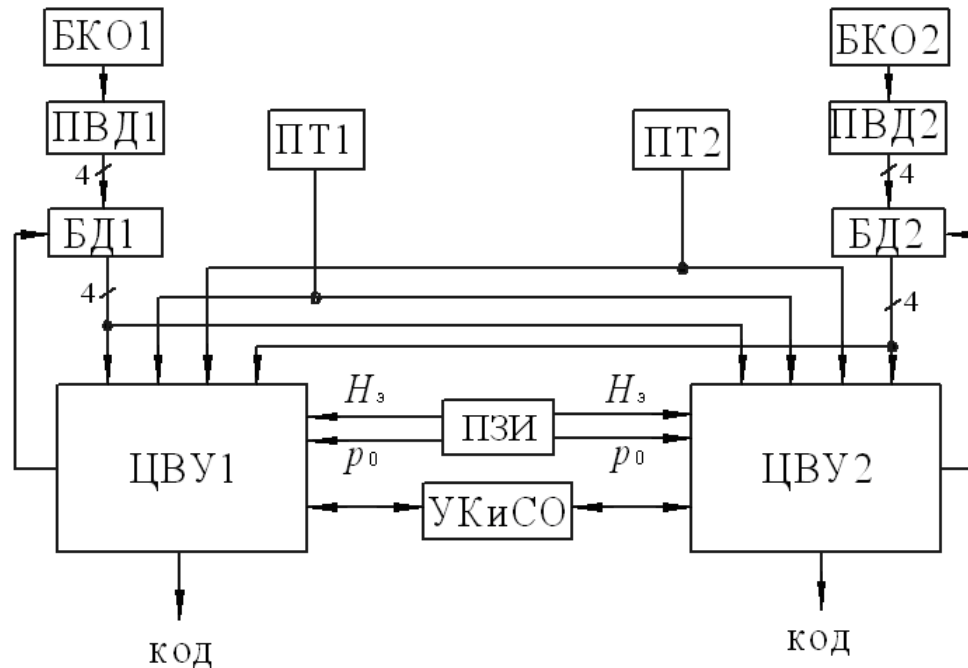


Рис. 3. Структурная схема СВС: БКО – блок контроля обогрева; ПВД – приемник воздушных давлений; БД – блок датчиков давлений; ПТ – приемник температуры заторможенного потока воздуха; ПЗИ – пульт задатчика информации о высоте эшелона и давлении у Земли; УКиСО – устройство контроля и сигнализации отказов

В качестве приемников воздушных давлений реализуется ПВД-40, обладающий противообледенительной системой (ПОС). Её работа проверяется устройством БКО, измерителем полного и статического давления и угла атаки. Два симметрично расположенных приемника позволяют измерять и угол скольжения [1].

Блок датчиков давления состоит из датчиков абсолютного (для измерения $p_{ст}$ и p_n) и дифференциального давления (для измерения Δp_a). В качестве датчиков абсолютного давления используем вибрационные датчики ДДГ-2 с чувствительным элементом типа тонкостенного цилиндра и электромагнитной

системой возбуждения, расположенные под управлением ЦВУ. Они осуществляют преобразование входной величины в электрический сигнал, отслеживают температуру окружающей среды и другие параметры, а также производят коррекцию показаний датчика с использованием данных, сохраненных в памяти. При использовании таблицы соответствия можно получить линейный сигнал даже от нелинейного датчика [3, 4].

Основное устройство вычислителя — микроконтроллер (МК), выполняющий совместно с постоянным запоминающим устройством программы циклическую последовательность команд, обеспечивая функционирование системы. При этом МК управляет работой всех внешних устройств, производит вычисление полетных параметров, выполняет подпрограмму контроля, адаптируется к различным условиям полета и обеспечивает безопасность полетов. Внешние для ЦВУ устройства — пульт задатчика информации (ПЗИ) и устройство контроля и сигнализации отказов (УКиСО) [1].

УКиСО формирует тестовые частотные сигналы, необходимые для контроля работоспособности ЦВУ и отдельных его частей. При выявлении неисправностей, устройство отключает данный ЦВУ, и система работает с резервным вычислителем. Для уменьшения погрешностей предусмотрен ввод данных о H_z и p_0 , осуществляемый через ПЗИ.

В качестве МК выступает *ADuC812* фирмы *Analog Devices* — интегральная система сбора информации, включающая в себя 8-канальный прецизионный 12-разрядный АЦП с самокалибровкой, два 12-разрядных ЦАП и программируемое 8-битное микропроцессорное ядро, а также имеющее мультиплексированный аналоговый вход, управляемый с МПС. Такая МПС является универсальной в данном случае, так как в ней полностью согласованы коммутатор, АЦП и микропроцессор, улучшены характеристики быстродействия и энергопотребления, существует самокалибровка АЦП, уменьшены габариты и масса микросхемы. Микропроцессорное ядро *MCU* совместимо с МПС серии 8051 [1, 5].

Рассмотренная система соответствует требованиям точности и надежности. Во-первых, применение прецизионных первичных преобразователей позволяет повысить точность всей системы в целом. Во-вторых, использование специализированных цифровых вычислителей сокращает время решения задач и время обмена информацией средствами интерфейса, что также служит средством повышения точности. И наконец, резервирование как первичных преобразователей, так и цифрового вычислителя позволяет добиться оптимальной надежности системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боднер В.А. Авиационные приборы. – М.: Машиностроение, 1969. – 467 с.
2. Браславский Д.А., Логунов С.С., Пельпор Д.С. Авиационные приборы и автоматы. – М.: Машиностроение, 1978. – 344 с.
3. Воробьев В.Г., Глухов В.В., Кадышев И.К. Авиационные приборы, информационно-измерительные системы и комплексы. – М.: Транспорт, 1992. – 399 с.
4. Джексон Р.Г. Новейшие датчики. – М.: Техносфера, 2007. – 384 с.
5. Ольховская, И.В. Многофункциональный микроконтроллер – ADuC812 // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2001 .– №5 .– С.48-51.
6. Системы летательных аппаратов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studopedia.ru/2_9636_sistemi-letatelnih-apparatov.html (дата обращения 15.02.2026).
7. Бортовые информационные системы: курс лекций / А. А. Кучерявый под ред. В. А. Мишина, Г. И. Ключева. – Ульяновск: УлГТУ, 2003 – 510 с.

Волкова Л. В., Даутова З. З.

Уфимский университет науки и технологий

Науч. рук. Канд. Тех. Наук, Доцент, *Зайцева А. А.*

Уфимский университет науки и технологий

Volkova L. V., Dautova Z. Z.

Ufa University of Science and Technology

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ НА ОСНОВЕ САМОЛЕТНОЙ СХЕМЫ ДЛЯ БПЛА

DESIGN OF A MATHEMATICAL MODEL OF A CONTROL OBJECT IN SPACE BASED ON AN AIRCRAFT SCHEME FOR AN UAV

Аннотация. В данной статье рассматривается движение в пространстве беспилотного летательного аппарата, построенного по классической самолётной схеме как математическая модель объекта управления. Приведены уравнения движений, выражающие динамическое поведение БПЛА в скоростной системе координат, а также рассмотрены уравнения вращения вокруг центра масс; представлены характеристики управления с учетом органов аэродинамического регулирования; описаны влияние отклонений органов регулировки на углы наклона, вращения и параметры моментов сил.

Abstract. This article examines the motion in space of an unmanned aerial vehicle built according to the classical aircraft scheme as a mathematical model of a control object. The equations of motion expressing the dynamic behavior of the UAV in the velocity coordinate system are presented, and the equations of rotation around the center of mass are also considered. The control characteristics are presented, taking into account the aerodynamic control surfaces. The influence of deviations of the control surfaces on the angles of inclination, rotation, and force moments is described.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, дрон, математическая модель объекта управления, самолетная схема, динамические уравнения, центр масс.

Keywords: unmanned aerial vehicles, drones, mathematical model of the control object, aircraft design, dynamic equations, and center of mass.

Самолетная схема БПЛА является наиболее распространенной как на территории нашей страны, так и за рубежом. В современной научной авиационной литературе по динамике полета летательных аппаратов подробно рассматривается как моделирование твердого тела, обладающего шестью степенями свободы. В таких моделях реализуются три вида поступательных

движений его центра масс - движение по осям X, Y и Z - а также три вида вращательных движений вокруг этих же осей, что обеспечивает полное описание его кинематического и динамического поведения в трехмерном пространстве [1].

В скоростной системе координат динамические уравнения движения центра масс БЛА имеют вид:

$$\begin{aligned}mV &= ZF_x, \\mV_z &= YF_y, \\V\cos\theta_0 Y &= ZF_z.\end{aligned}$$

Динамические уравнения вращения БЛА вокруг его центра масс в связанной системе координат в общем случае записываются как:

$$\begin{aligned}J_y\omega_y + (J_z - J_x)\omega_z\omega_x &= M_y, \\J_x\omega_x + (J_y - J_z)\omega_y\omega_z &= M_x, \\J_z\omega_z + (J_x - J_y)\omega_x\omega_y &= M_z.\end{aligned}$$

где: m - масса БПЛА; $V=V(t)$ - скорость БЛА в момент времени t ; V' - производная по времени скорости, т.е. ускорение; $\theta_0=\theta_0(t)$ - угол наклона траектории БЛА; F_x, F_y, F_z - суммы проекций всех сил, действующих на БЛА на скоростной системе координат; $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ - угловые скорости вращения БЛА относительно соответствующих осей связанной СК; M_x, M_y, M_z - суммы проекций моментов сил, действующих на БЛА по осям относительно его центра масс; J_x, J_y, J_z - главные моменты инерции БЛА относительно осей связанной системы координат.

Для согласования применяемых при описании движения БЛА в пространстве систем координат используются следующие уравнения:

$$\begin{aligned}
\dot{\Psi} &= \frac{1}{\cos \vartheta} (\omega_y \cos \gamma - \omega_z \sin \gamma); \\
\dot{\vartheta} &= \omega_y \sin \gamma + \omega_z \cos \gamma; \\
\dot{\gamma} &= \omega_x - \operatorname{tg} \vartheta (\omega_y \cos \gamma - \omega_z \sin \gamma); \\
\sin \theta &= \cos \alpha \cos \beta \sin \vartheta - (\sin \alpha \cos \beta \cos \gamma + \sin \beta \sin \gamma) \cos \vartheta; \\
\sin \Psi \cos \theta &= \cos \alpha \cos \beta \sin \psi \cos \vartheta + \\
&\quad + \sin \alpha \cos \beta (\cos \psi \sin \gamma + \sin \psi \sin \vartheta \cos \gamma) - \\
&\quad - \sin \beta (\cos \psi \cos \gamma - \sin \psi \sin \vartheta \sin \gamma); \\
\sin \gamma_c \cos \theta &= \cos \alpha \sin \beta \sin \vartheta - \\
&\quad - \cos \vartheta (\sin \alpha \sin \beta \cos \gamma - \cos \beta \sin \gamma); \\
\dot{x} &= V \cos \theta \cos \Psi; \\
\dot{y} &= V \sin \theta; \\
\dot{z} &= V \cos \theta \sin \Psi.
\end{aligned}$$

здесь: γ, ϑ - соответственно углы рыскания, тангажа и крена БЛА; Ψ - угол поворота траектории БЛА; α, β - углы атаки и скольжения БЛА; x, y, z - координаты БЛА в земной СК. Система уравнений, включающая в себя 15 уравнений, описывает пространственное движение неуправляемого полета БЛА относительно земных осей координат.

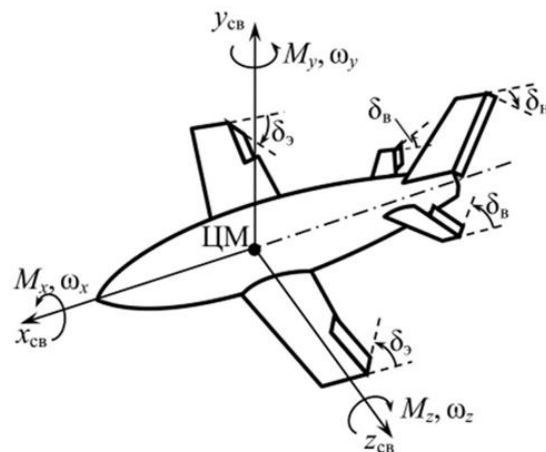


Рис. 1. Органы аэродинамического управления полетом самолёта

На рисунке 1 изображены органы аэродинамического управления, реализующие изменение параметров траектории полета. Эти органы позволяют

управлять устойчивостью и направлением движения беспилотника, воздействуя на его аэродинамические силы и моменты.

Органы управления, такие как рулевые поверхности и элероны, осуществляют следующие регулировки параметров движения БПЛА:

- угол δ_v отклонения руля высоты влияет на изменение угла тангажа, а также на соответствующие аэродинамические моменты, в частности, на момент M_z и угловую скорость ω_z . Отклонение вверх или вниз считается положительным при движении руля вниз, что позволяет регулировать угол наклона аппарата по вертикали.

- угол δ_n отклонения руля направления приводит к изменению угла рыскания (ψ), а также влияет на момент M_y и скоростного вращения по оси Y (ω_y). Положительным считается отклонение руля вправо, что позволяет корректировать направление полета и управлять курсом.

- угол δ_e отклонения элеронов вызывает изменение угла крена (ϕ), что приводит к соответствующим изменениям в аэродинамических силах и моментах (M_x , M_y). Здесь положительное отклонение - движение элерона вниз, которое способствует наклону крыла вверх и изменению ориентации аппарата по крену.

При этом считается, что углы δ_v и δ_e положительны при отклонениях соответствующих органов управления вниз, а угол δ_n будет положительным при отклонении руля направления вправо [3].

Следует обратить внимание, что для БПЛА иных конструктивных схем состав органов управления будет другим. Так для БПЛА схемы «утка» в качестве δ_v используется угол поворота переднего стабилизатора, а для БПЛА типа «летающее крыло» - углы поворотов дифференциальных элеронов (элевонов) [2].

Таким образом, полученные уравнения позволяют подробно анализировать пространственное движение беспилотных летательных аппаратов, что является важным для разработки систем автоматического управления и навигации. Эти результаты способствуют более точному прогнозированию поведения БПЛА в

полете и позволяют разрабатывать эффективные системы автоматического управления, обеспечивающие надежность и безопасность их эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефанов В.Н., Мизин С. В., Неретина В. В. «Управление полетом БПЛА в строю на основе координации взаимодействия группы летательных аппаратов» // Вестник УГАТУ, 2018. № 1 (62). 114 – 121 с.
2. Ефанов В.Н., Неретина В.В., Фетисов В.С. «Алгоритм навигации беспилотных летательных аппаратов при мониторинге лесных экосистем» // Авиакосмическое приборостроение №7, 2018. 11 – 24 с.
3. Моисеев В.С. «Групповое применение беспилотных летательных аппаратов: монография» – Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2017. 572 с.
4. Моисеев В.С. Прикладная теория управления беспилотными летательными аппаратами: монография. – Казань: ГБУ «Республиканский центр мониторинга качества образования» (Серия «Современная прикладная математика и информатика»). – 768 с.

Волкова Л. В., Даутова З. З.

Уфимский университет науки и технологий

Науч. рук. Канд. Тех. Наук, Доцент, *Зайцева А. А.*

Уфимский университет науки и технологий

Volkova L. V., Dautova Z. Z.

Ufa University of Science and Technology

РАЗРАБОТКА ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ МАЛОЙ АВИАЦИИ

DEVELOPMENT OF A PILOT MODEL OF A SMALL AVIATION ELECTRIC MOTOR

Аннотация. В статье представлен опытный образец и результаты испытаний бесколлекторного электродвигателя переменного тока, предназначенного для использования в вертолетах малой авиации. Выполнен подбор конструктивных решений, инженерные расчеты и организация испытаний. Рассмотрены особенности конструкции, технические характеристики, а также пути повышения эффективности и безопасности электродвигателя.

Abstract. The article presents a prototype and test results of a brushless AC electric motor designed for use in small aviation helicopters. The article discusses the selection of design solutions, engineering calculations, and the organization of tests. It also examines the features of the design, technical specifications, and ways to improve the efficiency and safety of the electric motor.

Ключевые слова: электродвигатель, опытный образец, технические характеристики, испытания, вертолеты малой авиации.

Keywords: electric motor, prototype, technical specifications, tests, small aviation helicopters.

В настоящее время разработка электродвигателей для вертолетов малой авиации является актуальной задачей на международном уровне. С увеличением потребности в легких, эффективных и экологически чистых источниках энергии для авиации возрастает актуальность разработки таких электродвигателей. Они не выбрасывают вредных веществ и шумов, что особенно важно при эксплуатации в городских условиях и в условиях строгих экологических нормативов. Создание сверхлегких электродвигателей позволяет повысить общую эффективность и автономность летательных аппаратов, при этом снижая их массу и увеличивая продолжительность полёта [1].

Электровертолёты применяются в таких сферах, как аэротакси, наблюдение, мониторинг и доставка грузов. Для этих целей требуется лёгкая, надёжная и энергоэффективная установка.

В рамках данного проекта был создан опытный образец электродвигателя, который отвечает требованиям отечественных стандартов (АП-27) и нормам летной годности для сверхлёгких летательных аппаратов [2]. На первом этапе были проведены основные расчёты для определения технических параметров электродвигателя, затем спроектирован в программе SolidWorks его опытный образец (рис.1).



Рис.1. 3D модель опытного образца электродвигателя.

Основные требования, которые были предъявлены к проектируемому электродвигателю:

- бесколлекторный, на базе неодимовых магнитов (ротор);
- возможность установки на вал несущей системы без дополнительных переходных элементов;
- наличие опор для фиксации шага лопастей и балансировка по массе;
- обеспечение системы включения авторотации в трех режимах (автоматическом, ручном дистанционном, механическом) [3].

В таблице 1 приведены полученные технические характеристики электродвигателя.

Таблица 1

Технические характеристики электродвигателя

Масса электродвигателя	не более 15 кг
Наружный диаметр	не более 300 мм
Посадочный диаметр (установка на вал НС)	40...50 мм
Высота	не более 100 мм
Максимальное напряжение в сети	не более 115В*
Номинальная мощность	25 кВт
Крутящий момент (в интервале оборотов от 600 до 1000 мин⁻¹)	250 Н*м
Номинальные обороты	820 мин ⁻¹
Время непрерывной работы (номинальная мощность)	1 час
Перегрузочная способность двигателя, не менее	2
Время работы при перегрузке	15 минут

На следующем этапе проводились испытания на стенде. Цель испытаний - выявить любые потенциальные недостатки в конструкции или материалах, которые могут привести к отказу двигателя в будущем.

Испытания проводились на стенде с насосом, имитирующим нагрузку (нагрузка за счет масла). В ходе тестирования достигнуто напряжение 13 кВ, при этом двигатель не проявлял снижений в работе - был зафиксирован постоянный крутящий момент на всех оборотах. Проблема возникала при превышении нагрузки и соответствующем отключении контроллера.

Для повышения мощности планируется установка нового контроллера. После его приобретения и тестирования предполагается увеличить нагрузку до

25 кВ, однако существует риск перегрева обмоток. В настоящее время подготовка к новым испытаниям ведется. По итогам испытаний мы формируем обобщенные выводы, сводя данные в таблицу 2.

Таблица 2

Выводы по результатам испытаний

Параметр	Значение
Максимальное напряжение	13 кВ (текущее испытание)
Планируемое напряжение	25 кВ (по проекту)
Мощность	В пределах 13-25 кВ, необходимы дальнейшие испытания
Масса системы	Не превышает 3 кг (система авторотации)
Размеры	Соответствуют требованиям для установки на вертолет

В таблице 3 представлены преимущества и недостатки опытного образца электродвигателя, которые были получены в результате анализа данных, собранных в ходе испытаний.

Таблица 3

Достоинства и недостатки опытного образца электродвигателя

Достоинства	Недостатки
Высокий КПД - электродвигатели преобразуют более 90% электрической энергии в механическую, что повышает общую эффективность.	Отсутствие легкого и большого аккумулятора, время полёта ограничено емкостью батарей, что требует их регулярной зарядки или замены.
Компактность и интеграция - меньшие размеры и вес позволяют разместить двигатель в ограниченном пространстве, увеличивая полезную нагрузку.	Высокие рабочие токи.
Бесшумность и экологичность - отсутствие выбросов и меньший уровень шума по сравнению с двигателями внутреннего сгорания.	Надёжность системы - требует тщательной эксплуатации и тестирования.
Быстрая реакция и управление - электродвигатели легко управляемы.	Высокая стоимость аккумуляторов и электромоторов.
Меньше технического обслуживания - отсутствие сложных механизмов, масла, свечей зажигания и т.д.	

Проведённый анализ показал, что электродвигатели обладают рядом значительных преимуществ, таких как высокий КПД, компактность, бесшумность и простота обслуживания, что делает их перспективным решением для современных технических систем. Однако, существуют и серьёзные недостатки, особенно связанные с ограниченной продолжительностью полёта из-за аккумуляторных батарей, высокой стоимостью и необходимостью тщательной эксплуатации для обеспечения надёжности. В дальнейшем для повышения эффективности и практичности электродвигателей потребуется работать над уменьшением стоимости аккумуляторов, увеличением времени полёта и повышением надёжности системы.

Таким образом, в результате расчетов и испытаний была доказана высокая потенциальная эффективность электродвигателя для вертолетов малой авиации. Разработанный нами опытный образец электродвигателя позволяет эффективно применять его в качестве аэротакси. Разработка электродвигателей для вертолетов - это перспективное направление, способное координально изменить облик легкой воздушной техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондрякова А.Д., Леонтьева М.К. «Электрические силовые установки летательных аппаратов» / «Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение» №2, 2024. 49–61 с.
2. Тищенко, М. Н. «Выбор параметров вертолётa на начальной стадии проектирования» – учебное пособие «Авиастроение» / Москва: МАИ-Принт, 2011. 121 с.
3. Кувшинов А.А., Вакулук В.М., Фатеев В.Б. «Теория электропривода: учебное пособие по курсовому проектированию» / Оренбург: ОГУ, 2007. 128 с.

Волкова Л. В., Даутова З. З.

Уфимский университет науки и технологий

Науч. рук. Канд. Тех. Наук, Доцент, *Зайцева А. А.*

Уфимский университет науки и технологий

Volkova L. V., Dautova Z. Z.

Ufa University of Science and Technology

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДИАГНОСТИКЕ ВИБРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

MODERN METHODS AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE DIAGNOSTICS OF VIBRATION CHARACTERISTICS OF GAS TURBINE ENGINES

Аннотация. В статье рассматриваются методы вибрационной диагностики газотурбинных двигателей, их важность для надежности и безопасности авиации. Описываются задачи диагностики, обработка сигналов, спектральный анализ и технические решения. Предложена расширенная система с четырьмя вибропреобразователями для повышения точности, а также перспективы улучшения системы с помощью дополнительных датчиков и современных вычислительных устройств. Цель исследования - повысить точность, расширить диагностические возможности и автоматизировать процесс выявления дефектов газотурбинных двигателей.

Abstract. The article discusses methods of vibration diagnostics of gas turbine engines, their importance for the reliability and safety of aviation. It describes the tasks of diagnostics, signal processing, spectral analysis, and technical solutions. An extended system with four vibration transducers is proposed to improve accuracy, as well as the prospects for improving the system using additional sensors and modern computing devices. The goal of the research is to increase accuracy, expand diagnostic capabilities, and automate the process of identifying defects in gas turbine engines.

Ключевые слова: вибродиагностика, газотурбинные двигатели, спектральный анализ, вибродиагностическая система, вибропреобразователь.

Keywords: vibration diagnostics, gas turbine engines, spectral analysis, vibration diagnostic system, vibration transducer.

Вибрационная диагностика - один из методов повышения надежности авиационных двигателей, поддержание правильной эксплуатации и повышение безопасности при полетах. В узком смысле под вибродиагностикой

подразумевают обнаружение неисправностей двигателя, связанных с вибрацией и колебаниями во время работы.

Основными задачами вибродиагностики авиадвигателей являются:

- выявление опасных динамических воздействий на детали двигателя, оценка их интенсивности и характера, выявление причин колебаний;
- выявление опасных резонансных и вынужденных колебаний отдельных деталей и узлов;
- определение допустимых уровней общих вибраций двигателя и вибраций его агрегатов;
- распознавание колебаний, возбуждаемых отдельными источниками возмущений;
- оценка динамической нагруженности элементов конструкции двигателя;
- выявление причин повышенных вибраций и их факторов;
- определение качества изготовления и сборки двигателя и его узлов на вибрационное состояние элементов конструкции;
- оценка устойчивости элементов конструкции двигателя к колебаниям[2].

Источники влияющих факторов порождают шум работающего двигателя, спектр которого зависит как от режима работы, так и от внешних условий. Появление неисправностей в системах двигателя приводит к изменениям в характерном для исправного двигателя спектре шума, что служит важным признаком для диагностики и выявления дефектов. Анализ изменений в спектре позволяет не только зафиксировать наличие неисправностей, но и определить их тип и степень развития. Поэтому исследование параметров спектра и разработка алгоритмов его анализа являются основными задачами в области вибрационной диагностики газотурбинных двигателей.

На рисунке 1 приведен спектр шума двигателя, имеющего "зуд" с составляющей спектра шума частотой $f=90$ Гц (позиция 1).

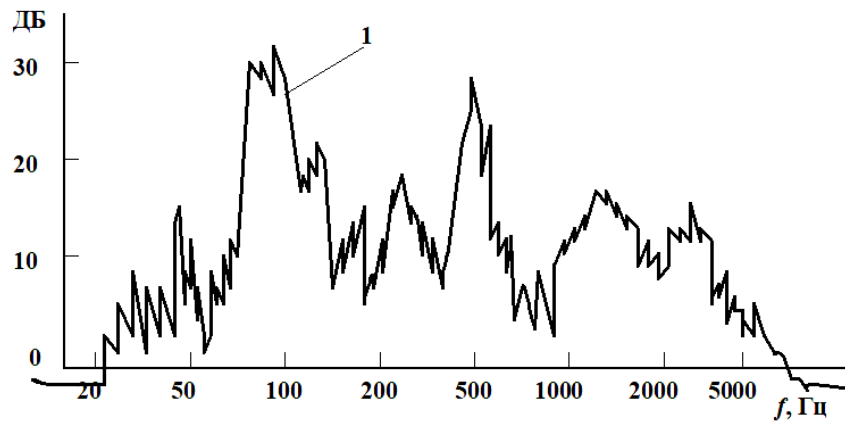


Рис. 1. Спектр шума работающего двигателя при наличии "зуда"

Сложность сигналов и разнообразие задач вибрационной диагностики заставляют при выявлении и измерении диагностических параметров использовать такие виды обработки сигналов как:

- разделение вибрационного сигнала в частотно-фазовой и временной областях на "элементарные";
- пространственное разделение вибрационных сигналов;
- восстановление формы выделенных "элементарных" сигналов;
- линейные и нелинейные преобразования сигналов;
- измерение отдельных параметров и статистических характеристик сигналов;
- измерение характеристик взаимосвязи сигналов.

Для реализации указанных видов обработки в вибродиагностике применяются: спектральный и автокорреляционный анализ сигналов, анализ сигнала методом накопления, выделение огибающей сигнала (детектирование), синхронное детектирование сигнала, спектральный анализ огибающей, спектральный анализ логарифмического спектра сигнала (spectrum-анализ), фильтрация сигнала с помощью полосовых фильтров, фильтрация сигнала с помощью следящих полосовых фильтров, разделение сигналов во времени стробированием, одномерный вероятностный анализ, получение функций частной и множественной когерентности, многомерный вероятностный анализ,

получение регрессионных зависимостей между отдельными компонентами и характеристиками сигналов, например между составляющими спектра.

Требованиям вибродиагностики авиационных двигателей наиболее полно отвечает спектральный анализ. Анализаторы, работающие в реальном времени, снабжаются блоками, позволяющими переводить частотные спектры в оборотно-порядковые, т.е. спектры гармоник по отношению к опорной частоте. В состав аппаратуры наряду с такими анализаторами обычно входит мини-ЭВМ, на которой проводится статистическая обработка спектров[4].

Основная цель применения аппаратуры контроля вибрации заключается в предотвращении аварийных ситуаций в полете, связанных с неисправностями двигателя. Это обеспечивается контролем текущего значения уровня вибрации двигателя при помощи показывающего прибора, входящего в комплект аппаратуры, или анализом записей бортовых регистрирующих устройств после полета [3].

В современное время на большинстве самолетов и вертолетов с газотурбинными двигателями устанавливается аппаратура, предназначенная для контроля уровня вибрации корпусов авиадвигателей по первым роторным гармоникам спектра частот, возбуждаемого вращением роторов компрессоров и турбин.

В двухвальных газотурбинных двигателях при различных режимах работы диапазоны частот вращения роторов турбины низкого давления и турбины высокого давления перекрываются, следовательно, вибрации, генерируемые различными роторами, не разделяются. Полоса частот определяется, таким образом, конкретными характеристиками двигателя: например для двигателя ПС-90 нижняя частота составляет обычно 30 – 40 Гц, верхняя – 200 – 300 Гц [1].

Контроль вибросостояния двухвальных ГТД ведется по усредненному значению вибраций с частотами первых роторных гармоник. При этом результирующая величина вибрации $I_{рез}$ от двух независимых источников вибрации I_1 и I_2 приближенно равна:

$$V_{рез} = (1 + \frac{k^2}{4} + \frac{k^4}{64})V_1, \quad (1)$$

где $k = \frac{V_2}{V_1} \leq 1$.

Из этого соотношения следует, что предельная норма вибрации для каждого ротора соответствует предельной норме вибрации по обобщенному параметру лишь в случае, когда соотношение составляющих уровней вибрации первых роторных гармоник не менее 3–4. В случае, когда уровни вибрации с частотой этих гармоник соизмеримы, возникает несоответствие предельной нормы вибрации по обобщенному параметру с предельными нормами по отдельным гармоникам, которое достигает 20–30%.

Опыт эксплуатации виброаппаратуры показал, что она является эффективным средством раннего обнаружения неисправностей двигателей.

Аппаратура контроля вибрации имеет в своем составе виброизмерительный преобразователь, блок преобразования и управления, устройства индикации и сигнализации. Но данная аппаратура имеет недостаточно высокую точность, сравнительно узкие диагностические возможности[5].

Предлагаемая система диагностики предполагает установку большего числа виброизмерительных преобразователей (четырёх вместо двух) на каждый двигатель. Они устанавливаются в зоне подшипников компрессора и турбин высокого и низкого давлений, потому что именно в этой области расположены основные компоненты, где могут возникать дефекты или неисправности. Эти места подвержены высоким нагрузкам и вибрациям, и любые изменения в работе подшипников или других частей могут быстро привести к ухудшению технического состояния двигателя. Поэтому установка преобразователей в этих зонах позволяет своевременно выявлять возможные неисправности.

В общем случае структурная схема аппаратуры для контроля вибраций представлена на рисунке 2.

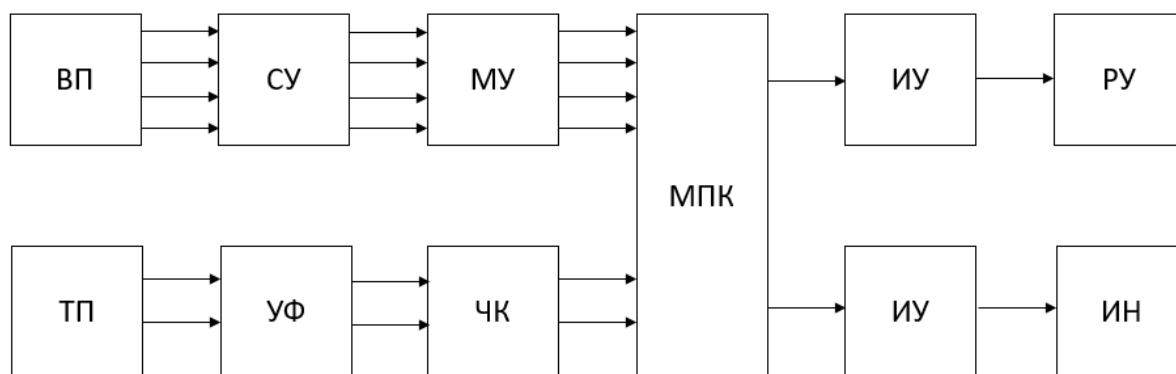


Рис. 2. Структурная схема вибродиагностической системы:
ВП–вибропреобразователь, СУ–согласующий усилитель, МУ–масштабный усилитель, ТП–тахометрический преобразователь, УФ–усилитель-формирователь, ЧК–преобразователь частота–код, МПК–микропроцессорный контроллер, ИУ–интерфейсное устройство, РУ–регистрирующее устройство, ИН–индикатор

В аппаратуре с пьезоэлектрическим вибропреобразователем согласующий усилитель СУ выполняется выносным и размещается около преобразователя. Сигнал, усиливается масштабным усилителем МУ и подается на вход микропроцессорного контроллера МПК. МПК в своем составе имеет управляемый коммутатор на соответствующее число каналов, аналого-цифровой преобразователь, цифро-аналоговый преобразователь, флэш память, порты вывода информации через соответствующие интерфейсные устройства ИУ на приборы индикации ИН и устройства регистрации РУ.

МПК позволяет программно-реализовать цифровые фильтры с заданными характеристиками и полосами пропускания соответствующих роторных скоростей вращения турбин низкого давления и высокого давления. Для определения угловых скоростей вращения турбин в систему вводятся тахометрические преобразователи ТП, сигнал с которых через усилитель-формирователь УФ и преобразователь частота-код ЧК подается на МПК.

Полученная и обработанная по определенным алгоритмам информация о вибрации подается на индикатор, а также в регистрирующее устройство.

Таким образом, вибрационная диагностика - эффективный инструмент для обеспечения надежной и безопасной эксплуатации газотурбинных двигателей. Современные технические решения, основанные на спектральном анализе и цифровых системах обработки сигналов, позволяют выявлять неисправности на ранних стадиях, тем самым снижая риск аварийных ситуаций. Современные технологии в будущем обещают обеспечить большую точность и автоматизацию процесса диагностики, что способствует повышению уровня авиационной безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елисеев Ю. С., Крымов В. В., Малиновский К. А., Попов В. Г. «Технология эксплуатации, диагностики и ремонта газотурбинных двигателей»: учебное пособие для вузов / М.: Высшая школа, 2022. 354 с.
2. Киселёв Ю. В., Киселёв Д. Ю., Тиц С. Н. «Вибрационная диагностика систем и конструкций авиационной техники». Самара: Изд-во СГАУ, 2012. 206 с.
3. Харкевич А. А. «Спектры и анализ» (монография, 5-е изд.), 2025. 236 с.
4. Колобов А. Б. «Вибродиагностика: теория и практика: учебное пособие / 2-е изд. - Москва; Вологда: «Инфра-Инженерия», 2024. - 252 с.
5. Бернс В. А., Жуков Е. П., Лакиза П. А., Душухин Д. О., Шкода А. В., Райс К. Ю. «Опыт диагностики авиационных конструкций в процессе вибрационных испытаний». Журнал «Вестник Московского авиационного института», 2024, № 4, 113-122 с.

Гаврилов В.Ф., Горбунов Д.Е.

Уфимский университет науки и технологий, филиал в г. Кумертау

Науч. рук канд.техн. наук *Зайцева А.А.*

Уфимский университет науки и технологий, филиал в г. Кумертау

Gavrilov V.F., Gorbunov D.E.

Ufa university of Science and Technology

ОСОБЕННОСТИ ИНТЕГРАЦИИ БПЛА В СОСТАВ РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНО-ОГНЕВЫХ КОНТУРОВ

PECULIARITIES OF UAV INTEGRATION INTO RECONNAISSANCE AND FIRE CIRCUITS

Аннотация: технические и тактические аспекты включения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в структуру разведывательно-огневых контуров (РОК). Проблемы обеспечения устойчивой связи, передачи данных в реальном времени.

Abstract: technical and tactical aspects of the inclusion of unmanned aerial vehicles (UAVs) in the structure of reconnaissance and fire circuits (ROK). Problems of providing stable communication, real-time data transmission.

Ключевые слова: БПЛА, разведывательно-огневой контур, автоматизация управления, артиллерия, целеуказание, сетцентрические войны.

Keywords: UAV, reconnaissance and fire contour, control automation, artillery, target designation, network-centric wars.

Современные военные конфликты характеризуются высокой динамичностью и переходом к сетцентрическим моделям управления. Одним из ключевых элементов повышения эффективности артиллерийских и ракетных подразделений является создание разведывательно-огневых контуров (РОК). В данной системе БПЛА перестают быть просто средством наблюдения и превращаются в интегральный узел обмена данными, обеспечивающий сопряжение средств разведки и средств поражения.

Основная задача интеграции БПЛА в РОК — минимизация времени нахождения цели в зоне поражения до момента открытия огня. Традиционная схема передачи данных через несколько звеньев управления (корректировщик —

штаб — батарея) заменяется прямой или полуавтоматической передачей координат.

Основные функции БПЛА в контуре:

- Доразведка и идентификация целей.
- Автоматизированное определение координат (GPS/ГЛОНАСС + лазерный дальномер).
- Корректировка огня в режиме реального времени.
- Контроль результатов огневого поражения

Ключевым преимуществом использования БПЛА является радикальное сокращение «цикла Бойда». Если при классической разведке время от обнаружения до выстрела может составлять 10–15 минут, то в рамках цифрового РОК с применением БПЛА оно сокращается до 1.5–3 минут (см. рис.1).



Рис. 1 Сравнительный анализ времени реакции разведывательно-огневого контура (РОК) с интеграцией БПЛА и без нее

На (рис.1), интеграция БПЛА позволяет снизить общее время реакции контура с 19 минут (при использовании традиционных методов) до всего лишь 3,5 минут. Это достигается за счет автоматизации передачи координат и мгновенной корректировки огня в реальном времени.

Технические особенности применения

- Тактические БПЛА являются «глазами» РОК. Они оснащаются гиростабилизированными камерами и лазерными дальномерами. Вероятность успешного поражения цели P в данном случае является функцией от точности определения координат (x, y, z) .

- Математическая зависимость: при использовании БПЛА круговое вероятное отклонение (КВО) для артиллерии сокращается в 3–5 раз. Если без корректировки КВО составляет десятки метров, то с БПЛА оно приближается к техническому рассеиванию орудия.

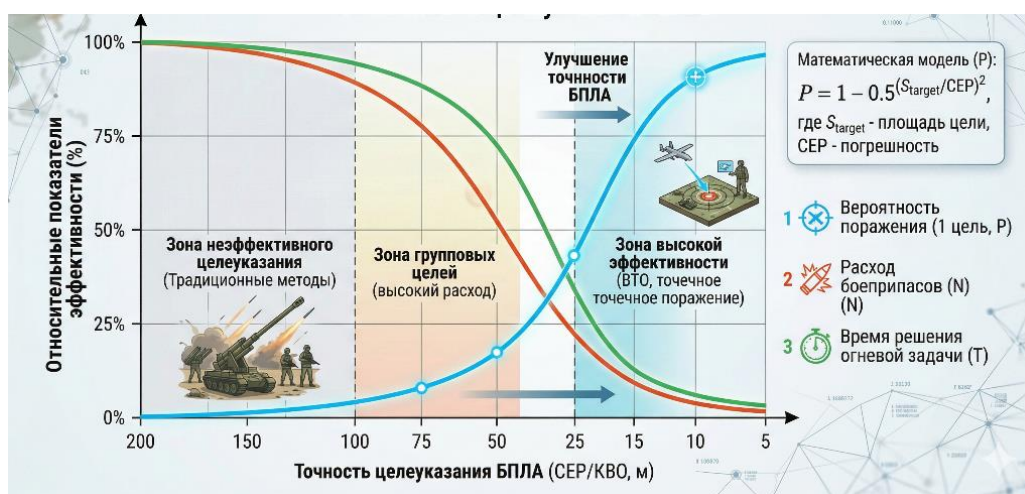


Рис. 2. Зависимость эффективности огневого поражения от точности целеуказания БПЛА

Кривая вероятности поражения (P): демонстрирует нелинейный рост. При погрешности свыше 100 м вероятность уничтожения малоразмерной цели одним залпом стремится к нулю. Критический «перелом» происходит в диапазоне 25–50 метров — именно здесь интеграция БПЛА дает максимальный прирост эффективности. При точности менее 15 метров вероятность поражения выходит на плато (близко к 90-100%), что характеризует переход к снайперскому огневому поражению.

Кривая расхода боеприпасов (N): показывает экспоненциальное снижение. В зоне низкой точности (традиционная корректировка) для гарантированного подавления цели требуется колоссальный расход снарядов (накрытие площадей).

При достижении точности БПЛА в 10–15 метров расход сокращается до 1–3 единиц боеприпасов на цель.

Кривая времени решения задачи (Т): коррелирует с расходом боеприпасов. Сокращение времени стрельбы критически важно для выживаемости самой артиллерии: чем меньше времени батарея проводит на позиции, тем ниже риск попасть под ответный контрбатарейный огонь.

График наглядно доказывает, что интеграция БПЛА в РОК смещает работу артиллерии из зоны «изматывания и площадной стрельбы» в зону «хирургического поражения». Это не просто улучшение характеристик, а качественный переход, позволяющий выполнять боевые задачи меньшими силами в кратчайшие сроки.

Интеграция БПЛА в состав разведывательно-огневых контуров является критическим фактором достижения превосходства на поле боя. Основной эффект достигается не за счет самих летательных аппаратов, а за счет создания единого информационного пространства, объединяющего датчики и средства поражения. Будущее РОК лежит в плоскости полной автоматизации передачи данных и защиты каналов управления от радиоэлектронного воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермолин О.В., Зубов Н.П., Фомин М.В. Применение Ударной Авиации Воздушно-Космических Сил В Военных Конфликтах Будущего. – Военная мысль. 2023. с. 17-23
2. Голубенко Н.Ю., Вавринюк С.А., Иванов А.А. Развитие автоматизированных систем боевого управления вооруженных сил США. – Военная мысль. 2023. с. 134-140
3. Макаренко С.И. Преодоление Позиционного Тупика В Современных Боевых Действиях За Счет Массированного Применения Беспилотных Летательных Аппаратов. – Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2024. с. 25-28

Гаврилов В.Ф., Силин И.П.

Уфимский университет науки и технологий, филиал в г. Кумертау

Науч. рук канд.техн. наук *Зайцева А.А.*

Уфимский университет науки и технологий, филиал в г. Кумертау

Gavrilov V.F., Silin I.P.

Ufa university of Science and Technology

РАЗВЕДКА БЕЗ РИСКА, РОЛЬ БПЛА В СБОРЕ ДАННЫХ

RISK-FREE INTELLIGENCE: THE ROLE OF UAVS IN DATA COLLECTION

Аннотация: беспилотные летательные аппараты (БПЛА) в проведении разведывательных операций и сборе данных в современных условиях, применение БПЛА позволяет минимизировать риски для личного состава, обеспечивая при этом высокую эффективность сбора разнородной информации.

Основные типы полезной нагрузки и сенсоров, используемых на БПЛА для различных видов разведки, таких как видовая, радиоэлектронная и измерительно-сигнальная.

Abstract: Unmanned aerial vehicles (UAVs) are used for reconnaissance operations and data collection in modern conditions. The use of UAVs minimizes risks to personnel while ensuring high efficiency in collecting diverse information.

The main types of payloads and sensors used on UAVs for various types of reconnaissance, such as visual, electronic, and measurement and signal reconnaissance.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, БПЛА, разведка, сбор данных, видовая разведка, радиоэлектронная разведка, минимизация рисков, сенсоры, мониторинг.

Keywords: unmanned aerial vehicles, UAVs, reconnaissance, data collection, visual reconnaissance, electronic reconnaissance, risk minimization, sensors, and monitoring.

Современные БПЛА классифицируются не только по массе и дальности полета, но и по типу решаемых задач, которые напрямую зависят от установленной полезной нагрузки. Сбор данных осуществляется с помощью разнообразных сенсоров, которые можно разделить на несколько основных категорий:

- Сенсоры видовой разведки (IMINT - Imagery Intelligence) (рис.1): это наиболее распространенный тип полезной нагрузки. Включает в себя оптико-электронные системы (камеры видимого диапазона высокого разрешения),

тепловизоры (инфракрасные сенсоры) и многоспектральные камеры. Эти датчики позволяют получать фото- и видеоматериалы местности, объектов и живой силы в реальном времени, в том числе в условиях ограниченной видимости или ночью. Ключевым преимуществом является возможность длительного патрулирования и детального изучения целей без обнаружения.



Рис. 1. Сенсоры видовой нагрузки

- Сенсоры радиоэлектронной разведки (SIGINT - Signals Intelligence) (рис. 2): Устройства для перехвата и анализа радиосигналов. БПЛА, оснащенные системами SIGINT, могут определять местоположение и характеристики радиолокационных станций, систем связи, средств РЭБ и других излучающих объектов. Это позволяет выявлять систему управления противника и его технические возможности.



Рис. 2. Сенсоры радиоэлектронной разведки

- Сенсоры измерительно-сигнальной разведки (MASINT - Measurement and Signature Intelligence) (рис. 3): включают в себя радиолокаторы с синтезированной апертурой (SAR), лазерные сканеры (LiDAR), акустические и химические датчики. SAR обеспечивает получение изображений местности при любых погодных условиях и времени суток, а LiDAR — построение точных 3D-моделей рельефа и объектов. Химсенсоры позволяют выявлять наличие отравляющих или радиоактивных веществ.



Рис. 3. Сенсоры Измерительно-сигнальной разведки



Рис. 4. Средства ретрансляции связи БПЛА

БПЛА революционизировали сферу разведки, обеспечивая возможность сбора разнородных данных в реальном времени при полном отсутствии непосредственного риска для личного состава. Это достигается за счет использования широкого спектра высокотехнологичных сенсоров, защищенных каналов передачи информации и дистанционного управления. Дальнейшее развитие технологий, особенно интеграция искусственного интеллекта для автоматизированной обработки данных и повышения автономности, сделает беспилотные комплексы еще более эффективным инструментом ведения разведки в сложных условиях. Это позволит не только получать более качественную информацию, но и сохранить жизни специалистов в самых опасных сценариях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Кондратьева А.М. Современное Применение Беспилотных Летательных Аппаратов (БПЛА). – Право и управление. 2024. с. 292-294
2. Миронова Е.А., Миниязова А.И. Применение беспилотных летательных аппаратов в тактической разведке на уровне взвода/роты — типы миссий, интеграция данных. – Вестник науки. 2025. с. 947- 949
3. Окунев В.И. Анализируем совместные разведывательно-ударные действия рейдового отряда и смешанной тактической авиационной группы. – военная мысль. 2021. с. 149-152

Горбунов Д.Е., Гаврилов В.Ф.

Уфимский университет науки и технологий, филиал в г. Кумертау

Науч. рук канд.техн. наук *Зайцева А.А.*

Уфимский университет науки и технологий, филиал в г. Кумертау

Gorbunov D.E., Gavrilov V.F.

Ufa university of Science and Technology

НЕВИДИМЫЕ ХИЩНИКИ: ОБЗОР ПЕРЕДОВЫХ УДАРНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ТАКТИКУ СОВРЕМЕННОГО БОЯ

INVISIBLE PREDATORS: AN OVERVIEW OF ADVANCED UNMANNED FLYING APPARATUSES AND THEIR IMPACT ON MODERN COMBAT TACTICS

Аннотация: научно-технический обзор современных ударных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), стоящих на вооружении и разрабатываемых ведущими мировыми державами. Анализируются тактико-технические характеристики, боевой потенциал и конструктивные особенности таких комплексов, как MQ-9 Reaper (США), Bayraktar TB2 и Akıncı (Турция), С-70 «Охотник» (Россия), а также Wing Loong II (КНР). Рассматривается эволюция применения беспилотной авиации от разведывательных задач к выполнению полноценных ударных операций в условиях современного противодействия ПВО.

Abstract: This is a scientific and technical review of modern strike unmanned aerial vehicles (UAVs) that are in service and being developed by the world's leading powers. It analyzes the tactical and technical characteristics, combat potential, and design features of systems such as the MQ-9 Reaper (USA), Bayraktar TB2 and Akıncı (Turkey), the S-70 Okhotnik (Russia), and the Wing Loong II (China). The review explores the evolution of the use of unmanned aerial vehicles from reconnaissance missions to full-fledged strike operations in the face of modern air defense systems.

Ключевые слова: ударный БПЛА, беспилотная авиация, малозаметность, высокоточное оружие, MQ-9 Reaper, Bayraktar, С-70 Охотник, MUM-T, тактика современного боя.

Keywords: strike UAV, unmanned aerial vehicle, stealth, precision-guided weapons, MQ-9 Reaper, Bayraktar, S-70 Okhotnik, MUM-T, modern combat tactics.

В последние десятилетия характер войн фундаментально изменился. Ударные беспилотные летательные аппараты (БПЛА), эволюционировав из средств разведки, превратились в ключевой инструмент современной тактики,

способный часами барражировать в воздухе, обнаруживать и уничтожать цели с высокой точностью. Эти «невидимые хищники» меняют баланс сил на поле боя.

эталонный разведывательно-ударный БПЛА тяжелого класса. MQ-9 (см. рис.1), разработанный General Atomics, оснащен мощным турбовинтовым двигателем и способен нести до 1700 кг полезной нагрузки (ракеты AGM-114 Hellfire, бомбы GBU-12). Главное преимущество Reaper — продвинутая оптико-электронная система AN/DAS-1 MTS-B и радар с синтезированной апертурой (SAR), позволяющие находить цели в любых условиях. Хотя он уязвим для современных ПВО, MQ-9 доминирует в асимметричных конфликтах и контртеррористических операциях.



Рис. 1. MQ-9 Reaper

Bayraktar TB2 (Турция) (см. рис. 2) символ революции в средневысотных БПЛА (MALE). Небольшой, дешевый и эффективный, TB2 от компании Baykar Makina сделал ставку не на рекордные ТТХ, а на сетецентричность и малозаметность. При массе 700 кг он несет 150 кг нагрузки (высокоточные микробоеприпасы MAM-L). Благодаря малым габаритам и интеграции со средствами РЭБ, TB2 успешно поражал ЗРК ближнего и среднего радиуса действия, изменив ход конфликтов в Ливии, Сирии и Нагорном Карабахе.



Рис. 2. Bayraktar TB2

С-70 «Охотник» (Россия) (см. рис.1) самый амбициозный проект России в области беспилотной авиации. С-70 спроектирован по схеме «летающее крыло» с широким применением технологий малозаметности) для прорыва эшелонированной ПВО. Взлетная масса достигает 20 тонн, вся боевая нагрузка (до 2,8 т) размещена во внутренних отсеках. «Охотник» задуман не как самостоятельный дрон, а как «верный ведомый» для истребителя пятого поколения Су-57, действуя в едином информационном поле и принимая на себя наиболее опасные задачи.



Рис. 3. С-70 «Охотник»

Современные платформы (MQ-9, С-70, Bayraktar, Wing Loong) трансформируют войну через три ключевых тренда:

- ИИ-автономия: переход от дистанционного управления к самостоятельному поиску и уничтожению целей в условиях РЭБ.
- Скрытность (Stealth): использование форм «летающего крыла» для прорыва зон ПВО (A2/AD).
- Концепция MUM-T: работа дронов как «верных ведомых» в связке с пилотируемыми истребителями.

Влияние ударных БПЛА на тактику боя можно свести к четырем тезисам:

- Прозрачность и темп: Круглосуточное наблюдение делает невозможным скрытное накопление сил. Дистанция между обнаружением цели и её уничтожением сократилась до минут.
- Перегрузка ПВО: Массовое использование малых и малозаметных БПЛА истощает боекомплект и «ослепляет» радары классических зенитных комплексов, требуя создания новых эшелонов защиты.
- Бесконтактный бой: Смещение центра тяжести операций на роботизированные системы позволяет наносить критический урон противнику без ввода живой силы в зону огневого поражения.

Вывод: Будущее принадлежит сетцентрическим группам автономных невидимых роботов, способных к коллективному принятию решений в динамичном бою.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новак К.В., Олешко В.С., Старикова И.О., Тофоров М.С. Анализ Комплексов С Беспилотными Летательными Аппаратами, Применяемых Силами Специальных Операций Соединенных Штатов Америки. – Труды МАИ. 2017. с. 2-9
2. Троценко К.А. Ударная И Огневая Тактика - От Безыдейности К Развитым Огневым Основам Боя И Операции. – Военная мысль. 2019. с. 29-32
3. Чижевский Я.А. Реализация Концепции Сетцентрических Боевых Действий В Вооруженных Силах США. – Военная мысль. 2019. с. 116-120

Горбунов Д.Е., Гаврилов В.Ф.

Уфимский университет науки и технологий, филиал в г. Кумертау

Науч. рук канд.техн. наук *Зайцева А.А.*

Уфимский университет науки и технологий, филиал в г. Кумертау

Gorbunov D.E.

Ufa university of Science and Technology

МЕТОДОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ МОДИФИЦИРОВАННОГО РЕДУКТОРА НА ДВИГАТЕЛЕ ГТДЭ-117

TEST METHOD FOR A MODIFIED GEARBOX ON GTDE-117 ENGINES

Аннотация: В статье изложены основные методологические подходы к проведению испытаний модифицированного редуктора, предназначенного для установки на двигатели семейства ГТДЭ-117. Рассмотрены этапы подготовки, организация стендовых и эксплуатационных испытаний, критерии оценки работоспособности и надёжности редуктора, а также методы обработки и анализа полученных данных. Особое внимание уделено вопросам обеспечения безопасности, воспроизводимости результатов и минимизации влияния внешних факторов на достоверность испытаний.

Abstract: The article outlines the main methodological approaches to testing a modified gearbox designed for installation on GTE-117 engines. It discusses the stages of preparation, the organization of bench and operational tests, the criteria for evaluating the performance and reliability of the gearbox, as well as the methods of processing and analyzing the obtained data. Special attention is given to ensuring safety, reproducibility of results, and minimizing the impact of external factors on the reliability of tests.

Ключевые слова: редуктор, ГТДЭ-117, методология испытаний, стендовые испытания, эксплуатационные испытания, надёжность, анализ данных.

Keywords: gearbox, GTE-117, test methodology, bench tests, operational tests, reliability, data analysis.

Современные авиационные двигатели семейства ГТДЭ-117 широко применяются в силовых установках различных летательных аппаратов. Внедрение модифицированных редукторов в конструкцию двигателя обусловлено необходимостью повышения эффективности передачи мощности, увеличения ресурса и снижения массы агрегата. Однако любые изменения в конструкции требуют тщательной проверки на соответствие требованиям по надёжности, безопасности и эксплуатационным характеристикам. В связи с этим

особую актуальность приобретает разработка и внедрение научно обоснованной методологии испытаний модифицированных редукторов.

Цели испытаний:

- Подтверждение соответствия модифицированного редуктора требованиям технической документации.
- Оценка влияния внесённых изменений на основные эксплуатационные характеристики двигателя.
- Выявление потенциальных слабых мест конструкции и определение путей их устранения.
- Формирование базы данных для дальнейшего совершенствования редуктора.

Методика проведения стендовых испытаний:

- Предварительные испытания

На данном этапе осуществляется проверка работоспособности редуктора при минимальных нагрузках и скоростях. Проводится мониторинг температурных режимов, вибраций, уровня шума и других параметров.

- Ресурсные испытания

Проводятся с целью подтверждения заявленного ресурса редуктора. Испытания включают циклическое нагружение, имитацию максимальных эксплуатационных режимов, а также проверку на устойчивость к аварийным ситуациям.

- Климатические испытания

Редуктор испытывается в условиях экстремальных температур, влажности, воздействия пыли и других факторов внешней среды. Это позволяет оценить стойкость конструкции к неблагоприятным условиям эксплуатации.

- Эксплуатационные испытания

После успешного завершения стендовых испытаний редуктор устанавливается на двигатель ГТДЭ-117 для проведения лётных или наземных эксплуатационных испытаний. В процессе эксплуатации осуществляется

постоянный мониторинг состояния редуктора с помощью бортовых систем диагностики и периодических осмотров.

Анализ и обработка результатов:

- Сбор данных

Все параметры фиксируются с помощью автоматизированных систем сбора данных. Особое внимание уделяется регистрации нештатных ситуаций, отклонений от нормы и аварийных сигналов.

- Статистическая обработка

Полученные данные подвергаются статистическому анализу для выявления закономерностей, оценки надёжности и прогнозирования ресурса редуктора.

- Оформление отчёта

По итогам испытаний составляется подробный отчёт, включающий описание методики, результаты измерений, анализ отклонений, выводы и рекомендации по доработке конструкции или технологии производства.

Разработанная методология проведения испытаний модифицированного редуктора для двигателей ГТДЭ-117 позволяет обеспечить высокий уровень достоверности результатов, своевременно выявлять конструктивные недостатки и формировать научно обоснованную базу для дальнейшего совершенствования агрегатов. Внедрение предложенных подходов способствует повышению надёжности и безопасности эксплуатации авиационных двигателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алимов С.А., Лимончиков В.Д., Михайлов С.А., Неделько Д.В., Салтыков С.В. Методология проведения копровых испытаний ползкового шасси вертолета. – Ученые записи ЦАГИ. 2012. с. 2-5
2. Назаров В.П., Пиунов В.Ю., Коломенцев А.И., Яцуненко В.Г., Голиковская К.Ф. Методология Оценки Надёжности Стендовых Систем. При Испытаниях Жидкостных Ракетных Двигателей Малой Тяги. – Сибирский аэрокосмический журнал. 2022. с. 721-725
3. Прохор Д.И. Результаты эксплуатационных испытаний опытной системы изоляции класса "н" тяговых двигателей тепловозов и ее контроль средствами мобильной диагностики. – Бюллетень результатов научных исследований. 2021. с. 35-38

Горбунов Д.Е., Силин И.П.

Уфимский университет науки и технологий, филиал в г. Кумертау

Науч. рук канд.техн. наук *Зайцева А.А.*

Уфимский университет науки и технологий, филиал в г. Кумертау

Gorbunov D.E., Silin I.P.

Ufa university of Science and Technology

ИНТЕГРАЦИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (БПЛА) В ЕДИНОЕ ВОЗДУШНОЕ ПРОСТРАНСТВО: ПРАВОВЫЕ КОЛЛИЗИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

INTEGRATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAVs) INTO A SINGLE AIRSPACE: LEGAL CONFLICTS AND TECHNICAL SOLUTIONS

Аннотация: Небо над городами и магистралями стремительно меняется. Если десять лет назад беспилотный летательный аппарат (БПЛА) воспринимался как дорогая игрушка для видеосъемки, то сегодня дроны доставляют медикаменты, инспектируют линии электропередач и даже орошают поля.

Однако этот технологический бум столкнулся с серьезным барьером. Традиционная авиация (самолеты и вертолеты) развивалась в строго регламентированной среде. Появление в этом же пространстве тысяч, а в перспективе — миллионов беспилотников, управляемых алгоритмами или удаленными операторами, создает беспрецедентный вызов. Как интегрировать БПЛА в единое воздушное пространство так, чтобы это было безопасно, эффективно и законно?

Abstract: The skies above cities and highways are rapidly changing. While ten years ago, unmanned aerial vehicles (UAVs) were perceived as expensive video toys, today drones deliver medicine, inspect power lines, and even irrigate fields.

However, this technological boom has encountered a significant barrier. Traditional aviation (airplanes and helicopters) developed in a strictly regulated environment. The emergence of thousands, and potentially millions, of drones, controlled by algorithms or remote operators, in this same space poses an unprecedented challenge. How can UAVs be integrated into a unified airspace in a safe, efficient, and legal manner?

Ключевые слова: БПЛА, воздушное пространство, интеграция, правовое регулирование, беспилотная авиация, безопасность полетов, автономность, навигация, идентификация.

Keywords: UAVs, airspace, integration, legal regulation, unmanned aviation, flight safety, autonomy, navigation, identification.

Кому принадлежит воздух над вашим домом? В римском праве существовал принцип «Cuius est solum, eius est usque ad coelum» (Кому принадлежит земля,

тому принадлежит и все вплоть до небес). В XX веке развитие авиации ограничило этот принцип высотой, необходимой для безопасного пролета самолетов.

Но дроны летают низко. Если курьерский БПЛА пролетает в 10 метрах над вашим задним двором, является ли это вторжением в частную собственность (треспассингом)? Во многих юрисдикциях до сих пор нет четкой правовой границы между «частным воздухом» и «общественным воздушным пространством» для низколетящих аппаратов.

Распределение ответственности при автономных полетах

Представьте ситуацию: полностью автономный дрон доставляет посылку. Внезапный порыв ветра или сбой в системе навигации приводит к падению аппарата на припаркованный автомобиль. Кто несет ответственность?

- Оператор, который лишь нажал кнопку «Старт»?
- Производитель дрона за конструктивный дефект?
- Разработчик программного обеспечения, чей алгоритм машинного зрения не распознал препятствие?

- провайдер метеоданных, не предупредивший о микропорыве ветра?

Классическое деликтное право требует установления вины конкретного лица. В случае с автономными БПЛА юристам приходится разрабатывать новые концепции строгой ответственности и обязательного многоуровневого страхования, схожие с теми, что применяются для беспилотных автомобилей.

Приватность и защита персональных данных

Любой современный БПЛА оснащен камерами высокого разрешения и датчиками телеметрии. Регулярные полеты дронов над жилыми районами создают угрозу тотального наблюдения. Возникает правовая коллизия между правом бизнеса на использование воздушного пространства и правом граждан на неприкосновенность частной жизни. Как применять законы о защите данных (например, европейский GDPR) к видеопотоку, который дрон анализирует в реальном времени для навигации, но не сохраняет на сервер?

Проблема международной стандартизации

Авиация — глобальная отрасль, опирающаяся на стандарты Международной организации гражданской авиации (ИКАО). Однако ИКАО внедряет стандарты крайне медленно. В результате страны создают собственные, зачастую противоречащие друг другу правила. То, что разрешено правилами FAA (США), может быть строго запрещено нормами EASA (Евросоюз) или Росавиации. Это тормозит развитие международных транспортных коридоров для БПЛА.

Технические решения: цифровой фундамент безопасного неба

- Архитектура UTM (Unmanned Aircraft System Traffic Management) / U-Space

Невозможно посадить тысячи диспетчеров за радары, чтобы они следили за каждым дроном, доставляющим пиццу. Решением является UTM (в Европе эта концепция называется U-Space) — автоматизированная система управления трафиком беспилотников.

UTM работает как интернет-маршрутизатор, чем как традиционный авиадиспетчер.

- Системы DAA (Detect and Avoid)

Главное правило авиации — «Увидь и уклонись» (See and Avoid), которое выполняют живые пилоты. Для интеграции БПЛА в единое пространство машины должны получить технологию Detect and Avoid (DAA).

- Remote ID (Удаленная идентификация) - Remote ID называют «цифровым номерным знаком» для дронов. Это технология, которая обязывает каждый БПЛА в полете передавать в открытый эфир (через Bluetooth, Wi-Fi или сотовые сети) свой идентификационный номер, координаты, скорость, высоту и местоположение станции управления.

Интеграция БПЛА в единое воздушное пространство — это не просто технический апгрейд диспетчерских вышек. Это фундаментальная трансформация того, как человечество использует воздушный океан. Успешное слияние традиционной авиации с беспилотными системами требует тонкого баланса: технологии должны обеспечить стопроцентную безопасность и

предсказуемость, а правовые нормы — справедливо распределить ответственность, защитить приватность граждан и поощрить инновации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сазонова А.А. Сравнительный Анализ Российского И Зарубежного Опыта Государственного Регулирования Беспилотных Авиационных Систем. – Мир новой экономики. 2022. с. 79-83
2. Куфлева В.Н., Соболев Д.В., Фирсов В.В. Проблемные аспекты квалификации преступлений с использованием беспилотного транспортного средства. – Человек: преступление и наказание. 2019. с. 335-338
3. Соловьев С.В. Классификация и типология беспилотных летательных аппаратов в контексте обеспечения общественной безопасности. – Вестник Санкт-Петербургского университета МВД России. 2025. с. 80-82

Даутова З. З., Волкова Л.В.

Уфимский университет науки и технологий

Науч. рук. канд. техн. наук *Зайцева А.А.*

Уфимский университет науки и технологий

Dautova Z. Z., Volkova L.V.

Ufa University of Science and Technology

ВИБРОДИАГНОСТИКА ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ: ОТ ТЕОРИИ К БОРТОВЫМ СИСТЕМАМ КОНТРОЛЯ

VIBRATION DIAGNOSTICS OF GAS-TURBINE ENGINES: FROM THEORY TO ON-BOARD CONTROL SYSTEMS

Аннотация: Данная статья посвящена роли вибродиагностики в обеспечении надежности и безопасности авиационных двигателей. Рассмотрены особенности вибрационных процессов в газотурбинных двигателях, их использование для своевременного выявления потенциальных неисправностей. Проанализированы случаи возникновения низкочастотных «зудов» и связанных с ними вибраций, вызывающих физиологические и технические проблемы. В статье подчёркивается необходимость активного применения вибродиагностики для повышения безопасности полётов и снижения затрат на эксплуатацию.

Abstract: This article focuses on the role of vibration diagnostics in ensuring the reliability and safety of aircraft engines. It explores the characteristics of vibration processes in gas turbine engines and their use for timely detection of potential malfunctions. The article analyzes the occurrence of low-frequency "itching" and related vibrations that can cause physiological and technical issues. It emphasizes the importance of actively employing vibration diagnostics to enhance flight safety and reduce operational costs.

Ключевые слова: Вибродиагностика, газотурбинные двигатели, авиационная безопасность.

Keywords: Vibration diagnostics, gas turbine engines, aviation safety.

Готовность авиации к полетам, безопасность пассажиров и экономическая целесообразность эксплуатации воздушных судов напрямую зависят от того, насколько качественно мы можем контролировать надежность авиационных двигателей. К сожалению, двигатели остаются одним из самых уязвимых узлов: до 50–60% всех отказов летательных аппаратов в воздухе приходится именно на них. Выявление потенциальных проблем на земле — это критическое условие безопасности [1].

Современные системы автоматического регулирования газотурбинных двигателей (ГТД) настолько сложны и многомерны, что найти в них неисправность «на глаз» или устаревшими методами практически невозможно. Именно поэтому на первый план выходит вибродиагностика.

Вибрация двигателя — это естественная реакция его конструкции на механические и газодинамические силы, возникающие во время работы. Анализируя вибрационный спектр, который состоит из широкополосного шума (фона) и дискретных гармонических составляющих, инженеры могут сделать выводы о состоянии внутренних узлов [3].

Главное преимущество вибродиагностики — ее мгновенная реакция на изменения в конструкции. В то время как другие методы фиксируют уже случившиеся последствия (например, износ металла или падение тяги), датчики вибрации чувствуют проблему в момент ее зарождения (рис. 1).

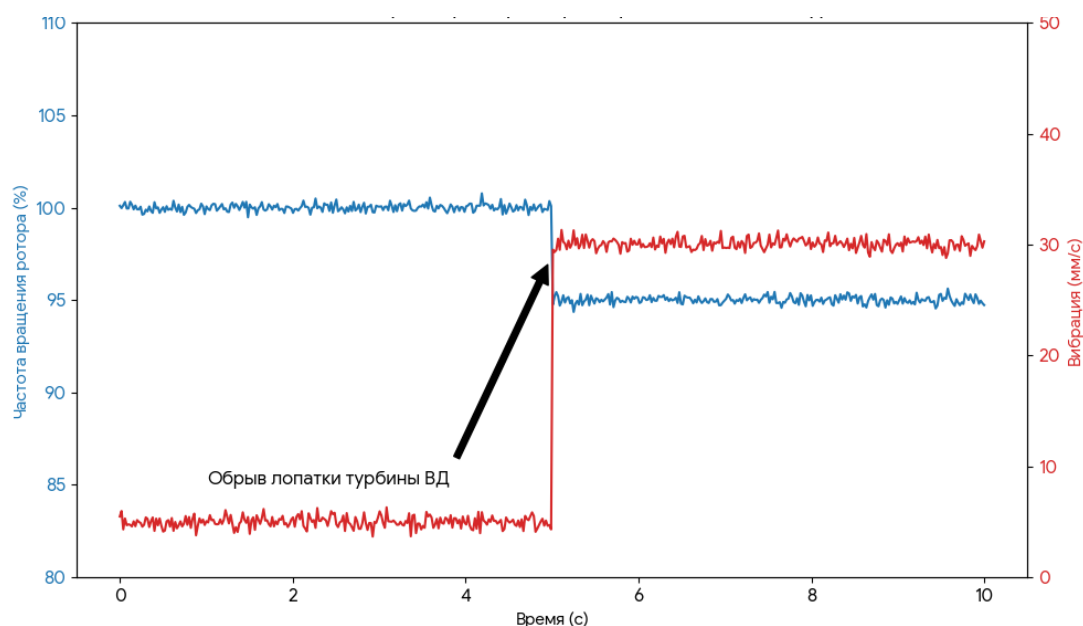


Рис. 1. Изменение параметров при обрыве рабочей лопатки турбины ВД

Перекосы в соединениях или увеличенные зазоры в подшипниках выявляются по спектру задолго до того, как деталь начнет разрушаться.

Основным источником вибрации в ГТД является вращающийся ротор. Поэтому современные бортовые системы нацелены в первую очередь на

контроль роторных гармоник. Если с ротором всё в порядке, уровень вибрации остается стабильным на протяжении всего ресурса двигателя. Резкий скачок — сигнал тревоги, говорящий о разбалансировке [2].

Стандартная аппаратура контроля работает по простой схеме: вибропреобразователь (датчик) считывает колебания, блок управления их фильтрует и анализирует, а устройство индикации выдает результат пилоту.

При эксплуатации некоторых отечественных авиадвигателей инженеры и летчики столкнулись с нетиповыми проблемами — нехарактерным шумом, который субъективно воспринимался как низкочастотный «зуд».

Этот звук не просто раздражал. «Зуд» сопровождался повышенными вибрациями, которые передавались через конструкцию самолета прямо на кресла экипажа. Учитывая, что человеческое тело резонирует в диапазоне 1–80 Гц, такие вибрации вызывали у пилотов быстрое физиологическое перенапряжение, усталость и даже психические расстройства.

Двигатели массово снимали с самолетов, проводили дорогую балансировку роторов, меняли камеры сгорания, но часто это не давало результата. Устранение проблемы вслепую обходилось невероятно дорого.

Чтобы найти причину, исследователи применили метод множественного корреляционного анализа, построив уравнение регрессии вида (1):

$$P = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_n X_n \quad (1)$$

где P — это уровень шума на частоте «зуда», а переменные X — различные параметры работы двигателя (пульсации давления, вибрации корпуса, режимы работы).

Исследования показали, что у нормального двигателя спектр шума непрерывный, с небольшими естественными всплесками (рис. 1.1).

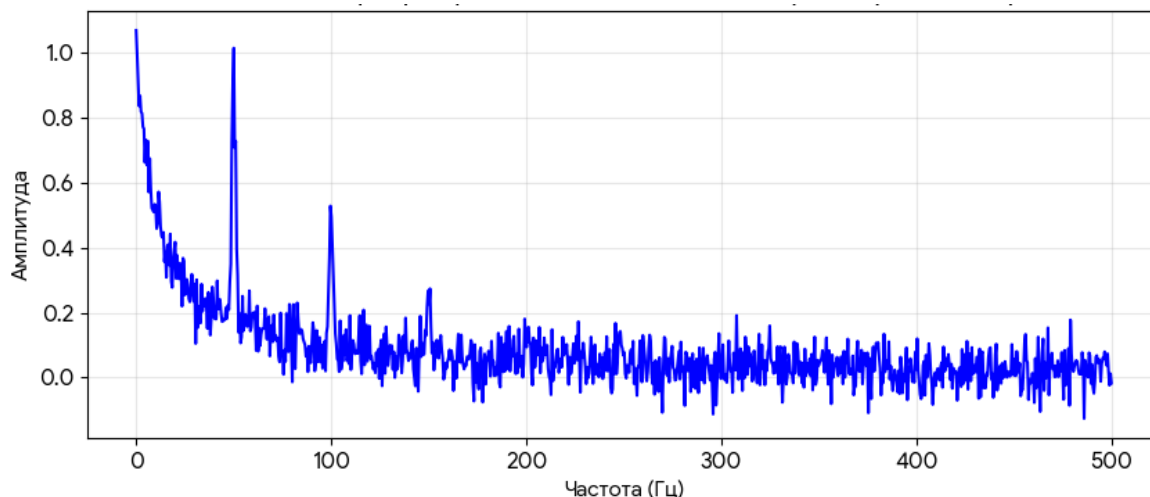


Рис. 1.1. Спектр шума работающего двигателя при отсутствии зуда

Однако при анализе «зудящих» двигателей обнаружились недочёты. Выяснилось, что если двигатель собран правильно и не имеет механических повреждений, то главным виновником шума является топливная аппаратура. Распределительный клапан автомата расхода топлива входил в автоколебания, вызывая пульсации давления топлива (вплоть до скачков на 1–4 МПа). Эти гидродинамические удары били по трубопроводам и корпусу насоса, порождая тот самый «зуд» в виде дискретной составляющей на частоте около 90 Гц (рис. 1.2).

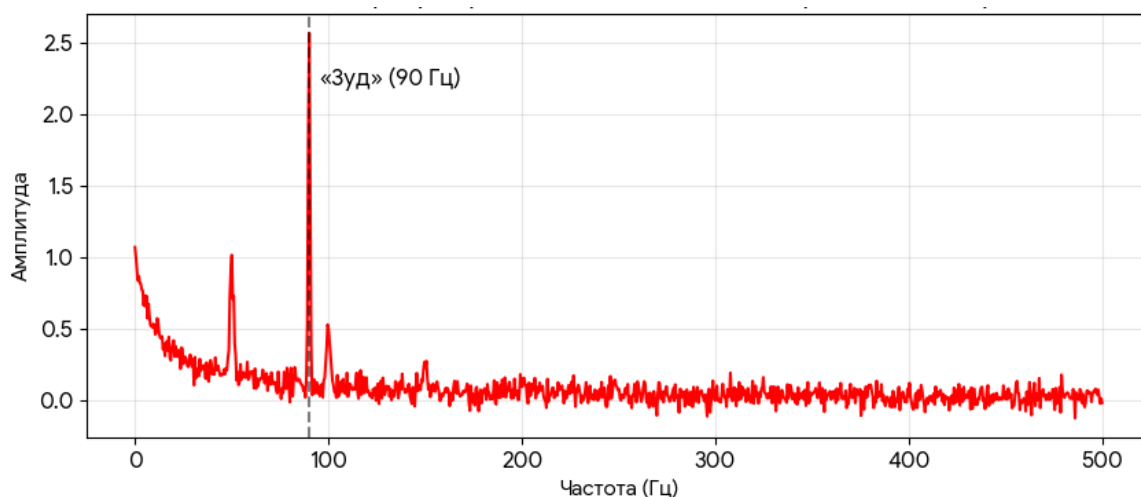


Рис. 1.2. Спектр шума работающего двигателя при наличии зуда

Разделение «зуда» на механический (от поломок) и гидравлический (от топливной системы) позволило кардинально изменить подход к ремонту. Вместо полной дорогостоящей разборки двигателя стало достаточно просто заменить блок насоса-регулятора, что сэкономило колоссальные средства [4].

Современные подходы к проектированию виброизмерительной техники основываются на понимании механизмов вибрационных процессов, что позволяет создавать эффективные электронные контроллеры. В рамках практической разработки был спроектирован контроллер аппаратуры контроля вибрации для двигателя ПС-90. Его задача — преобразовывать слабые сигналы (доли вольта) от пьезоэлектрических датчиков в цифровой код и сравнивать их с заложенными в память константами безопасности.

Архитектура устройства включает:

- **Согласующее устройство:** Масштабирующие усилители (построенные на базе К140УД24), которые настраиваются под чувствительность конкретного датчика.

- **Аналого-цифровой преобразователь (АЦП):** Микросхема К1113ПВ1, работающая в связке с коммутатором КР590КН6 для поочередного опроса каналов.

- **Микроконтроллер (МК):** Мозг системы на базе КМ1816ВЕ51. Он управляет опросом датчиков, считывает данные из АЦП в оперативную память и сравнивает результаты с пороговыми значениями.

Программное обеспечение жестко регламентирует допуски [5]. Система анализирует вибрации в диапазоне частот 30–250 Гц. Если результат измерения превышает константу 35 мм/с, микроконтроллер подает команду на коммутатор для включения сигнализации «Повышенная вибрация». Если же вибрация достигает отметки 50 мм/с, срабатывает тревога «Опасная вибрация». Вся информация параллельно через специальный интерфейс отправляется на бортовой регистратор («черный ящик») для последующего наземного анализа.

Таким образом, Вибродиагностика — это сложный комплекс статистического и математического анализа, который позволяет двигателям

«говорить» о своих проблемах задолго до того, как они станут критическими. От раннего выявления обрыва лопаток до решения сложной проблемы гидравлического «зуда» — грамотный анализ вибросигналов спасает технику и человеческие жизни. А развитие современной микропроцессорной базы делает этот контроль автоматическим, точным и непрерывным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов И.И., Петров П.П. Вибрационная диагностика высокоскоростных аэромеханических систем. М.: Машиностроение, 2021. 240 с.
2. Смирнова А.А. Современные методы диагностики газотурбинных двигателей // Авиация и космонавтика. – 2020. – № 4. – С. 45–52.
3. Кузнецов В.В. Особенности вибрационных явлений в авиационных газотурбинных двигателях // Вестник МГТУ. – 2019. – № 3. – С. 123–130.
4. Лебедев М.М. Диагностика и профилактика отказов в авиационных двигателях. М.: Аэромаркетинг, 2018. 180 с.
5. Федеральные стандарты по контролю вибрации в авиационной технике // ГОСТ 123-2017.

Даутова З. З., Волкова Л.В.

Уфимский университет науки и технологий

Науч. рук. канд. техн. наук *Зайцева А.А.*

Уфимский университет науки и технологий

Dautova Z. Z., Volkova L.V.

Ufa University of Science and Technology

АНАЛИЗ ВИБРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ И АППАРАТУРЫ: ОСНОВЫ И ЭТАПЫ.

ANALYSIS OF VIBRATION MEASUREMENT DEVICES AND EQUIPMENT: FUNDAMENTALS AND STAGES.

Аннотация: В статье анализируются аспекты создания приборов для измерения вибрации. Эти приборы незаменимы для мониторинга состояния техники, поиска неисправностей и изучения вибрационных процессов. Описываются основные этапы разработки систем, а также рассматриваются точность измерений, устойчивость работы аппаратуры и использование современных технологий — беспроводных систем. Обоснована необходимость тщательного тестирования и внедрения инновационных решений для повышения надежности и эффективности диагностических систем, что способствует снижению аварийных случаев и повышению безопасности на производстве.

Abstract: The article analyzes the aspects of creating vibration measurement devices. These devices are indispensable for monitoring the condition of equipment, searching for malfunctions, and studying vibration processes. The article describes the main stages of system development, as well as the accuracy of measurements, the stability of the equipment, and the use of modern technologies, such as wireless systems. The article emphasizes the importance of thorough testing and the implementation of innovative solutions to improve the reliability and efficiency of diagnostic systems, which can help reduce accidents and improve safety in the workplace.

Ключевые слова: Виброизмерительная аппаратура, проектирование систем, датчики вибрации, надежность измерений.

Keywords: Vibration measurement equipment, system design, vibration sensors, and measurement reliability.

Виброизмерительная аппаратура — это инструмент для контроля работоспособности техники, диагностики неисправностей и анализа вибрационных процессов. Надёжное проектирование таких систем требует знания физических принципов, требований к точности и условий эксплуатации [3].

Почему важна проектировка виброизмерительной аппаратуры?

Во-первых, для обеспечения точных и оперативных измерений, поскольку точность вибрационных измерений является основой для диагностики работоспособности технических систем [4]. В сфере инженерии, важна оперативность, так как время реакции на изменение вибрационных характеристик позволяет своевременно предотвращать выход из строя механических элементов. В процессе проектирования разрабатываются схемные решения, повышающие чувствительность датчиков и понижающие влияние внешних шумов, что обеспечивает высокую точность измерений. Это важно учитывать при анализе в условиях сложных инженерных систем, где даже незначительные отклонения сигналов могут свидетельствовать о проблемах.

Во-вторых, обеспечение более стабильной работы оборудования. От того, насколько надежно работает система измерения вибраций, зависит общая надежность всех диагностических систем на предприятии [1]. Аппаратура обеспечивает долгосрочную прочность измерений без необходимости частых ремонтных вмешательств или калибровок. В ходе работ применяются устойчивые к вибрациям и чрезвычайным условиям компоненты, обеспечивающие сохранение эксплуатационных характеристик. Этот подход помогает снизить вероятность ошибок, когда система неверно сообщает о проблемах или пропускает действительно важные неисправности. Благодаря этому оборудование работает стабильнее и реже выходит из строя.

В-третьих, своевременное обнаружение неисправностей, благодаря высокой чувствительности и точности аппаратура может определить начальные стадии изнашивания или повреждения узлов [3], до появления серьезных дефектов. В проектировании внедряются методы автоматической обработки сигналов, алгоритмы обучения и прогнозирования, позволяющие выделять малозаметные признаки возможных отказов. Это повышает эффективность профилактических ремонтов и снижает вероятность аварийных ситуаций, что важно в критичных производственных циклах.

Основные этапы проектирования виброизмерительной аппаратуры:

1. Анализ требований и условий эксплуатации. Перед началом разработки виброизмерительной аппаратуры нужно провести системный анализ требований к системе и оценить условия, в которых она будет эксплуатироваться. Этот этап включает сбор и обработку информации, которая определяет выбор компонентов, проектировочные решения и тестовые параметры [1].

2. Выбор датчиков и сенсоров. Выбираются такие датчики, которые лучше всего подходят для конкретных условий и задач, чтобы они точно и надежно измеряли вибрации. Основные типы датчиков вибрации приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные типы датчиков вибрации и их принципы действия

Тип датчика	Принцип действия	Применение
Пьезоэлектрические	Электрогенерация под воздействием механических деформаций.	Высокочастотные измерения, вибрации машин
Пьезорезистивные	Влияние изгиба на электрическое сопротивление материала.	Средние частоты, промышленные решения
Инерционные (тензорезистивные)	Изменение геометрических параметров мембраны под воздействием механических сил	Общие задачи, низкочастотные измерения

3. Проектирование схемы и электроники: разработка усилителей, фильтров и АЦП (аналогово-цифровых преобразователей) [2].

Важно выбирать компоненты с низким уровнем шума и высокой линейностью, схема должна учитывать защиту от внешних помех и электромагнитных воздействий

4. Разработку программного обеспечения и интерфейса, которая включает в себя [4].

- Обработку сигналов в реальном времени;
- Визуализацию данных;
- Хранение и анализ измеренной информации;
- Настройку систем и автоматизация диагностики.

5. Создание прототипа и его тестирование включают разработку начальной версии изделия или системы с проведением первичных испытаний для проверки основных функций и концепции, последующую проверку работоспособности на стенде, испытания в условиях, приближенных к реальной эксплуатации, а также корректировку параметров и устранение выявления дефектов [1].

6. Внедрение и эксплуатация включают производство серийных образцов, монтаж на оборудовании заказчика, обучение персонала и обслуживание систем, а современные тенденции в проектировании предполагают использование беспроводных технологий для передачи данных, внедрение машинного обучения для анализа вибрационных данных, разработка миниатюрных и энергоэффективных датчиков, а также использование IoT (интернет вещей) для удаленного мониторинга

Таким образом, проектирование виброизмерительной аппаратуры — это сложный, но очень важный процесс, обеспечивающий надежную работу оборудования и безопасность производства. В современных методиках, правильный выбор компонентов и тщательное тестирование позволяют создавать системы, которые будут служить долго и точно. Правильно спроектированные системы не только увеличивают эффективность производства, но и существенно уменьшают риск аварий и простоев, обеспечивая безопасные условия труда и высокие показатели производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рюмин А. В., Гусев А. И. Основы вибрационного мониторинга и диагностики оборудования. – М.: Машиностроение, 2018. 256 с.
2. Кухтенко Е. В. Вибрационная диагностика и контроль. СПб.: БХВ – Петербург, 2019. 312 с.
3. Федоренко В. В., Ткаченко А. Г. Технологии сбора и анализа вибрационных данных. – Киев: Наукова думка, 2020. 200 с.
4. Аппараты вибрационные. Общие технические требования. ГОСТ Р 57170-2016. – М.: Российский стандарт, 2016. 20 с.

Силин И.П., Гаврилов В.Ф.

Уфимский университет науки и технологий, филиал в г. Кумертау

Науч. рук канд.техн. наук *Зайцева А.А.*

Уфимский университет науки и технологий, филиал в г. Кумертау

Silin I.P., Gavrilov V.F.

Ufa university of Science and Technology

**ДЕСТРУКТИВНОЕ ВЛИЯНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ
ВИНТОМОТОРНЫХ ГРУПП ГЕКСАКОПТЕРОВ НА
РЕПРЕЗЕНТАТИВНОСТЬ ПРОБ ГАЗОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ**

**DISTURBING EFFECT OF AIR FLOW FROM HEXACOPTER
PROPELLER GROUPS ON REPRESENTATIVENESS OF GAS-AIR
MIXTURE SAMPLES**

Аннотация: Стремление автоматизировать мониторинг нефтегазовой инфраструктуры абсолютно закономерно. Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для облета сотен километров трубопроводов обещает снизить риски для персонала и оптимизировать затраты. На первый взгляд, установка традиционного газоанализатора на тяжелый гексакоптер кажется логичным и прямым решением задачи по поиску утечек.

Abstract: The desire to automate the monitoring of oil and gas infrastructure is completely natural. The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) to fly over hundreds of kilometers of pipelines promises to reduce risks for personnel and optimize costs. At first glance, installing a traditional gas analyzer on a heavy hexacopter seems like a logical and straightforward solution for finding leaks.

Ключевые слова: гексакоптер, мониторинг нефтегазопроводов, контактный газоанализатор, скос потока, репрезентативность пробы, турбулентное перемешивание, инерционность сенсора, дистанционное зондирование, локализация утечек.

Keywords: hexacopter, oil and gas pipeline monitoring, contact gas analyzer, flow skew, sample representativeness, turbulent mixing, sensor inertia, remote sensing, and leak localization.

При переходе от лабораторных тестов к полевым испытаниям часто сталкиваются с тем, что система работает нестабильно или выдает ложноотрицательные результаты. Проблема кроется не в качестве самих датчиков и не в алгоритмах управления дроном, а в фундаментальном конфликте между аэродинамикой мультироторных платформ и принципами работы контактного газоанализа

Аэродинамика висения: Влияние скоса потока (Downwash)

Основная сложность заключается в самом способе, которым гексакоптер удерживается в воздухе. Мультироторные системы генерируют подъемную силу за счет непрерывного отбрасывания больших масс воздуха вниз.

Для тяжелых промышленных гексакоптеров (с взлетной массой 5–15 кг), способных нести газоаналитическое оборудование, этот поток обладает значительной энергией. Согласно импульсной теории несущего винта, скорость индуцированного потока в режиме висения можно описать формулой (1):

$$v_i = \sqrt{\frac{T}{2\rho A}} \quad (1)$$

где:

- T - тяга (в режиме висения равна весу аппарата).
- ρ - плотность воздуха.
- A - суммарная ометаемая площадь винтов.

На практике это означает, что под дроном формируется мощный турбулентный конус, что мы можем видеть на рис. 1

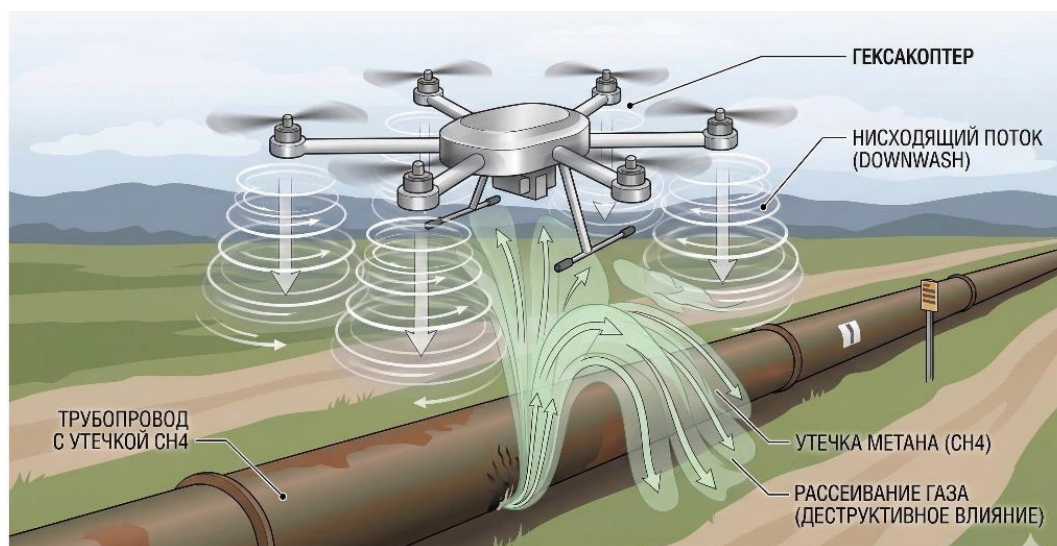


Рис. 1. Деструктивное влияние нисходящего потока на детекцию утечек.

Метрологический барьер: Инерционность сенсоров

Вторая существенная преграда связана с временными характеристиками самих измерительных приборов.

Ключевым параметром здесь выступает T_{90} — время, необходимое сенсору для достижения 90% от истинного значения концентрации при скачкообразном изменении состава среды.

Термокatalитические и электрохимические сенсоры имеют T_{90} в диапазоне 15–30 секунд.

Фотоионизационные детекторы (PID) с принудительной прокачкой реагируют быстрее — за 2–5 секунд, но забирают уже разбавленный винтами воздух.

Контактный сенсор физически не успевает отреагировать на такое кратковременное воздействие. Даже если датчик оснащен мощной помпой, задержка на прокачку воздуха по магистрали и отклик самого сенсора составит несколько секунд. За это время дрон успеет пролететь десятки метров вперед. Это делает точную географическую локализацию микроутечек (свищей) практически невозможной: всплеск на графике оператора не будет совпадать с реальным местом дефекта трубопровода.

Интеграция БПЛА в процессы диагностики газотранспортных систем — это важный шаг для отрасли. Однако при проектировании таких комплексов крайне важно учитывать аэродинамические особенности носителя. Влияние скоса потока винтомоторной группы мультироторных аппаратов делает забор неискаженной пробы газа контактным методом физически труднореализуемым.

Понимая эти ограничения, инженеры часто пытаются модифицировать системы забора проб. Эти попытки заслуживают уважения, но они сталкиваются с жесткими физическими рамками:

- **Выносные трубки вниз:** Идея опустить воздухозаборник ниже зоны турбулентности (на 1–2 метра) разбивается о тот факт, что конус нисходящего потока распространяется гораздо глубже. Трубка все равно забирает

перемешанный воздух. Кроме того, удлинение пневмомагистрали увеличивает сопротивление и еще больше отдаляет время отклика (T_{90}).

- **Горизонтальные штанги (вперед):** Вынос сенсора на метр вперед по курсу движения кажется логичным — "поймать" газ до того, как туда дойдут винты. Однако для движения вперед мультиротор должен совершить наклон (тангаж). Вектор тяги передних винтов направляется вперед-вниз, сметая газ перед дроном. К тому же, рычаг с грузом на конце нарушает центровку аппарата, снижая его устойчивость и безопасность полета над опасными производственными объектами.

Внедрение газоанализаторов на борт БПЛА для поиска утечек сегодня — это скорее имитация инновационной деятельности, чем реальный инструмент безопасности. Огромная стоимость оборудования, сложность калибровки и тотальная зависимость от погоды делают эти системы бесполезными в 80% рабочих ситуаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов Д.А. Перспективы Применения Беспилотных Летательных Аппаратов Для Обследования Газопроводов В РФ И В Мире. – Вестник Магистратуры. 2023. с. 9-11
2. Кучин Л.С. Применение дистанционного зондирования Земли для выявления последствий техногенной трансформации природной среды на месторождениях нефти и газа. – Антропогенная трансформация природной среды. 2025. с. 57-59
3. Затырко В.А., Панкратьев Д.П., Денисевич Е.В., Киселевская К.Е. и др. Мониторинг эмиссий метана на законсервированных и ликвидированных скважинах Песцовой и Западно-Песцовой площадей Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения. – Вести газовой науки. 2025. с. 175-180.

Силин И.П., Горбунов Д.Е.

Уфимский университет науки и технологий, филиал в г. Кумертау

Науч. рук канд.техн. наук *Зайцева А.А.*

Уфимский университет науки и технологий, филиал в г. Кумертау

Silin I.P., Gorbunov D.E.

Ufa university of Science and Technology

АНАЛИЗ ТАКТИКИ ПРИМЕНЕНИЯ МАЛЫХ БПЛА В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКИХ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ

ANALYSIS OF TACTICS OF USING SMALL UAVS IN URBAN WARFARE

Аннотация: специфика и тактика применения малых беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), включая FPV-дроны и квадрокоптеры коммерческого типа, в условиях плотной городской застройки. Пути оптимизации тактики, включая использование дронов-ретрансляторов.

Abstract: the specifics and tactics of using small unmanned aerial vehicles (UAVs), including FPV drones and commercial-type quadcopters, in dense urban development. Ways to optimize tactics, including the use of repeater drones.

Ключевые слова: малые БПЛА, FPV-дроны, городские боевые действия, тактика.

Keywords: small UAVs, FPV drones, urban warfare, tactics.

Современные вооруженные конфликты характеризуются смещением вектора боевых действий в высоко урбанизированные зоны. Городской бой в масштабах подразделений и общевойсковые операции в городе) традиционно считается одним из самых сложных видов тактических действий из-за высокой плотности застройки, наличия гражданского населения, трехмерного характера поля боя и ограниченной дальности прямой видимости.

В последние годы парадигма ведения городского боя кардинально изменилась благодаря массовому внедрению малых беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) самолетного и вертолетного типов, а также FPV-дронов (First Person View). Использование относительно дешевых и массовых аппаратов позволяет пехотным подразделениям получать тактическое преимущество, компенсируя недостаток информации о противнике. Целью данной статьи

является комплексный анализ тактики применения малых БПЛА в условиях городской застройки, выявление основных проблем и оценка эффективности различных сценариев их использования.

Для оценки эффективности применения малых БПЛА в городской среде была построена модель вероятности успешного выполнения задачи (достижения цели или получения разведданных) в зависимости от дальности применения и плотности застройки (см. рис. 1 и таблицу 1).

Таблица 1

Зависимость вероятности успешного применения FPV дронов от дальности в условиях различной плотности застройки

Дальность от оператора (метры)	Открытая местность / Пригород (вероятность 0-1)	Малоэтажная застройка (вероятность 0-1)	Плотная высотная застройка (вероятность 0-1)
500	0.95	0.85	0.70
1000	0.90	0.75	0.45
1500	0.85	0.60	0.25
2000	0.80	0.40	0.10
3000	0.70	0.20	0.02

Как видно из представленных данных, на открытой местности вероятность успешного поражения цели или разведки сохраняется на высоком уровне даже на дистанции 3 км. Однако в условиях плотной высотной застройки эффективность критически падает уже после 1000 метров. Резкое падение кривой высотной застройки обосновывает необходимость обязательного включения воздушных ретрансляторов в состав подразделений, действующих в городе.

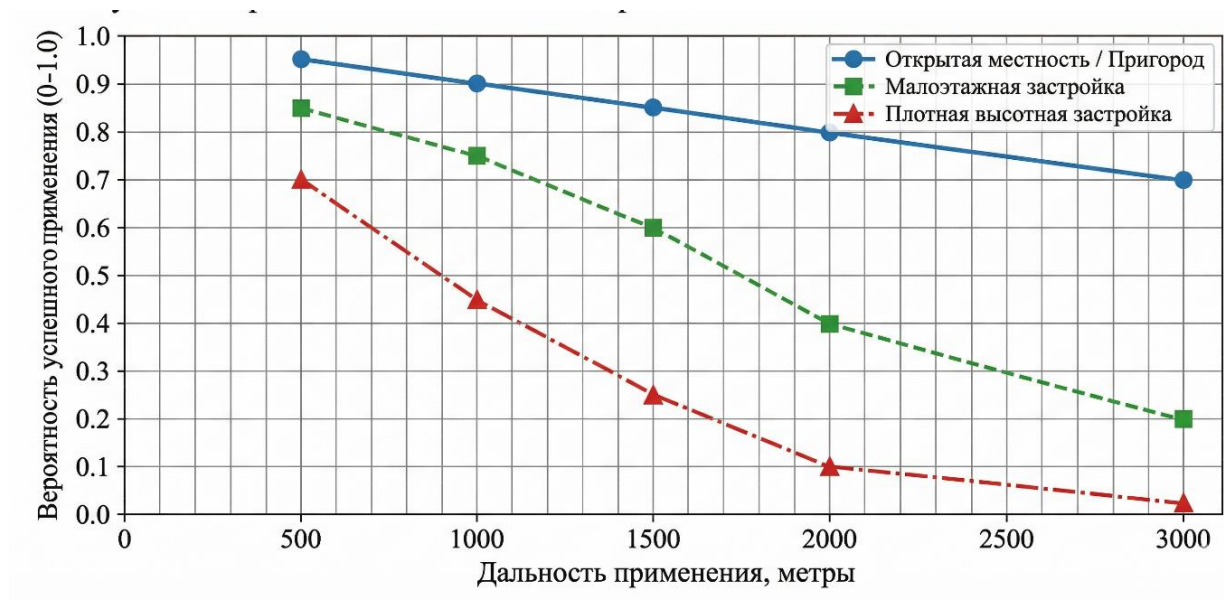


Рис. 1. Зависимость вероятности успешного применения FPV дронов от дальности в условиях различной плотности застройки

Разведка остается доминирующей функцией (45%), так как ситуационная осведомленность в городе критически важна для выживания штурмовых групп. Тем не менее, ударные функции в сумме составляют 45%, что говорит о превращении малых БПЛА из средства обеспечения в полноценное средство огневого поражения пехоты (см. рис. 2 и таблицу 2). Доля задач по ретрансляции (7%) пока невелика, но, учитывая данные (см. таблицу 1), имеет тенденцию к неуклонному росту.

Таблица 2

Распределение тактических задач, решаемых малыми БПЛА в городском бою

Тип выполняемой задачи	Доля в общем объеме вылетов (%)
Оптико-электронная разведка и доразведка целей	45%
Ударные задачи (FPV-камикадзе)	30%
Сброс осколочных и зажигательных боеприпасов	15%
Ретрансляция радио- и видеосигнала	7%
Отвлечение внимания / вскрытие позиций ПВО	3%

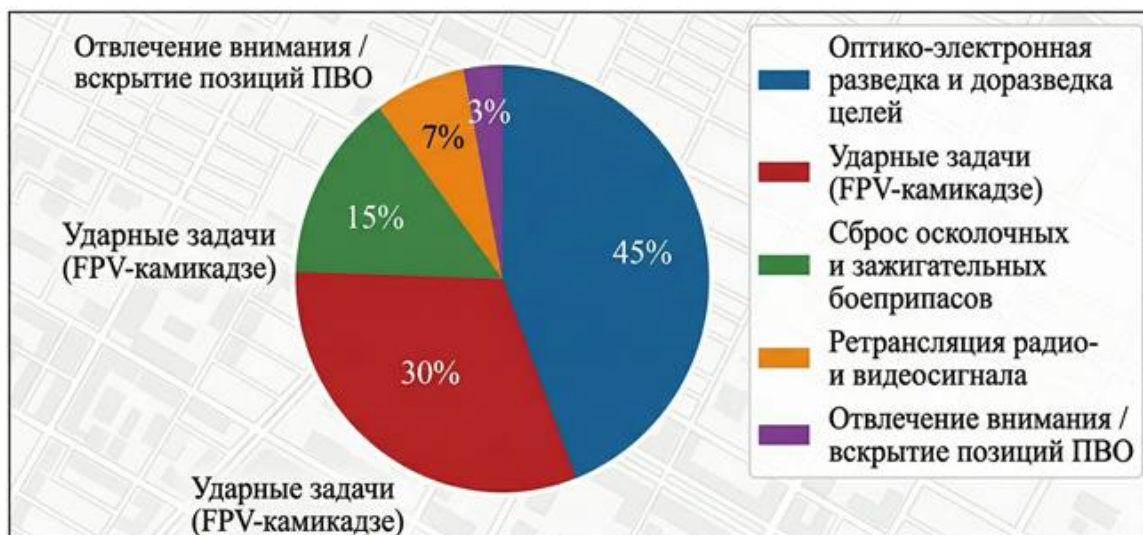


Рис. 2. Распределение тактических задач, решаемых малыми БПЛА в городском бою

Анализ тактики применения малых БПЛА в городских условиях показывает, что данный вид вооружения стал неотъемлемым элементом боевых порядков пехоты. Городская среда накладывает жесткие ограничения на дальность применения БПЛА. В связи с этим, тактика эволюционирует в сторону использования связок «оператор — ретранслятор — ударный дрон», а также применения алгоритмов машинного зрения, позволяющих БПЛА автономно наводиться на цель (захват цели) на финальном участке траектории даже в условиях полной потери связи с оператором.

Дальнейшее развитие тактики будет связано с интеграцией БПЛА в единую сетцентрическую систему управления боем и применением технологий «роя» для одновременной атаки укрепленных городских зданий с разных направлений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малышев В.А., Митрофанов Д.В., Анализ боевых возможностей беспилотных летательных аппаратов по поражению наземных целей и порядок их применения. – Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2024. с. 22
2. Евтодьева М.Г., Целицкий С.В. Беспилотные Летательные Аппараты Военного Назначения: Тенденции В Сфере Разработок И Производства. – Пути к миру и безопасности. 2019. с. 104-105
3. Селиванов В.В., Тенденции Развития Средств Вооруженной Борьбы В Современных Военных Конфликтах, Их Влияние На Развитие И Смену Поколений Вооружения, Военной И Специальной Техники. – Военная мысль. 2022. с. 30-31

Трушин А.А., Силин И.П.

Уфимский университет науки и технологий, филиал в г. Кумертау

Науч. рук канд.техн. наук *Зайцева А.А.*

Уфимский университет науки и технологий, филиал в г. Кумертау

Trushin A.A., Silin I.P.

Ufa university of Science and Technology

РОЛЬ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ЖИВУЧЕСТИ БРОНЕТАНКОВЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННЫХ КОНФЛИКТОВ

THE ROLE OF UNMANNED AIRCRAFT IN ENSURING THE SURVIVABILITY OF ARMORED UNITS IN MODERN CONFLICTS

Аннотация: подходы к обеспечению живучести бронетанковых подразделений на современном театре военных действий. Влияние разведывательных, ударных и специализированных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) на повышение ситуационной осведомленности экипажей, раннее обнаружение угроз.

Abstract: approaches to ensuring the survivability of armored units in the modern theater of operations. The impact of reconnaissance, strike and specialized unmanned aerial vehicles (UAVs) on increasing the situational awareness of crews, early detection of threats.

Ключевые слова: беспилотная авиация, БПЛА, бронетанковые подразделения, живучесть, ситуационная осведомленность, FPV-дроны, активная защита, сетцентрические системы.

Keywords: unmanned aircraft, UAVs, armored units, survivability, situational awareness, FPV drones, active defense, network-centric systems.

Решение проблемы повышения живучести бронетанковых подразделений лежит в плоскости информационного превосходства и упреждающего реагирования. Интеграция беспилотных авиационных комплексов (БАК) в контур управления танковым или мотострелковым взводом/ротой позволяет сместить фокус с пассивной защиты на проактивное устранение или избегание угроз.

Главным фактором, снижающим живучесть танков в урбанизированной или пересеченной местности, является «эффект замочной скважины» —

ограниченный обзор из боевого отделения. Штатные оптико-электронные прицельные комплексы обеспечивают дальность обнаружения целей в пределах прямой видимости, оставляя слепые зоны за складками рельефа и искусственными укрытиями.

Применение тактических БПЛА (в том числе коптеров привязного типа, питающихся от бортовой сети бронемашины) позволяет вынести точку наблюдения на высоту 50–150 метров. Это решает сразу несколько задач:

- Вскрытие засад операторов переносных противотанковых ракетных комплексов (ПТРК).
- Контроль мертвых зон на флангах и в тылу наступающих порядков.
- Обнаружение минных заграждений с помощью мультиспектральных камер.

Таблица 1.

Динамика потерь бронетанковых подразделений при выполнении
наступательной задачи

Рубеж выполнения задачи / Дистанция марша	Тактика 20 века (без БПЛА)	Базовое применение БПЛА (разведка командиром)	Интегрированная система (БПЛА в каждом взводе + РЭБ)
Исходный рубеж (0 км)	100%	100%	100%
Преодоление предполья (2 км)	88%	94%	98%
Прорыв первой линии обороны (5 км)	65%	78%	92%
Бой в глубине обороны (10 км)	40%	61%	85%



Рис. 1. влияние времени упреждающего обнаружения угрозы на вероятность поражения бронетехники

(Таблица 1, рис. 1) наглядно продемонстрирована обратная зависимость между временем раннего предупреждения, обеспечиваемым аэроразведкой с БПЛА, и вероятностью поражения бронетехники. При заблаговременном обнаружении (более 30 секунд) экипаж успевает применить дымовые завесы, совершить противоогневой маневр или нанести превентивный удар по огневой точке противника, что повышает живучесть подразделения в 3-4 раза.

Автономное выживание единичного танка менее эффективно, чем живучесть подразделения в целом. Передача данных с разведывательных дронов в автоматизированную систему управления тактического звена позволяет осуществлять целеуказание орудиям закрытых огневых позиций до того, как танки войдут в зону поражения противника.

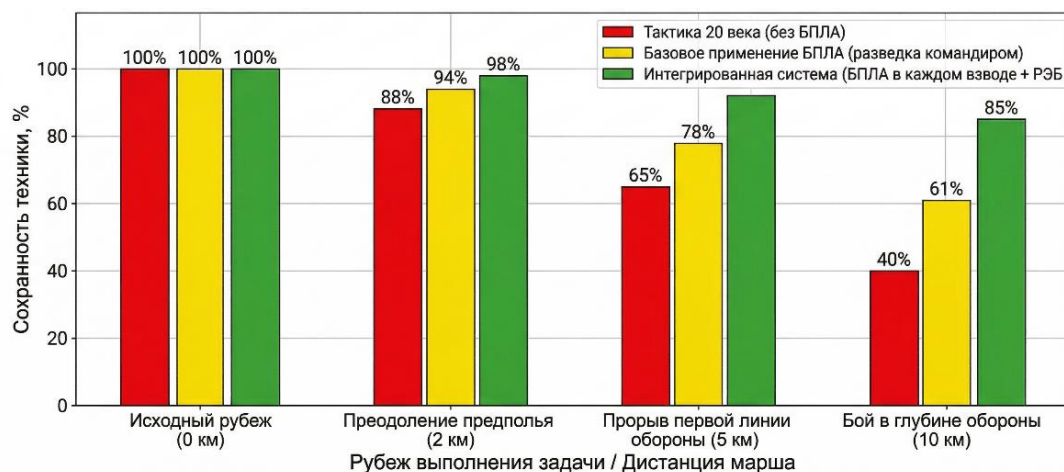


Рис. 2. Динамика потерь бронетанковых подразделений при выполнении наступательной задачи

Результаты математического моделирования боя танковой роты (см. рис.2). Столбчатая диаграмма показывает, что классическое наступление без воздушного сопровождения приводит к критическим потерям (сохранность падает до 40%) уже при бое в глубине обороны. Насыщение взводов штатными БПЛА с единой системой передачи данных позволяет сохранить до 85% боеспособной техники за счет упреждающего вскрытия позиций и эффективной контрбатарейной борьбы.

Живучесть современных бронетанковых подразделений более не может обеспечиваться исключительно наращиванием толщины пассивной брони или установкой динамической защиты. Вектор развития сместился в сторону информационной осведомленности.

Беспилотная авиация перестала быть просто средством разведки; она стала неотъемлемым элементом многоуровневой системы выживания машины на поле боя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Окунев В.И. Анализируем Совместные Разведывательно-Ударные Действия Рейдового Отряда И Смешанной Тактической Авиационной Группы. – Военная мысль. 2021. с. 149-152
2. Ермолин О.В. Развитие Форм Применения И Способов Действий Авиационных Формирований Военно-Воздушных Сил. – Военная мысль. 2021. с. 29-31
3. Лукьяненко В.П., Воликов Р.А. Биомеханические особенности ударных движений боксеров. – Мир науки, культуры, образования. 2013. с. 85-88

Трушин А.А.

Уфимский университет науки и технологий

Науч. рук. ст.пр. *Тузбеков Р.М*

Уфимский университет науки и технологий

Trushin A.A.

Ufa University of Science and Technology

ПОТОЧНЫЙ РЕНТГЕНОСПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗАТОР АРП-2Ц КАК ИНСТРУМЕНТ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ СОСТАВА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ.

FLOW X-RAY SPECTRAL ANALYZER ARP-2C AS A TOOL FOR REAL- TIME CONTROL OF MINERAL COMPOSITION.

Аннотация. В статье рассматривается разработка и применение поточного рентгеноспектрального анализатора АРП-2Ц, предназначенного для непрерывного контроля химического состава минерального сырья в условиях промышленного производства.

Abstract. The article discusses the development and application of the ARP-2C flow X-ray spectral analyzer designed for continuous monitoring of the chemical composition of mineral raw materials in industrial conditions.

Ключевые слова: рентгенофлуоресцентный анализ, поточный анализатор, АРП-2Ц, горно-обогатительная промышленность, контроль качества, импортозамещение, автоматизация.

Keywords: X-ray fluorescence analysis, flow analyzer, ARP-2C, mining industry, quality control, import substitution, automation.

Современная горно-обогатительная промышленность характеризуется усилением конкуренции и повышением требований к качеству выпускаемой продукции. В этих условиях особую значимость приобретает внедрение технологий оперативного контроля химического состава сырья непосредственно в технологическом потоке. Традиционные методы лабораторного анализа, несмотря на высокую точность, имеют существенный недостаток, заключающийся во временной задержке между отбором пробы и получением результатов. Это приводит к запаздыванию управленческих решений, снижению эффективности переработки сырья и увеличению потерь полезных компонентов.

Разработанный поточный рентгеноспектральный анализатор АРП-2Ц предназначен для решения данной проблемы за счет обеспечения непрерывного, неразрушающего контроля химического состава материалов в режиме реального времени. Применение анализатора позволяет перейти от реактивного управления технологическим процессом к проактивному, основанному на оперативных данных, что способствует оптимизации параметров обогащения и снижению производственных затрат.

Принцип действия анализатора основан на методе рентгенофлуоресцентного анализа. Первичное излучение, генерируемое рентгеновской трубкой, возбуждает атомы исследуемого вещества, в результате чего возникает вторичное характеристическое излучение, спектр которого определяется элементным составом пробы. Регистрация излучения осуществляется с помощью кремниевого дрейфового детектора, преобразующего кванты излучения в электрические сигналы. Количественный анализ реализуется на основе зависимости интенсивности излучения от массовой доли элементов с использованием метода фундаментальных параметров.

Конструктивно анализатор выполнен в виде моноблока, включающего источник рентгеновского излучения, спектрометрический блок с детектором, предусилитель, блок управления и систему позиционирования. Дополнительно используется шкаф питания и удаленного доступа, обеспечивающий электропитание и связь с внешними системами. Конструкция прибора предусматривает защиту обслуживающего персонала от воздействия ионизирующего излучения, а также стабильную работу в широком диапазоне температур.

В условиях ограничений на поставку зарубежного оборудования особую актуальность приобретает задача импортозамещения. В составе анализатора применялись модули ICPCON, используемые для сбора и передачи данных. В ходе проведенного анализа отечественного рынка были рассмотрены альтернативные решения, включая программируемые логические контроллеры серий «Овен», Segnetics SMH и Fastwel. Наиболее предпочтительным вариантом

признаны контроллеры Segnetics SMH, обеспечивающие оптимальное сочетание функциональности, стоимости и возможностей интеграции. Их использование позволяет реализовать единую программную среду, поддерживать современные протоколы обмена данными и расширять функциональные возможности системы.

Анализатор АРП-2Ц может эффективно применяться при переработке различных видов минерального сырья, включая железные, оловянные и медные руды. Он обеспечивает контроль химического состава на всех этапах технологического процесса - от входного контроля сырья до анализа готового концентрата и хвостов. Возможность работы как с твердыми материалами, так и с пульпообразными средами расширяет область применения прибора и повышает его универсальность.

К основным техническим характеристикам анализатора относятся компактные размеры, пылевлагозащищенное исполнение, высокая помехоустойчивость и возможность эксплуатации в диапазоне температур от 0 до +40 °С. Применение цифровых каналов передачи данных обеспечивает стабильность и точность измерений, а также удобство интеграции в автоматизированные системы управления.

Использование анализатора АРП-2Ц обеспечивает ряд существенных преимуществ, включая непрерывный контроль в режиме реального времени, высокую точность измерений, снижение затрат на лабораторные исследования и повышение оперативности принятия технологических решений. Внедрение прибора позволяет значительно повысить эффективность производства, снизить потери полезных компонентов и обеспечить стабильное качество продукции.

Таким образом, поточный рентгеноспектральный анализатор АРП-2Ц представляет собой современное и перспективное решение для автоматизированного контроля химического состава в горно-обогатительной промышленности. Его применение способствует цифровизации производственных процессов, повышению технологической независимости и устойчивому развитию промышленного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чирова Ю.А., Дасковский М.И., Результаты проведения межведомственных испытаний рентгеноспектральных анализаторов «Спектроскан», «Призма», «Х-Арт м» и «Бра-18». - Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. с.3-5.
2. Гришкин И.А., Масалимов А.В., Андреева О.С., НЕПРЕРЫВНЫЙ КОНТРОЛЬ КАК ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОБОГАЩЕНИЯ МАГНЕЗИТОВ. – Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2020. с.5-8.
3. Куликов С.А, Куликов Ю.А., Анализ свойств литейных стержней, изготовленных по фуран-процессу методом аддитивных технологий традиционным способом. – Литьё и металлургия. 2025. с. 31-34.

Тузбеков Р. М., Филатов А. С.

Уфимский университет науки и технологий

Науч. рук. старший преподаватель *Тузбеков Р. М.*

Уфимский университет науки и технологий

Tuzbekov R. M., Filatov A. S.

Ufa University of Science and Technology

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ (БАС)

COMPARATIVE ANALYSIS OF DIFFERENT CONFIGURATIONS OF UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS (UAS)

Аннотация: В статье представлен анализ различных компоновочных схем беспилотных авиационных систем (БАС) на основе актуальных данных о состоянии отрасли в Российской Федерации на 2026 год. Рассматриваются шесть основных типов конструкций: самолетного типа, вертолетного типа, мультироторного типа, самолетного типа вертикального взлета и посадки, конвертопланы и автожиры. Для каждого типа выявлены конструктивные особенности, преимущества, недостатки и рекомендуемые области применения. На основе анализа спроса и технологических трендов показано, что выбор оптимальной компоновки определяется комплексом требований к дальности, продолжительности полета, условиям эксплуатации и экономической эффективности. Особое внимание уделено вопросам технологического суверенитета и унификации компонентной базы.

Abstract: The article presents an analysis of various layout schemes of unmanned aerial systems (UAS) based on current data on the state of the industry in the Russian Federation as of 2026. Six main types of structures are considered: fixed-wing, helicopter-type, multirotor, fixed-wing vertical take-off and landing, tiltrotor, and gyroplane. For each type, design features, advantages, disadvantages, and recommended applications are identified. Based on the analysis of demand and technological trends, it is shown that the choice of optimal configuration is determined by a set of requirements for range, flight duration, operating conditions, and cost-effectiveness. Special attention is paid to issues of technological sovereignty and unification of the component base.

Ключевые слова: беспилотные авиационные системы, компоновочная схема, мультиротор, автожир, конвертоплан, технологический суверенитет, унификация.

Keywords: unmanned aerial systems, layout scheme, multirotor, gyroplane, tiltrotor, technological sovereignty, unification.

В настоящее время беспилотные авиационные системы (БАС) являются одной из наиболее динамично развивающихся отраслей, находящей применение в десятках специализированных сценариев: от дистанционного мониторинга и

аэрологистики до внесения веществ и создания визуальных инсталляций. Эффективность выполнения этих задач напрямую зависит от правильного выбора конструктивной схемы беспилотного воздушного судна (БВС), которая определяет его летно-технические характеристики и эксплуатационные возможности.

К 2026 году отрасль БАС в Российской Федерации вступила в фазу зрелой индустриализации. Ключевыми вызовами текущего этапа стали обеспечение технологического суверенитета, унификация типовых конструкций, внедрение новых правил сертификации и масштабирование производства. В этих условиях системный анализ компоновочных схем приобретает практическую значимость для производителей, заказчиков и регуляторов.

Целью данной работы является анализ основных типов компоновочных схем БАС, получивших распространение в российской и мировой практике, и формирование рекомендаций по их применению на основе актуальных данных о спросе и технологических трендах.

Классификация БВС может осуществляться по различным признакам, но наиболее важной является классификация по компоновочной схеме. В данном исследовании рассматриваются шесть основных типов: самолетного типа (СТ), вертолетного типа (ВТ), мультироторного типа (МР), самолетного типа вертикального взлета и посадки (СВВП), конвертоплан (КП) и автожир (АЖ) [1]. Каждый тип представляет собой компромиссное решение, оптимизированное под определенный диапазон задач.

Беспилотные воздушные суда самолетного типа (БВС СТ) используют традиционную аэродинамическую схему с неподвижным крылом. Их основными достоинствами являются максимальная продолжительность полета (до десятков часов), наибольшая дальность (более 1000 км) и высокая скорость. Недостатками выступают отсутствие возможности зависания над объектом и требовательность к наземной инфраструктуре (взлетно-посадочная полоса, катапульта). Области применения включают мониторинг линейных объектов (трубопроводы, ЛЭП),

аэрофотосъемку больших площадей и доставку грузов на большие расстояния [1, 2].

Беспилотные воздушные суда вертолетного типа (БВС ВТ) используют несущий винт с изменяемым шагом. К их преимуществам относятся независимость от наземной инфраструктуры, возможность зависания, высокая грузоподъемность и устойчивость к сильному ветру. Важной особенностью является наличие режима авторотации для безопасной посадки при отказе двигателя. Недостатки — высокая стоимость летного часа и сложность эксплуатации. Они эффективны для доставки грузов, поисково-спасательных работ и аэрогеофизических исследований [1].

Беспилотные воздушные суда мультироторного типа (БВС МР) оснащены тремя и более винтами фиксированного шага. Их преимущества — простота управления, вертикальный взлет и посадка, высокая маневренность и низкая стоимость. Основные недостатки — ограниченное время полета (20-40 минут) и грузоподъемность, а также отсутствие режима авторотации. Это наиболее массовый тип, применяемый для мониторинга строительных объектов, внесения веществ, визуальных инсталляций и внешних работ в городской среде. Согласно прогнозам, потребность в мультироторах в сфере логистики до 2030 года может достигать 63 тысяч штук в год [1].

Беспилотные воздушные суда самолетного типа вертикального взлета и посадки (БВС СВВП) представляют собой гибридную схему, сочетающую неподвижное крыло и подъемные двигатели. Они сочетают универсальность (зависание и планирование) с вертикальным взлетом и большой продолжительностью полета. Недостатки — высокая стоимость и наличие подъемных двигателей, которые увеличивают массу и создают дополнительное сопротивление. Перспективная потребность в таких аппаратах оценивается в 400 единиц в год в сфере мониторинга и более 2000 — в логистике [1].

Беспилотные воздушные суда типа конвертоплан (БВС КП) реализуют механическое изменение конфигурации крыла в полете. Их главное достоинство — сочетание вертикального взлета и высокой крейсерской скорости, так как все

двигатели используются в обоих режимах. Однако они отличаются высокой сложностью управления в переходных режимах и механической сложностью конструкции, что ограничивает их применение. Основная область — транспортировка грузов на средние расстояния [3].

Беспилотные воздушные суда типа автожир (БВС АЖ) используют свободновращающийся в режиме авторотации несущий винт. Их ключевое преимущество — высочайший уровень безопасности (при отказе двигателя аппарат планирует, а не падает). К другим достоинствам относятся малые взлетно-посадочные дистанции (10-50 м), широкая скорость (40-210 км/ч) и высокая ветроустойчивость. Недостатками являются отсутствие вертикального взлета и меньшая маневренность по сравнению с вертолетами. Автожиры находят применение для внесения веществ, аэрологистики и патрулирования [2].

Для систематизации преимуществ и ограничений различных типов БВС составлена сводная таблица.

Таблица 1.

Сравнительный анализ компоновочных схем БВС

Параметр	СТ	ВТ	МР	СВВП	КП	АЖ
Вертикаль ный взлет/посадка	Нет	Да	Да	Да	Да	Нет
Зависание	Нет	Да	Да	Да	Да	Ограничен но
Максимальна я скорость	Высокая	Средняя	Низкая	Средняя	Высокая	Средняя
Дальность	Максимальная	Средняя	Минимальная	Высокая	Высокая	Средняя
Стоимость эксплуатации	Низкая	Высокая	Низкая	Средняя	Высокая	Низкая
Безопасность при отказе	Низкая	Средняя	Низкая	Низкая	Средняя	Высокая

На основе проведенного анализа можно сформулировать следующие рекомендации по выбору компоновки. Для мониторинга линейных объектов на больших расстояниях оптимальны БВС самолетного типа и СВВП. Для точечного мониторинга и работ в городской среде предпочтительны мультироторы. Для доставки тяжелых грузов на средние расстояния с неподготовленных площадок эффективны вертолеты и конвертопланы. Для сельскохозяйственных работ (внесение веществ) наиболее востребованы мультироторы и автожиры. Для операций с повышенными требованиями к безопасности, например, полетов над населенными пунктами, предпочтительны автожиры, обладающие режимом авторотации [1].

Таким образом, выбор оптимальной конфигурации БАС определяется комплексом факторов: требуемой дальностью, необходимостью зависания, условиями взлета-посадки, экономической эффективностью и требованиями безопасности. На момент 2026 года российская отрасль БАС находится на этапе перехода от экспериментальных разработок к серийному производству унифицированных типовых конструкций. Ключевыми трендами развития являются повышение автономности за счет технологий машинного зрения и искусственного интеллекта, организация спутниковых каналов связи, а также развитие композитных технологий для снижения массы конструкции [2]. Дальнейшее развитие унифицированных типовых конструкций и создание карт кооперации позволят обеспечить потребности различных отраслей экономики в эффективных и безопасных БАС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ассоциация «АЭРОНЕКСТ»: Комплексное исследование текущего состояния используемых технологий и технологических трендов в сфере БАС. Москва, 2024. 81 С. URL: https://aeronext.aero/UserFiles/ContentFiles/2024_Исследование_технологии_и_технологических_трендов_638732377825670914.pdf (дата обращения: 25.03.2026).
2. Скоробогатов С.В., Бутуров Д.А. Подходы к проектированию и практика применения беспилотных воздушных судов самолётного типа // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2023. № 4. DOI: 10.51955/2312-1327_2023_4_78.
3. Design and Performance of a Novel Tapered Wing Tiltrotor UAV for Hover and Cruise Missions // Machines. 2024. Vol. 12, № 9, 653. DOI: 10.3390/machines12090653.

Хаметов Р.А.

Уфимский университет науки и технологий

Науч. рук. канд. техн. наук *Федоров С.В.*

Уфимский университет науки и технологий

Khametov R.A.

Ufa University of Science and Technology

МЕТОДЫ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ

METHODS OF FUNCTIONAL CONTROL OF INTEGRAL LOGIC CIRCUITS

Аннотация: В статье описаны методы функционального контроля интегральных логических схем. Приведены требования к аппаратной части систем функционально-динамического контроля.

Abstract. The article describes the methods of functional control of integrated logic circuits. The requirements for the hardware part of functional-dynamic control systems are given.

Ключевые слова: интегральные логические схемы, методы функционального контроля.

Keywords: integrated logic circuits and functional testing methods.

Для больших интегральных схем, микропроцессорных БИС, а также для печатных плат ИС и БИС наиболее информативным видом контроля является функциональный. Проверка функционирования интегральной логической структуры путем логического тестирования позволяет оценить ее как исправную или неисправную, а в случае неисправности осуществить поиск дефекта.

Функциональный контроль ИЛС требует удовлетворения следующих предпосылок.

1. Наличия для каждой ИЛС документа, характеризующего ее функционирование и составленного на основе существующих методов анализа и моделирования логических структур и неисправностей электрической схемы ИЛС. Таким первичным документом является тестовая таблица, включающая в себя:

—перечисление множества входов ($x_1, \dots, x_i$), разделенных на логические, установочные, входы синхронизации и т. д., и отнесение их к конкретным контактам ИЛС;

— перечисление множества выходов ($y_1, \dots, y_i$) и отнесение их к конкретным контактам;

— перечисление множества входных тестовых наборов ($N_1, \dots, N_n$), каждый из которых характеризует логическое состояние входов и выходов; в совокупности входные наборы образуют тест, который может быть проверяющим или диагностическим (тест поиска дефекта);

— перечисление в каждом наборе входных логических состояний и соответствующих им эталонных выходных логических состояний (требуемая реакция) или же перечисление изменений логических состояний входов и выходов по отношению к содержанию предыдущего тестового набора. Указывается вид импульсов на входах синхронизации, тактовых или установочных входах, а также, если нужно, и на выходах; при этом важными характеристиками импульсов могут быть длительность, амплитуда величины фронтов.

Дополнительной информацией к тестовой таблице может являться указание конкретных значений уровней логических нулей и единиц, значения и вида нагрузок, задержки распространения сигналов на выходах и т. д.

2. Для реализации испытаний требуется наличие физических устройств, схем, блоков, с помощью которых подаются (генерируются) входные воздействия на множество входов проверяемой: ИЛС и требуемые (эталонные) реакции, соответствующие откликам полностью исправной ИЛС на входные воздействия; анализируются (путем сравнения или другим способом) реальные отклики проверяемой ИЛС с требуемой реакцией.

Таким образом, саму проблему тестового контроля и диагностики ИЛС можно рассматривать как состоящую из двух частей. Первая часть, как было отмечено выше, состоит в разработке по имеющейся электрической или структурной схеме ИЛС проверяющих и диагностических тестов. Вторая часть

проблемы — разработка и создание средств контроля (ручных или автоматизированных) для реализации испытаний ИЛС по разработанным тестам.

Разработка методов синтеза тестов для ИЛС направлена главным образом на то, чтобы смоделировать возможные неисправности в проверяемой структуре и на основе компромиссов получить приемлемую размерность теста. Развитие методов контроля и диагностики и разработка средств тестового контроля преследуют цель с наибольшей достоверностью обнаружить и локализовать имеющиеся неисправности ИЛС, вызывающие их неправильное функционирование для отбраковки ИЛС или их восстановления (ремонта).

Рассмотрим процесс функционального контроля ИЛС как функцию времени и определим его показатели, которые зависят как от объекта контроля (логическая структура ИЛС и др.), так и от параметров устройств генерации входных воздействий и требуемых реакций и устройств анализа выходных реакций.

При функциональном контроле входные наборы последовательно подаются на входы проверяемой ИЛС, а выходные сигналы ИЛС, являющиеся реакцией на поданные воздействия, анализируются путем сопоставления их с заранее известными, расчетными. На основе реализации этих последовательностей, представляющих тест, дается оценка правильности функционирования ИЛС.

Тестирование ИЛС осуществляется по тактам. Последовательность тактов, в которой реализуется тест, составляет цикл контроля.

Если в течение такта получают информацию о функционировании какой-то части ИЛС, то при реализации теста — о функционировании ИЛС в целом.

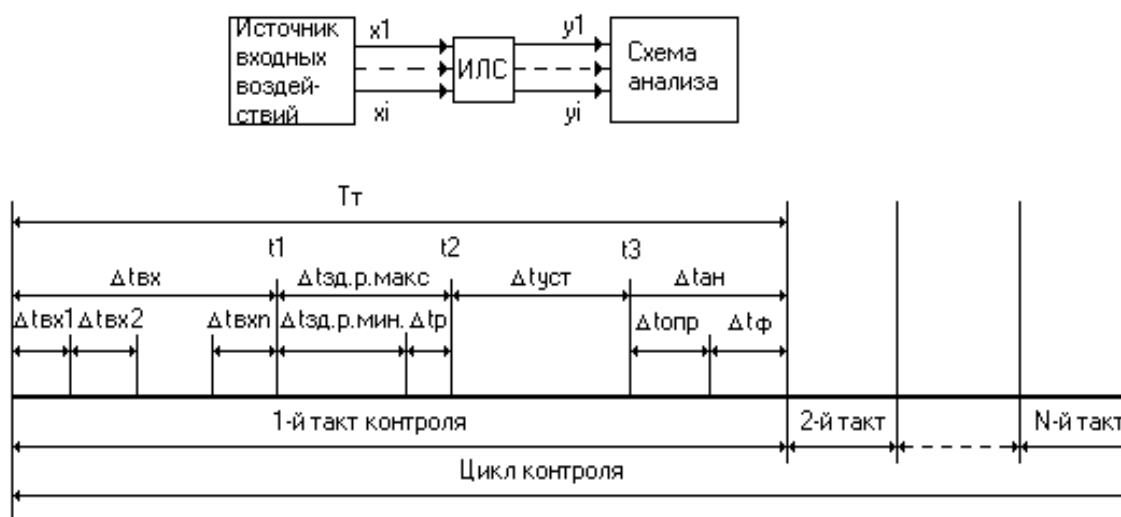


Рис. 1. Составляющие длительности такта

Длительность такта при функциональном контроле может быть величиной непостоянной, так как она зависит от количества входов ИЛС, на которых меняются входные воздействия, от инерционности устройств генерации входных воздействий, от требуемых реакций, от особенностей устройств анализа, а также от параметров, характеризующих быстродействие ИЛС, — или постоянной, если длительность тактов определяется специальным тактовым генератором, период следования сигналов которого больше, чем наибольшая длительность такта в цикле.

Длительность цикла является величиной, характеризующей время контроля и в конечном счете производительность аппаратных средств при проведении функционального контроля. Длительность цикла зависит от количества тактов.

Отсюда следует, что для функционально-динамического контроля требуются специальные генераторы входных воздействий, схемы анализа и регистрации результата, быстродействие которых должно быть на порядок выше быстродействия проверяемых ИЛС, что является сложной технической задачей, так как в современных БИС частота функционирования может достигать многих десятков МГц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексенко А.Г., Галицин А.А., Иванников А.Д. Проектирование радиоэлектронной аппаратуры на микропроцессорах.-М.: Радио и связь, 1984. – 134с.
2. Вишняков В.А. Надежность электронной аппаратуры: Учебное пособие. – Ярославль: ЯПИ, 1988. – 64с.

Шарипов А.З., Силин И.П.

Уфимский университет науки и технологий, филиал в г. Кумертау

Науч. рук канд.техн. наук *Зайцева А.А.*

Уфимский университет науки и технологий, филиал в г. Кумертау

Sharipov A.Z., Silin I.P.

Ufa university of Science and Technology

ТАКТИКА «РОЯ» БПЛА КАК МЕТОД ПРЕОДОЛЕНИЯ ЭШЕЛОНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПВО

UAV SWARM TACTICS AS A METHOD OF OVERCOMING A LAYERED AIR DEFENSE SYSTEM

Аннотация: Применение роевого интеллекта беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для преодоления современной эшелонированной системы противовоздушной обороны (ПВО). Проведен анализ механизмов насыщения информационных и огневых каналов зенитных ракетных комплексов (ЗРК). На основе математического моделирования продемонстрирована нелинейная зависимость вероятности прорыва ПВО от количественного состава роя.

Abstract: The use of swarm intelligence of unmanned aerial vehicles (UAVs) to overcome the modern layered air defense system (air defense). An analysis of the saturation mechanisms of information and fire channels of anti-aircraft missile systems (SAM) was carried out. On the basis of mathematical modeling, a non-linear dependence of the probability of air defense breakthrough on the quantitative composition of the swarm was demonstrated.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, БПЛА, рой дронов, асимметричные боевые действия, искусственный интеллект.

Keywords: беспилотный летательный аппарат, БПЛА, рой дронов, асимметричные боевые действия, искусственный интеллект.

Современные конфликты демонстрируют стремительный переход от парадигмы применения единичных высокотехнологичных платформ к использованию массированных, децентрализованных систем. Эшелонированная система ПВО, традиционно опирающаяся на радиолокационные станции (РЛС) дальнего обнаружения и зенитные ракетные комплексы (ЗРК) большой, средней и малой дальности, проектировалась для отражения атак самолетов тактической авиации, крылатых и баллистических ракет.

Уязвимости эшелонированной ПВО перед роевыми атаками. Классическая эшелонированная ПВО обладает конечным числом целевых каналов (одновременно обстреливаемых целей) и ракетных каналов (одновременно наводимых ракет). Главная уязвимость системы заключается в её пропускной способности.

Тактика роя направлена на эксплуатацию следующих ограничений ПВО:

- Информационное насыщение (Overload): Множественные малоразмерные цели, маневрирующие по непредсказуемым траекториям, перегружают вычислительные мощности АСУ ПВО, усложняя селекцию и ранжирование целей.

- Огневое перенасыщение: Количество аппаратов в рое преднамеренно превышает количество доступных целевых каналов защищающего комплекса.

- Экономическое истощение: Использование дорогостоящих зенитных управляемых ракет (ЗУР) против дешевых дронов-камикадзе ведет к быстрому истощению боекомплекта с отрицательным экономическим эффектом для обороняющейся стороны.

Вероятность прорыва хотя бы одного БПЛА сквозь зону поражения ПВО можно описать с помощью модифицированных уравнений Ланчестера и теории массового обслуживания. Если комплекс ПВО имеет K целевых каналов и вероятность поражения одной цели равна p , то при атаке роя из N аппаратов (где $N > K$), часть дронов гарантированно проходит зону без обстрела.

Вероятность поражения всего роя резко падает при $N > K$. Рассмотрим расчетную модель для типичного объектового ЗРК с 12 целевыми каналами ($K=12$) и боекомплектом, готовым к немедленному пуску, равным 24 ракетам (см. рис.1).

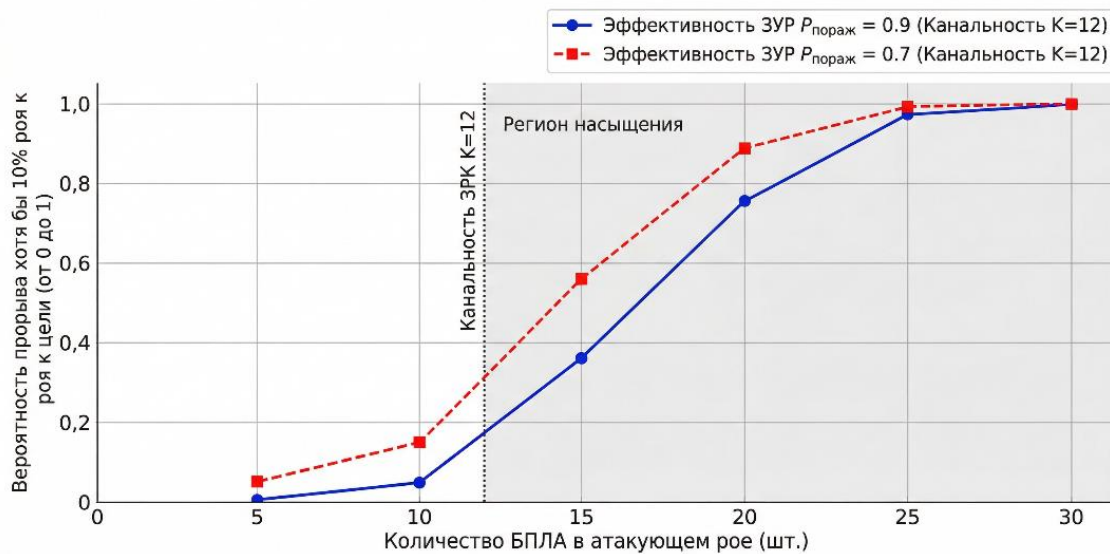


Рис. 1. Зависимость вероятности успешного прорыва ПВО от количества БПЛА в рое при различной эффективности ЗУР.

Как видно из графика, при количестве БПЛА, превышающем канальность комплекса (более 12-15 единиц), происходит резкий, экспоненциальный рост вероятности прорыва. Даже при высокой вероятности поражения цели одной ракетой (0.9), рой из 25 аппаратов гарантированно преодолевает рубеж обороны за счет математического истощения огневых возможностей комплекса.

Современный рой гетерогенен. Внутри группы алгоритмы ИИ динамически распределяют роли:

- Дроны-приманки (Decoys): летят в авангарде, их задача — вскрыть позиции РЛС и заставить противника израсходовать первый эшелон ракет.
- Дроны РЭБ (Jammers): осуществляют постановку шумовых помех, снижая дальность обнаружения ПВО.
- Ударные дроны (Strikers): атакуют вскрытые РЛС и пусковые установки во время их перезарядки.



Рис. 2. Динамика истощения боекомплекта ЗРК в зависимости от времени при отражении волновой атаки роя дронов.

Графическая модель демонстрирует концепцию «временного окна уязвимости». На 7-й минуте боя ЗРК полностью расходует готовый к пуску боекомплект. Поскольку процесс перезарядки пусковых установок занимает от 15 до 30 минут, третья волна роя, подходящая на 8-й минуте, встречает нулевое огневое противодействие, беспрепятственно уничтожая элементы эшелонированной системы.

Тактика применения «роя» БПЛА представляет собой фундаментальный сдвиг в военном деле, переводя фокус с качественного превосходства отдельных систем вооружения на количественно-координационное.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селин А.И., Туркин И.К. Обзор Целевых Объектов Применения Беспилотных Летательных Аппаратов, Работающих В Составе Группы. – Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2023. с. 91-94
2. Уланов А.С. Прогностическая Оценка Тенденций Развития Средств Вооруженной Борьбы И Способов Их Применения В Войнах Будущего. – Военная мысль. 2022. с. 37-40
3. Окунев В.И. Анализируем совместные разведывательно-ударные действия рейдового отряда и смешанной тактической авиационной группы. – военная мысль. 2021. с. 149-152

**НАПРАВЛЕНИЕ 1. (УЧАЩИЕСЯ СРЕДНИХ
ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ). ОКРУЖАЮЩИЙ МИР
(ПРИРОДОВЕДЕНИЕ. БИОЛОГИЯ. ХИМИЯ. ЭКОЛОГИЯ)**

УДК 282.256.341

Краснова В.

Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение «Средняя общеобразовательная школа №5» городского округа г. Кумертау Р. Б.

Руководитель: Учитель начальных классов *Бурнаева Н. Н.*

Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение «Средняя общеобразовательная школа №5» городского округа г. Кумертау Р. Б.

Veronika K.

Municipal Budgetary General Education Institution "Secondary School No. 5" of the Kumertau Urban District, R.B.

«ЛАСТОНОГОЕ ЧУДО БАЙКАЛА»

"THE SEAL-FOOTED MIRACLE OF LAKE BAIKAL"

Аннотация: Статья посвящена изучению байкальской нерпы — единственного млекопитающего озера Байкал и уникального пресноводного тюленя-эндемика. В теоретической части рассмотрены загадки происхождения нерпы в Байкале, её разновидности, места обитания, питание, размножение (бельки, хубунки), поведение (зимние логова, дыхательные лунки, сон в воде), а также вопросы промысла и естественных угроз (браконьерство, изменение климата, химическое загрязнение, хищники). В практической части представлены результаты анкетирования одноклассников (два замера: начальный и итоговый), подтверждающие эффективность выбранных форм работы: изготовление поделок (пластилинография, обрывная аппликация с оригами, рисование), создание макета озера Байкал и организация выставки. Автор приходит к выводу, что совместная практическая деятельность способствует расширению кругозора, развитию любознательности и формированию бережного отношения к природному наследию.\

Abstract: The article is devoted to the study of the Baikal seal, the only mammal of Lake Baikal and a unique freshwater endemic seal. The theoretical part discusses the mysteries of the seal's origin in Lake Baikal, its species, habitats, diet, reproduction (belks, hubunki), behavior (winter dens, breathing holes, sleeping in water), as well as issues related to hunting and natural threats (poaching, climate change, chemical pollution, and predators). The practical part presents the results of a questionnaire survey of classmates (two measurements: initial and final), confirming the effectiveness of the chosen forms of work: making crafts (plasticineography, torn-off origami appliqué, drawing), creating a model of Lake Baikal, and organizing an exhibition. The author concludes that joint practical activities contribute to broadening the horizons, developing curiosity, and fostering a respectful attitude towards natural heritage.

Ключевые слова: байкальская нерпа, пресноводный тюлень, озеро Байкал, белек, охрана природы, браконьерство.

1. Введение

Актуальность исследования.

У каждого человека есть мечта. Я люблю мечтать. Уже несколько лет я мечтаю побывать на самом глубоком и уникальном озере Байкал. На территории нашей Родины существует 8 озёр с таким названием. Но я Вам хочу рассказать об озере Байкал, которое находится в восточной части Иркутской области, на границе с Бурятией. Оно удивительное! Похоже на гигантский полумесяц. Уникальность растительного и животного мира озера Байкал признается учёными всего мира, многие его обитатели живут только здесь. Больше их нигде не найти. Это эндемики, то есть такие виды животных и растений, которые встречаются только в определённом географическом районе.

Здесь водятся тюлени-байкальские нерпы, предки которых, вероятно, когда-то приплыли сюда по реке Ангаре из Северного Ледовитого океана.

Первое моё знакомство с этим тюленем произошло когда мне было три года. Мой дядя привез мне её с озера Байкал. Она была серой, с голубыми глазами.

Что это за зверёк я не знала. Мама мне объяснила, что это байкальская нерпа, она считается символом Байкала. Именно мой интерес к изучению нерпов и повлиял на выбор темы нашей исследовательской работы «Ластоногое чудо Байкала»

Цель исследования: теоретическое изучение единственного представителя млекопитающих озера Байкал-пресноводной нерпе, ее образе жизни, повадках, значении этого млекопитающего в жизни человека.

Объект исследования: знакомство с байкальской нерпой.

Предмет нашего исследования: нерпа- это единственный в мире тюлень, который живет в пресной воде ,Байкале.

Гипотеза исследования: мы предполагаем, что если мы совместно с учителем будем участвовать в различных формах работы и рассказывать

одноклассникам интересные факты о жизни и условиях обитания нерпов, то это поможет расширить их кругозор и любознательность об уникальном животном мире озера Байкал.

Задачи исследования:

1. Изучить условия обитания нерпы, ознакомиться с литературой, изучить информацию в интернет ресурсах.
2. Рассмотреть и выбрать формы работы с ребятами нашего класса
3. Создать презентацию по этой теме «Ластоногое чудо Байкала»
4. Создание итогового продукта макет озера «Байкал»

Методы исследования:

1. Анкетирование одноклассников, обобщения и систематизация полученных знаний;
2. Изготовление макета озера Байкал ;
3. Изготовление поделок «Байкальская нерпа» разными способами (пластилинграфия «Ластоногое чудо Байкала», обрывная аппликация с техникой оригами);
4. Раскрашивание и рисование нерп;
5. Изучение художественной литературы по выбранной теме.
6. Организовать выставку поделок о нерпе

Глава 1. Теоритическая часть.

1.1 Байкальская нерпа-символ Байкала.

Нерпы — это представитель семейства тюленевых. На каждой территории встречается определенный подвид морской или пресноводной нерпы. Их называют тюленями, но всё же нерпы отличаются от других представителей большого семейства.

Меня заинтересовал вопрос, как такой зверёк завёлся в Байкале.

Её ближние родичи найдены в Северном Ледовитом океане и имеют явно морское происхождение. Одни учёные предполагают, что нерпа проникла из Ледовитого океана по Енисею и Ангаре в ледниковый период, когда реки были

подпружены льдами. Другие учёные не исключают её проникновения по Лене, в которую был сток из Байкала.

1.2 Загадка появления нерпы в Байкале.

Жила ли нерпа в Баунтовских озёрах? По преданию местных жителей, нерпа совсем недавно (одно-два столетия назад) встречалась в Баунтовских озёрах. Предполагают, что нерпа попала туда по Лене и Витиму. Часть исследователей считает, что в Баунтовские озера нерпа попала из Байкала и что якобы эти озера были с ним связаны. Однако достоверных данных, подтверждающих ту или иную версию, пока не получено.

1.3.Разновидности, места их обитания нерп.

По территории обитания и виду водоема выделяют несколько видов нерп:

каспийская нерпа — житель Каспийского моря;

байкальская нерпа — эндемик озера Байкал;

кольчатая нерпа — у этих млекопитающих места обитания существенно шире.

Байкальская нерпа или байкальский тюлень (лат. *Pusasibirica*) — один из трех видов пресноводного тюленя, не встречающегося нигде кроме этого озера.

Чем же интересна и уникальна байкальская нерпа?

Нерпа — единственное млекопитающее озера Байкал. Это красивый и самый необычный его обитатель, поэтому мне захотелось больше узнать об этом животном, его жизни в природе.

Байкальская нерпа может разгоняться под водой до скорости 25 километров в час. Она является непревзойденным пловцом и может легко уходить от опасности. Нерпа ныряет на глубину до 200 метров и остается под водой 20-25 минут. Основа питания нерпы — голомянки и бычки.

Нерпы строят свои зимние дома из-под льда. Зимой байкальские нерпы живут на льду в логовах, прорытых в толще снега. Когда Байкал начинает замерзать, животные делают во льду незамерзающую лунку длиной около 1,5 м. Они поддерживают ее, постоянно обламывая нарастающий лед. При наступлении суровых морозов нерпы сидят в воде и вдыхают воздух через

специальные отверстия, которые проделывают передними лапами. Диаметр их около 17 см — этого достаточно, чтобы нерпа могла засунуть в него свой нос.

ИНТЕРЕСНЫЙ ФАКТ. Способность делать отверстия для дыхания — это врожденная особенность. В зоопарке провели эксперимент: в бассейн с детенышами нерпы положили большой пенопластовый лист. Малыши разгребли пенопласт когтями и делали отверстия, в которые вставляли носы, чтобы подышать воздухом.

Байкальская нерпа очень осторожное, но любознательное и умное животное. Нерпа встречается практически по всему Байкалу, но проживает в основном на Северном и Среднем Байкале. Их любимое место - район Ушканьих островов, так же нерпа встречается на восточном побережье острова Ольхон и на полуострове Святой Нос.

1.4. Питание нерп

Меню байкальской нерпы включает рыбу не ценных для человека пород. На протяжении 12 месяцев взрослая особь способна уничтожить до 1 т рыбы. Нерпы охотятся на представителей семейства бычков, ельца, окуня.

1.5 Размножение нерпы

Щенится нерпа в феврале-марте. Обычно на свет появляется 1-2 малыша. Они рождаются на льду, в снежном логове. В первый период, пока они кормятся молоком матери, в воду не ныряют, а отлеживаются в логове.

Вес новорожденного до 4 кг. Детеныши имеют мех белого цвета — это охранительная окраска. Она позволяет им в первые недели жизни, пока питаются молоком, оставаться почти незаметными на снегу.

С переходом на самостоятельное питание нерпята линяют, мех изменяет цвет на серебристо — серый, а затем и на буро-коричневый — как у взрослых. Нерпёнка - детеныша называют хубунком.

1.6. Любимое место отдыха

В Байкале нерпа в основном любит «отдыхать» на Ушканьих островах. Ушканьи острова расположены в средней части Байкала. Здесь на трёх

маленьких островах, пляж нерпы, где сотнями она выбирается на камни и греется на солнце. На закате солнца нерпа начинает массовое движение к островам.

1.7. Сон По наблюдениям, нерпа спит в воде. Во время сна нерпы аквалангисты подплывали к ней близко, прикасались но животное продолжало спать.

1.8. Промысел

Нерпа является ценным объектом промысла. Она дает меховые шкуры, жир и мясо.

Мясо нерпы употребляют в пищу, а жир нерпы считают целебным. Их употребляют при лечении лёгочных заболеваний, язвенной болезни желудка и др. А её ласты, отваренные в воде, считаются лакомством.

В печени нерпы содержится много витаминов. Шкуру нерпы используют для подбивки охотничьих лыж, для изготовления одежды, рукавиц, обуви и др.

Но тревогу вызывает увеличивающееся в последние годы браконьерство. Особенно жестоко ведется охота на детенышей нерпы в возрасте до нескольких месяцев.

От кого надо защищать байкальскую нерпу?

Угрозу белькам несет не только человек: сейчас идет изменение климата — почти перестал формироваться крепкий лед, который является "роддомом" и "яслями" для нерп. В итоге многие детеныши погибают. Естественными врагами нерпят являются чёрные вороны и орланы-белохвосты. Химическое загрязнение озера также опасно для нерпы.

Глава 2. Практическая часть Байкальская нерпа

2.1. Проведение и результаты анкетирования

Я решила узнать, что ребята знают о нерпе и провели вместе с учителем анкетирование в виде взятия у них интервью. В опросе участвовал 21 ребенок.

Проанализировав анкеты (приложение № 1), мы выявили, что в основном ребята имели на начало анкетирования плохие знания о нерпе. Затруднения возникли только в 2 вопросах. Это сколько имеется версий появления нерпы в Байкале и о их возрастном пределе. Результаты показаны в диаграмме (рис.1).



Рис. 1.

Затем по итогам всей работы мы провели вторичное анкетирование и выявили, что у моих одноклассников повысился уровень знаний о нерпах. Усвоению материала помогла практическая деятельность, результаты представлены в диаграмме (рис 2)



Рис. 2.

Когда я принесла в школу поделку, которую сделала дома с мамой, ребята начали задавать мне вопросы что за зверька я сделала? Я рассказала ребятам о нерпе. Эта информация очень заинтересовала моих одноклассников и им тоже захотелось сделать такую поделку. (рис 3 схема изготовления поделки)



Рис. 3.

А на занятиях внеурочной деятельности мы с ребятами представили себя художниками и изобразили беляка в технике пластилинография.

Заключительным этапом нашего проекта стало создание макета озера «Байкал»



Рис. 4.

4. Заключение

В завершении своей работы я хотела бы сказать, что мы имеем уникальную возможность наблюдать чудеса окружающей нас природы, но как долго это продлится, зависит только от нас с Вами. Меня заботит судьба нерпы, Байкала. Если мы будем беречь, охранять и не засорять это священное море, мы сохраним и нерпу.

СПИСОК ИТЕРАТУРА

1. Галазий Г.И. «Байкал в вопросах и ответах» Иркутск. Вост.-Сиб. изд., 1987.
 2. Красная книга Российской Федерации (животные)". изд. "Астрель" 2001 год. стр. 6,845,860
 3. Мартынов П.И. Байкальская нерпа: материалы по млекопитающим Баргузинского заповедника // Тр. Баргузинского зап-ка. Улан-Удэ, 1960, вып. 2.- С. 59-61.
 4. Источник: http://ru.wikipedia.org/wiki/Байкальская_нерпа
 5. Байкальская нерпа на сайте <http://zooex.baikal.ru>
 6. В фокусе байкальская нерпа на сайте <http://www.globalnature.org>
 7. Ерина Е. Путешествие на дно Байкала // Сибирячок. – 2009. – № 4.
 8. Сергеев М. Море синее // Сибирячок. – 2009. – № 4.
 9. Тахтеев В. Зимняя жизнь нерпы // Сибирячок. – 2009. – № 1.
 10. Эндемики Байкала от А до Я // Сибирячок. – 2009. – № 4
- Ресурсы всемирной сети Интернет:
11. www.zooex.baikal.ru/ Зоологические экскурсии по Байкалу.
 12. www.wikipedia.org/wiki/Байкал / Свободная энциклопедия Википедия.
 13. www.revolution.allbest.ru/ Что именно угрожает Байкалу.
 14. www.wiki.iteach.ru/ Учебный проект. Озеро Байкал.
 15. www.baikalarea.ru/ Изменение экологии угрожает уникальной фауне и флоре Байкала.
 16. www.sbaikal.ru/ Животный мир Байкала.
 17. www.google.ru/ Поисковая система
 18. <https://www.stranamam.ru/post/24419/>

Оразова В.М.

Муниципальное автономное общеобразовательное учреждение
«Полилингвальная многопрофильная школа №23» городского округа
г. Sterlitamak Р. Б.

Науч. рук. учитель нач. классов *Алибаева Л.И.*

Муниципальное автономное общеобразовательное учреждение
«Полилингвальная многопрофильная школа №23» городского округа
г. Sterlitamak Р. Б.

Orazova V.M.

Municipal Autonomous General Education Institution "Multilingual Multidisciplinary
School No. 23" of the urban district of Sterlitamak, R.B.

СЕКРЕТЫ КАЛЕНДУЛЫ

SECRETS OF CALENDULA

Аннотация: В статье рассказывается о лечебных свойствах цветков календулы, ее применении и наблюдении за произрастанием семян.

Abstract: The article describes the medicinal properties of calendula flowers, its use and observation of seed germination.

Ключевые слова: календула, исследования, лечебные свойства, практическое применение.

Key words: calendula, research, medicinal properties, practical application.

Однажды я увидела ярко-оранжевый цветок, похожий на маленькое солнышко, который распускался в саду. Мама сказала, что это – календула, и в народе говорят, что когда-то цветок был золотой монеткой, которая лежала в кармане солнца среди других монеток. Но когда солнышко присело на пенек, одна монетка выскочила из кармана и упала на землю, а утром на этом месте вырос удивительный цветок, очень похожий на Солнце. Но календула удивила не только своей невероятной красотой, но и множеством полезных свойств...

Человек всегда окружал себя удивительными порождениями природы, и самыми прекрасными из них были цветы, восхищавшие нас своей гармонией, яркостью красок и многообразием форм. А многие из них обладали еще и

целебными свойствами. И у меня возник вопрос: в чем же секрет календулы? На этот вопрос я постаралась дать ответ в своей исследовательской работе.

Цель исследования Цель, которую я поставила перед собой – раскрыть всевозможные секреты календулы. Достижение поставленной цели возможно при решении следующих задач.

Задачи исследования

- прочитать о календуле;
- узнать особенности этого цветка;
- выяснить, где может быть полезна календула;
- на практике применить полученные знания.

Гипотеза

Если я раскрою секреты календулы, то смогу помочь себе и своим близким.

Методы исследования

- поисковый;
- аналитический;
- описательный;
- практический.

1. Теоретическая часть

1.1. История календулы

Нас окружает множество различных растений, которые мы выращиваем дома, и на своих садовых участках. Я очень люблю цветы комнатные, и садовые. В своей работе я хочу рассказать о цветке, который меня заинтересовал – это календула.

Название растения произошло от латинского слова *calendae*, что означает «первый день месяца». Древние римляне заметили, что календула распускается с восходом солнца и закрывается с заходом, поэтому ее называли цветком – часами.

Первые сведения о календуле, как лекарственном растении, были найдены у древнего военного врача и философа Диоскорида, жившего в I веке н.э.

Древний целитель Авиценна также в своих трудах ссылался на многочисленные лекарственные свойства календулы. Он говорил, что у врача есть три «оружия» для лечения: слово, нож и растение. Календула, несомненно, была в арсенале лекарей в прошлые века.

В Европе история календулы обросла легендами и преданиями. Особой любовью календула пользовалась во Франции. В Париже есть памятник, где королева Наваррская Маргарита Валуа держит в руках свой любимый цветок.

В Древней Индии календулой украшали главные места в храмах, считая ее символом счастья и удачи.

В Китае календулу называют «Цветок 10 тысяч лет», где она символизирует жизнь.

Различные народы мира давали календуле имена, исходя из своего представления об особенностях этого растения. У многих народов название подчеркивает необычную форму изогнутых семян. В России календулу называют ноготками.

1.2. Способы выращивания календулы.

Календула хорошо растет на влажных, открытых, солнечных местах. Это однолетнее растение не требовательно к теплу, влаге, почве, но очень светолюбиво. Календула так любит солнце, что в тени ее цветки становятся бледными и безжизненными.

Календулу охотно выращивают в садах и огородах. Особого ухода она не требует. Выращивать ее на одном месте несколько лет подряд не рекомендуется, так как она сильно истощает почву. Размножается семенами. Семена прорастают при температуре 20-30⁰С. Всходы появляются через 9-12 дней после посева. После этого развивается прямой, невысокий, слегка ветвистый стебель.

Изучив эти свойства, я летом решила сама вырастить календулу у себя на огороде. Выбрала семена, которые мне понравились, приготовила грядку для цветов и посадила семена. Через несколько дней появились первые всходы. Я была очень рада.

Опрыскивала календулу каждый день я, а поливала не чаще чем один раз в два дня. Через 45 дней моя календула зацвела. Это были очень красивые цветы. Все любовались моей грядкой.

1.3. Секреты календулы

Секрет 1. О лечебных свойствах календулы известно достаточно давно. Ноготки помогают заживлять раны. Широко используют растение при лечении ожогов, трещин, ссадин, царапин, долго незаживающих ран и язв. Календула - отличное противовоспалительное средство. Чтобы всегда иметь под рукой такое средство, я сделала настойку из бутонов календулы. А когда я поранила коленку, вместо зеленки смазала ее настойкой. А еще, когда болело горло, полоскала настоем календулы.

Секрет 2. Календула – защитник растений, санитар огорода. Моя бабушка высаживает календулу в междурядьях и вообще на любом свободном клочке огорода. Где она растет, там меньше тли, и прочих вредителей.

Секрет 3. Это растение активно используется в народной медицине. Календула помогает сделать состояние кожи более здоровым, нежным и ухоженным. Растение помогает отбелить кожу и избавиться от пигментных пятен. Подходит для ополаскивания жирной кожи головы и при перхоти. Из календулы мы с мамой готовим мазь, которая подходит для смазывания губ в холодное время года, а также для загрубевших участков кожи.

Секрет 4. В кулинарии календула ценится не только за приятный вкус, но и за привлекательный внешний вид.

Употребляются настои из сухого или свежего лепестка календулы и в виде чая, который весьма приятен на вкус и особенно хорош вприкуску с ломтиком лимона или медом.

Ярко – оранжевые лепестки этого растения являются оригинальным компонентом блюда. Оказывается, календулу можно солить и даже мариновать. Маринованную календулу мама добавляет в суп: получается вкусно и необычно. Из календулы можно приготовить мед.

Секрет 5. Цветки календулы служат прекрасным украшением. Каждый год

они появляются на нашей клумбе и радуют нас своим цветением все лето.

2. Практическая часть

Узнав много о календуле лекарственной, я решила, что если ее выращу зимой на подоконнике, то у меня будет возможность лечить ее цветками простудные заболевания, полоскать горло, закапывать в нос при насморке и в аптеку идти не надо.

Я посадила семена в подготовленную землю в ящик. Я узнала, что для выращивания календулы в ящиках на балконе достаточно взять грунт, наполовину перемешанный с простой, удобренной почвой. Но я решила сделать по – другому. На дно ящика положила перемешанный навоз, затем землю, перемешанную с песком.

Сделала небольшие углубления в земли и туда посадила семена на глубину 2-3 см. Потом полила водой комнатной температуры и поставила в теплое место, где температура +25 - +30 градусов на 4 дня, постоянно держа почву влажной.

На 5 день я заметила белые, появившиеся из земли росточки, и поставила горшок с календулой на подоконник на солнечную сторону.

Через 4 дня вместо белых росточков появились 2 зеленых листочка.

На 9 день листочки подросли и показался 3 маленький листок.

Через 2 дня этот листок подрос. Теперь у моих цветов уже по 4 больших и одному маленькому листочку. Мои цветы растут прямо на глазах. И день ото дня становятся все больше. Я их рыхлю, поливаю, не чаще чем 1 раз в 2 дня, но опрыскиваю каждый день.

В серединке у моих цветов начинают появляться маленькие, еле заметные бутоны, которые с каждым днем становятся все больше и больше. Пока еще не расцвел, но дня через 2 произойдет чудо природы! Бутоны начнут раскрываться, и появятся первые желто – оранжевые цветочки календулы.

С каждым днем их будет становиться все больше и больше. Мне кажется, что у меня на подоконнике появятся маленькие солнышки, которые поднимут настроение и порадуют глаз своей красотой и нежностью.

Выводы.

В ходе исследования, я не только подтвердила слова древнего целителя Авиценны, о том, что календула является оружием целителя, так как обладает рядом целебных свойств, но и раскрыла такие ее секреты:

- календула является санитаром огорода;
- используется в косметике;
- практическое применение (при оказании медицинской помощи; домашнее консервирование; в приготовлении оригинальных блюд; для защиты огорода от вредителей);
- при приготовлении пищи;
- служит украшением любой клумбы;
- позволяет поднять настроение и настроиться на позитивный лад.

Таким образом, календула стала хорошим помощником не только в нашей семье, но и у наших родных и близких.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Искусная хозяйка. Популярная энциклопедия по домоводству. – Смоленск: Русич, 2006. – 688 с.: ил.
2. Куликова И.И. Домашнее консервирование. -М.: АСТ-ПРЕСС КНИГА, 2003. – 592
3. Минеджян Г.З. Сборник по народной медицине и нетрадиционным способам лечения. – «РОСТИ», 1993.
4. Энциклопедический словарь юного биолога. Составитель Аспиз М.Е. – М.: Педагогика, 1986. – 352с.
5. Мишин А. Для сада и огорода. Советы начинающим огородникам. Издательство «Московская правда», 1990. – 96с.
6. Мельчаков Л.Ф., Скаткин М.Н. Природоведение: Учеб. для 3,5 кл., сред.шк. – 7-е изд., испр. – М.; Просвещение, 1991. – 240с.
7. Детская энциклопедия для всезнаек от 6 до 12 лет. М.: «Владис», 2020 г.

Тимерханов Л.Р.

МУНИЦИПАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС «ПЕРСПЕКТИВА»,
г. Кумертау

Учитель химии, биологии *Кузьминская О.А.*

МУНИЦИПАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС «ПЕРСПЕКТИВА»

Timerkhanov L.R.

MUNICIPAL BUDGETARY GENERAL EDUCATIONAL INSTITUTION
EDUCATIONAL COMPLEX "PERSPECTIVE", Kumertau

НАУЧНЫЕ И МЕДИЦИНСКИЕ РИСКИ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ ДЛЯ ЧЕЛОВЕКА

SCIENTIFIC AND MEDICAL RISKS OF SPACE FLIGHTS FOR HUMANS

Аннотация: Статья "Научные и медицинские риски космических полетов для человека" исследует влияние микрогравитации на здоровье астронавтов и выявляет основные медицинские риски, с которыми они сталкиваются в условиях космоса. С увеличением продолжительности космических миссий и численности астронавтов, отправляющихся в космос, становится критически важным понимание того, как отсутствие гравитации влияет на физиологические процессы в человеческом организме.

В ходе исследования рассматриваются ключевые проблемы, такие как потеря мышечной массы, остеопороз, изменения в сердечно-сосудистой системе. В проекте также анализируются методы, используемые для изучения этих рисков, включая эксперименты, проводимые на Международной космической станции, и исследования, имитирующие условия космоса на Земле.

Таким образом, данный проект не только углубляет наше понимание влияния космической среды на здоровье человека, но и служит основой для разработки стратегий, направленных на защиту здоровья астронавтов и успешное выполнение сложных научных задач в условиях космоса.

Abstract: The article "Scientific and Medical Risks of Human Spaceflight" examines the impact of microgravity on the health of astronauts and identifies the main medical risks they face in space. As space missions become longer and the number of astronauts traveling into space increases, understanding how the absence of gravity affects physiological processes in the human body becomes critical.

The study examines key issues such as muscle loss, osteoporosis, and cardiovascular changes. It also analyzes the methods used to study these risks, including experiments conducted on the International Space Station and studies simulating space conditions on Earth.

Thus, this project not only deepens our understanding of the impact of the space environment on human health but also serves as a basis for developing strategies aimed at protecting astronauts' health and successfully completing complex scientific missions in space.

Ключевые слова: Космические полеты; Микрогравитация; Астронавты; Медицинские риски; Исследования в космосе; Здоровье человека в космосе
Keywords: Space flights; Microgravity; Astronauts; Medical

Введение

Космические полеты — это захватывающие путешествия, которые позволяют человеку покидать Землю и исследовать просторы космоса. Эти полеты осуществляются с помощью ракет и космических кораблей. Космические исследования помогают нам лучше понять саму Землю, нашу Солнечную систему и даже другие галактики.

Астронавты — это специально обученные специалисты, которые отправляются в космос для выполнения различных миссий. Их работа включает в себя исследование новых планет, проведение научных экспериментов, ремонт оборудования и работу на Международной космической станции (МКС).

Однако космические полеты не лишены рисков. Находясь в космосе, астронавты сталкиваются с рядом медицинских и научных проблем, таких как потеря мышечной массы, остеопороз и другие изменения в организме. Эти риски необходимо тщательно изучать, чтобы обеспечить безопасность астронавтов и улучшить результаты будущих космических миссий.

Цель данного проекта — исследовать научные и медицинские риски космических полетов для человека. Мы стремимся понять, какие изменения происходят в организме человека в условиях космоса и какие меры могут быть предприняты для их минимизации.

Актуальность проекта обусловлена растущими интересами к космическим исследованиям и будущим миссиям на другие планеты, такие как Марс. С увеличением продолжительности космических полетов и количеством астронавтов, отправляющихся в космос, необходимо понимать и учитывать риски, связанные с здоровьем.

1. Микрогравитация

Микрогравитация — это состояние, при котором сила тяжести, действующая на объект, значительно уменьшена, что создает условия, близкие к

отсутствию гравитации. В отличие от полной невесомости, которая возникает, когда объект находится на свободном падении, микрогравитация подразумевает, что на объект всё еще действуют силы гравитации, но они значительно ослаблены.

На Земле мы испытываем нормальное гравитационное воздействие, которое составляет около 9.81 м/с^2 . Однако в условиях микрогравитации это значение может снижаться до менее чем 1% от нормального уровня. Это состояние возникает, когда объекты находятся в постоянном свободном падении, например, в ходе орбитального полета вокруг Земли, где они движутся с такой же скоростью, что и сама Землю, что создает эффект невесомости.

Одним из самых ярких примеров микрогравитации является Международная космическая станция (МКС). МКС находится на низкой околоземной орбите, примерно на высоте 400 километров над Землёй. Хотя сила тяжести на этой высоте всё еще присутствует, она недостаточна для того, чтобы преодолеть эффект свободного падения, в результате чего астронавты и объекты на борту МКС испытывают состояние микрогравитации.

2. Влияние микрогравитации на здоровье человека

Потеря мышечной массы

Одним из наиболее значительных последствий длительного пребывания человека в условиях микрогравитации является потеря мышечной массы. На Земле мышцы работают против силы тяжести, что способствует их поддержанию и росту. В условиях микрогравитации, где сила тяжести существенно ослаблена, мышцы не подвергаются той же физической нагрузке. Исследования показывают, что астронавты могут терять до 20% мышечной массы и силы всего за несколько недель пребывания в космосе.

Чтобы минимизировать потерю мышечной массы, астронавты на борту Международной космической станции (МКС) следуют строгой программе физических упражнений. Они используют специальные тренажеры, которые обеспечивают сопротивление, аналогичное тому, которое испытывают мышцы на Земле. Например, на МКС имеются устройства, такие как тренажеры с

эластичными лентами и велосипедные эргометры, которые позволяют астронавтам выполнять аэробные и силовые тренировки. Остеопороз

Микрогравитация также оказывает значительное влияние на костную систему человека. В условиях пониженной нагрузки кости теряют минералы, что приводит к их ослаблению и увеличению риска переломов. Это состояние называется остеопорозом. Исследования показывают, что астронавты могут терять до 1-2% костной массы каждый месяц, что значительно превышает уровень потери костной массы у пожилых людей на Земле.

Чтобы противостоять этому явлению, в рамках тренировочной программы астронавтов включены упражнения, направленные на укрепление костей. Кроме потери мышечной массы и остеопороза, длительное пребывание в микрогравитации может вызывать и другие проблемы со здоровьем. Одним из наиболее изучаемых является изменение зрения. У астронавтов, находящихся на борту МКС, наблюдаются изменения в форме глазного яблока и повышенное внутриглазное давление, что может привести к ухудшению зрения. Причины этих изменений до конца не ясны, но предполагается, что они связаны с перераспределением жидкости в организме в условиях микрогравитации.

Кроме того, микрогравитация влияет на сердечно-сосудистую систему. В условиях низкой гравитации сердце и сосуды адаптируются к новым условиям, что может приводить к изменениям в сердечном ритме и артериальном давлении.

3.Методы исследования влияния микрогравитации на здоровье человека

Исследования на МКС предоставляют уникальную возможность изучать влияние микрогравитации на здоровье человека. Астронавты проводят различные физиологические и биологические тесты, которые помогают оценить изменения в организме.

1. Физиологические эксперименты: Регулярные медицинские обследования, включая измерения сердечно-сосудистой функции и состава мышечной и костной ткани, позволяют исследователям изучать влияние микрогравитации на здоровье астронавтов.

2. Биологические исследования: На МКС проводятся эксперименты, направленные на изучение клеточных процессов, таких как рост мышечных клеток и обмен веществ в костной ткани.

3. Психологические исследования: Ученые исследуют влияние изоляции и стресса на психическое здоровье астронавтов, а также их способность адаптироваться к условиям длительного космического полета.

Эксперименты на Земле также важны для понимания здоровья в космосе и позволяют моделировать аспекты микрогравитации.

1. Симуляторы микрогравитации: Используются центрифуги и тренажеры для создания условий, приближенных к микрогравитации, что позволяет проводить предварительные тесты.

2. Модели и симуляции: Математические модели и компьютерные симуляции помогают предсказать эффекты микрогравитации на здоровье и анализировать данные, полученные от астронавтов.

3. Лабораторные исследования: Эксперименты с клеточными культурами и животными позволяют изучить влияние микрогравитации на биологические процессы.

Заключение

Изучение микрогравитации и её влияния на здоровье человека является критически важным аспектом подготовки астронавтов к длительным космическим миссиям. Полученные данные показывают, что условия микрогравитации оказывают значительное влияние на физическое и психическое состояние астронавтов, включая потерю мышечной массы, остеопороз и изменения в сердечно-сосудистой системе.

Поэтому понимание механизмов, лежащих в основе этих изменений, и разработка эффективных методов профилактики и лечения являются необходимыми для обеспечения безопасности и здоровья космонавтов. Программы тренировок, диетические рекомендации и психосоциальная поддержка должны быть адаптированы с учетом полученных данных, чтобы минимизировать негативные эффекты микрогравитации.

Таким образом, продолжающееся исследование влияния микрогравитации на здоровье человека является ключевым для обеспечения успешных и безопасных космических миссий в будущем. Эти исследования не только помогут защитить здоровье астронавтов, но и могут привести к новым открытиям в области медицины и физики, которые будут полезны и на Земле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев, Ю. А. (2015). Медицинские аспекты космических полетов. Москва: Издательство МГИУ.
2. Костюков, В. Ф., & Сидоренко, Н. Н. (2018). Здоровье человека в условиях микрогравитации: риски и меры профилактики. Космическая биология и экология, 24(1), 45-52.
3. Лебедев, А. И. (2019). Психологические аспекты длительных космических миссий. Космонавтика и жизнь, 3(2), 10-15.
4. Морозов, В. П., & Шумов, А. В. (2020). Физиологические изменения организма человека при длительных космических полетах. Журнал неврологии и психиатрии имени С.С. Корсакова, 120(9), 25-30.
5. Национальная Академия Наук. (2017). Медицинские и биологические исследования в космосе. Москва: Наука.
6. Павлов, И. И., & Остапенко, Г. А. (2016). Адаптация человека к условиям космического полета. Биология и медицина, 7(1), 80-85.
7. Семёнов, И. Н. (2018). Космическая медицина: состояние и перспективы. Космическая медицина и биология, 1, 3-11.
8. Сидоров, Д. В., & Кузнецов, Е. А. (2021). Риски для здоровья человека при космических полетах: современные подходы и перспективы. Журнал космической биологии и экологии, 3(1), 56-62.
9. Тихомиров, И. А. (2019). Проблемы здоровья и безопасности в космических путешествиях. Космическая наука и техника, 24(2), 15-22.
10. Шмидт, В. А. (2020). Космические полеты и их влияние на здоровье человека: обзор литературы. Медицинская экология, 4, 1-10.

НАПРАВЛЕНИЕ 2. (УЧАЩИЕСЯ СРЕДНИХ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ). ТЕХНОЛОГИЯ. ТЕХНИКА. ЧЕРЧЕНИЕ. ФИЗИКА. АВИАМОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 616-073.43

Богодухова О. П.

МБОУ СОШ №3 им. С. А. Погребача

Учитель: *Лагуткина Е.Н.*

МБОУ СОШ №3 им. С. А. Погребача

Bogodukhova O. P.

MBOU Secondary School No. 3 named after. S. A. Pogrebacha

«ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА В МЕДИЦИНЕ»

"THE USE OF ULTRASOUND IN MEDICINE"

Аннотация: В статье рассматриваются физические основы ультразвука, его взаимодействие с биологическими тканями (частота, длина волны, акустический импеданс, поглощение, рассеяние) и устройство современного УЗИ-аппарата. Описаны диагностические применения метода: абдоминальное УЗИ, эхокардиография, акушерство и гинекология, доплерография, мускулоскелетное исследование. Отдельное внимание уделено терапевтическому использованию ультразвука — физиотерапии, литотрипсии, ультразвуковой хирургии, лечению суставов и рассасыванию гематом. Проведён анализ преимуществ (безопасность, неинвазивность, реальное время, доступность) и ограничений метода (низкая проникающая способность через кости и воздух, зависимость от оператора, артефакты). Приведены практические примеры: пренатальная диагностика, исследование щитовидной железы, эхокардиография, литотрипсия, физиотерапия, ультразвуковая стоматология. Автор делает вывод, что ультразвук является незаменимым, постоянно развивающимся инструментом современной медицины.

Abstract: The article discusses the physical fundamentals of ultrasound, its interaction with biological tissues (frequency, wavelength, acoustic impedance, absorption, and scattering), and the design of modern ultrasound machines. It also covers the diagnostic applications of ultrasound, including abdominal ultrasound, echocardiography, obstetrics and gynecology, Doppler ultrasonography, and musculoskeletal imaging. The article also focuses on the therapeutic uses of ultrasound, including physical therapy, lithotripsy, ultrasound surgery, joint treatment, and hematoma resolution. The advantages (safety, non-invasiveness, real-time, availability) and limitations of the method (low penetration through bones and air, operator dependence, artifacts) are analyzed. Practical examples are provided: prenatal diagnostics, thyroid examination, echocardiography, lithotripsy, physiotherapy, and ultrasonic dentistry. The author concludes that ultrasound is an indispensable and constantly evolving tool in modern medicine.

Ключевые слова: ультразвук, ультразвуковая диагностика, УЗИ, эхокардиография, доплерография, литотрипсия, ультразвуковая терапия, физиотерапия, акустический

импеданс, датчик УЗИ, неинвазивная визуализация, пренатальное УЗИ, абдоминальное УЗИ, преимущества и ограничения УЗИ.

Keywords: ultrasound, ultrasound diagnostics, ultrasound imaging, echocardiography, dopplerography, lithotripsy, ultrasound therapy, physiotherapy, acoustic impedance, ultrasound sensor, non-invasive imaging, prenatal ultrasound, abdominal ultrasound, advantages and limitations of ultrasound.

1. Введение

Ультразвук - это звуковые волны с частотой выше верхнего предела слышимости человека (более 20 кГц). В медицине ультразвук широко используется как безопасный и неинвазивный метод диагностики и терапии. За последние десятилетия ультразвуковые технологии значительно развились и стали одним из основных инструментов для исследования внутренних органов, оценки состояния тканей и контроля за ходом лечения.

Применение ультразвука в медицине позволяет получать изображения в реальном времени, что особенно важно для своевременной постановки диагноза и мониторинга различных заболеваний. Кроме того, ультразвук используется для терапевтических целей, например, в физиотерапии и разрушение камней в почках.

Цель данного проекта – рассмотреть основные принципы действия ультразвука, его диагностические и терапевтические применения, а также оценить преимущества и ограничения этого метода в современной медицине.

2. Основы ультразвука

Основные характеристики ультразвука:

- Частота (Гц) – определяет глубину проникновения и разрешающую способность;
- Длина волны – обратно пропорциональна частоте;
- Амплитуда – связана с интенсивностью звука;
- Скорость распространения – зависит от свойств среды (например, в мягких тканях около 1540 м/с)

В медицине диагностике ультразвук позволяет получать изображение внутренних органов без ионизирующего излучения, что делает его безопасным и широко используемым методом.

3. Физические свойства ультразвуковых волн в тканях организма

1. Частота длина волны. Ультразвуковые волны имеют частоты выше 20 кГц, в медицине обычно используются волны с частотой от 1 до 15 МГц. Чем выше частота, тем короче длина волны и выше разрешающая способность, но при этом уменьшается глубина проникновения в ткани.

2. Скорость распространения. Скорость ультразвука в мягких тканях организма составляет примерно 1540 м/с, а в костях – около 4080 м/с, а в воздухе значительно меньше (~340 м/с). Скорость зависит от плотности и упругости среды.

3. Импеданс акустический (акустический сопротивление). Акустический импеданс – это произведение плотность ткани на скорость звука в ней ($Z = \rho \cdot c$). Различия импедансов между соседними тканями вызывают отражение ультразвуковых волн, что лежит в основе получение изображений.

4. Поглощение и затухание. При прохождении через ткани ультразвук теряет энергию из-за поглощение увеличивается с ростом частоты, поэтому высокочастотные волны дают лучшее качество изображения, но проникают на меньшую глубину.

5. Отражения, преломление и рассеяние.

- Отражение происходит на границах между тканями с разными акустическим импедансами;

- Преломление – изменение направление волны при переходе между средами с разной скоростью звука;

- Рассеяние возникает на неоднородностях тканей и влияет на качество изображение.

6. Интенсивность и давление. Ультразвуковая волна характеризуется интенсивностью (энергией, проходящей через единицу площади) и акустическим давлением, которые влияют на эффект воздействия на ткани.

4. Аппарат для ультразвуковых исследований

Аппарат для ультразвуковых исследований, или ультразвуковой сканер (УЗИ-аппарат), - это медицинское устройство, предназначенное для

неинвазивной визуализации внутренних органов и тканей с помощью ультразвуковых волн.

Основные комплекты аппарата для УЗИ:

1. Преобразователь (датчик). Это ключевой элемент аппарата, которой излучает ультразвуковые волны и принимает отражённые сигналы от тканей организма. Датчики бывают разных типов в зависимости от области исследования (линейные, конвексные, фазированные и др.)

2. Ультразвуковой генератор. Создаёт электрические импульсы, которые преобразуются датчиком в ультразвуковые волны.

3. Приемник и процессор сигналов. Обработывают отражённые ультразвуковые волны, усиливают их и преобразуют в видеосигнал.

4. Дисплей. Отображает полученное изображение в реальном времени, позволяя врачу оценить состояние органов.

5. Система управления. Включает клавиатуру, кнопки и сенсорные панели для настройки параметров исследования.

Принцип работы:

УЗИ-аппарат посылает короткие ультразвуковые импульсы в тело пациента через датчик. Волны отражаются от границ тканей с разной плотностью и возвращаются обратно к датчику. На основе времени задержки и интенсивности отражённых сигналов формируется изображение исследуемой области.

Применение:

Аппараты УЗИ используются для обследования сердца, сосудов, органов брюшной полости, щитовидной железы, молочных желез, плод при беременности и других целей.

5. Диагностическое применения ультразвука

Диагностическое применение ультразвука охватывает широкий спектр медицинских областей благодаря его безопасности, неинвазивности и высокой информативности.

1.1 Абдоминальное УЗИ

Используется для визуализации органов брюшной полости: печени, желчного пузыря, поджелудочной железы, селезёнки, почек, органов мочевыделительной системы и брюшной аорты. Позволяет выявлять опухоли, кисты, камни, воспалительные процессы, а также оценивать структуру и размеры органов.

1.2 Кардиология (эхокардиография)

Применяется для оценки структуры и функции сердца. Позволяет визуализировать сердечные камеры, клапаны, перикард, измерять скорость кровотока и выявлять патологии, такие как пороки клапанов, кардиомиопатии, перикардиты, тромбы.

1.3 Акушерство и гинекология

В акушерстве ультразвук используется для мониторинга развития плода, определения срока беременности, выявления врождённых аномалий и оценки состояния плаценты и околоплодных вод. В гинекологии – для обследования матки, яичников, выявления кист, миом, воспалительных процессов.

1.4 Допплерография

Метод оценки кровотока с помощью эффекта Доплера. Позволяет измерять скорость и направление движения крови в сосудах, выявлять стенозы, тромбозы, нарушения кровоснабжения органов и тканей.

1.5 Мускулоскелетное УЗИ

Используется для обследования мышц, сухожилий, связок, суставов и периартикулярных тканей. Позволяет диагностировать травмы, воспаления, дегенеративные изменения, гематомы и опухоли мягких тканей.

2. Терапевтическое использование ультразвука

Ультразвук активно применяется в медицине не только для диагностики, но и для лечения различных заболеваний. Его терапевтическое использование основано на способности ультразвуковых волн проникать в ткани, вызывая тепло и механическое воздействие, что способствует восстановлению организма.

Основные направления терапевтического применения ультразвука:

1. Физиотерапия. Ультразвук применяется для ускорения заживления ран, уменьшения воспаления и боли, улучшения кровообращения и обменных процессов в тканях. Терапевтические аппараты создают глубокое локальное прогревание, что стимулирует регенерацию и снижает мышечное напряжение.

2. Ультразвуковая литотрипсия. Метод дробления конкрементов (камней) в почках, желчном пузыре и мочевыводящих путях при помощи сфокусированных ультразвуковых ударных волн. Это позволяет безоперационно разрушить камни на мелкие части, которые затем выводятся естественным путем.

3. Ультразвуковая хирургия. Использование ультразвуковых вибраций для точного рассечения и удаления тканей, например, при липосакции или удалении опухолей. Преимущества – минимальное повреждение окружающих тканей и меньшая кровопотеря.

4. Лечение воспалительных и дегенеративных заболеваний суставов. Ультразвуковая терапия снижает отеки, ускоряет восстановление хрящевой ткани и уменьшает болевой синдром при артритах, артрозах и тендинатах.

5. Ускорение рассасывания гематом и рубцов. За счет усиления обменных процессов и улучшения микроциркуляции активизируется распад кровоизлияний и тканей посттравматического воспаления.

Преимущества терапевтического ультразвука:

- Безболезненность и безопасность
- Глубокое проникновение и локальное воздействие
- Минимальное количество побочных эффектов
- Сочетание с другими методами терапии

7. Преимущество и ограничения ультразвуковых методов

Преимущества ультразвуковых методов:

1. Безопасность. Ультразвук не использует ионизирующее излучение, поэтому не наносит вреда тканям и может применяться многократно, в том числе у беременных и детей

2. Неинвазивность. Методы не требуют хирургического вмешательства, что снижает риск осложнений и делает процедуру комфорт для пациента.

3. Относительная доступность и мобильность оборудования. УЗ-аппараты компактны, часто портативны, что позволяет проводить исследования в различных условиях – от клиник до скорой помощи.

4. Высокая разрешающая способность для мягких тканей. Ультразвук хорошо визуализирует мягкие ткани, сосуды, органы малого таза, сердце, мышцы, сухожилия.

5. Реальное время. Изображение формируется в режиме реального времени, что удобно для динамического наблюдения и проведения интервенционных процедур (например, биопсии)

6. Относительно низкая стоимость. По сравнению с КТ или МРТ, УЗИ более экономично

Ограничение ультразвуковых методов:

1. Низкая проникающая способность через кости и воздух. Ультразвук плохо проходит через костные структуры и газ (например, легкие, кишечник), что ограничивает диагностику в этих областях.

2. Зависимость от оператора. Качество исследования сильно зависит от опыта и навыков специалиста, а также от техники проведения.

3. Ограниченная визуализация глубоких структур у пациентов с избыточной массой тела. Толстый слой жировой ткани ослабляет ультразвуковую волну, ухудшая качество изображения.

4. Невозможность детального изучения некоторых органов и патологий. Например, для оценки головного мозга у взрослых или мелких структур костей УЗИ малоэффективно.

5. Артефакты и помехи. Могут возникать ложные изображения из-за отражений, преломлений или затухания волн.

8. Примеры практике применения

1. Ультразвуковое исследование плода (пренатальное УЗИ). Во время беременности врач с помощью ультразвукового датчика может увидеть развитие

и положение плода, определить срок беременности, выявить возможные пороки развития и оценить состояние плаценты и околоплодных вод.

2. Диагностика заболеваний щитовидной железы. УЗИ помогает выявлять узлы, кисты и опухоли в щитовидной железе, а также контролировать их динамику без необходимости биопсии на ранних этапах.

3. Обследование сердца (эхокардиография). С помощью ультразвука оценивают работу сердечных клапанов, размеры камер сердца, наличие пороков и эффективности кровотока, что важно при диагностике сердечно-сосудистых заболеваний.

4. Литотрипсия – дробление камней в почках. Фокусированный ультразвук применяется для безоперационного разрушения камней в почках или желчном пузыре, что позволяет избежать хирургического вмешательства.

5. Физиотерапия при заболеваниях суставов и мышц. Низкочастотный ультразвук используется для ускорения заживления повреждённых тканей, снятия воспаления и уменьшения болевого синдрома при артритах, растяжениях и других травмах.

6. Удаление зубного налёта и камня в стоматологии. Ультразвуковые скалеры эффективно очищают зубы от твердых отложений, предотвращая развитие кариеса и пародонтита.

9. Заключение

Ультразвук является незаменимым инструментом в современной медицине благодаря своей безопасности, безболезненности и высокой информативности. Он широко применяется для диагностики, мониторинга заболеваний и проведения терапевтических процедур, что позволяет улучшить качество медицинской помощи и повысить эффективность лечения. Постоянное развитие ультразвуковых технологий способствует расширению их возможностей и открывает новые перспективы в медицине.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов А.В., Иванова Е.С. Ультразвуковая диагностика в клинической практике. – М.: Медицина, 2020 г.
2. Борисова О.В. Основы ультразвуковой диагностики. – М.: Медицина, 2019г.
3. Иванов А.П. Медицинская ультразвуковая техника. – СПб.: Питер, 2021.
4. Николаев В.Д. Ультразвуковая терапия в физиотерапии. – М.: Медицина, 2018.

Кириллов Н.Е.

Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение «Средняя общеобразовательная школа № 6» городского округа г. Кумертау Р. Б.

Заведующий центром опережающей профессиональной подготовки

Кириллов Е.Ю.

Кумертауский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет имени В.А. Бондаренко»

Kirillov N.E.

Municipal Budgetary General Education Institution Secondary General Education School No. 6 of the City District of Kumertau R. B.

УСТРОЙСТВО СБРОСА ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ ДЛЯ МУЛЬТИРОТОРНОГО БПЛА DJI МОДЕЛЬНОГО РЯДА MAVIC-3 ДЛЯ ДОСТАВКИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ, МЕДИКАМЕНТОВ, ВОДЫ В ТРУДНОДОСТУПНЫЕ МЕСТА

RESET DEVICE FOR DJI MAVIC-3 MULTIROTOR UAV FOR DELIVERING FOOD, MEDICINES, AND WATER TO HARD-TO-ACCESS AREAS

Аннотация: с каждым днем появляются все большее количество областей применения БПЛА. Одним из важных вариантов является осуществление доставки продуктов питания, воды, медикаментов в труднодоступные места, например если человек заблудился в лесной труднопроходимой местности.

Abstract: Every day, more and more areas of application for UAVs are emerging. One important option is to deliver food, water, and medicine to hard-to-reach locations, such as when someone gets lost in a difficult-to-navigate forest.

Ключевые слова: БПЛА, мультироторный, доставка продуктов питания, система сброса.

Keywords: UAV, multi-rotor, food delivery, drop system.

Важнейшим достижением в применении современных БПЛА является возможность доставки полезной нагрузки в труднодоступные места, куда человеку добраться обычным транспортом не представляется возможным. Абсолютное большинство мультироторных БПЛА весом до 2 кг не имеют в

штатном исполнении устройств сброса полезной нагрузки. За основу нашей работы мы взяли систему сброса «Курьер» от группы КБ200 рисунок 1 [1].



Рис. 1. внешний вид модернизированной системы сброса «Курьер» для доставки продуктов питания

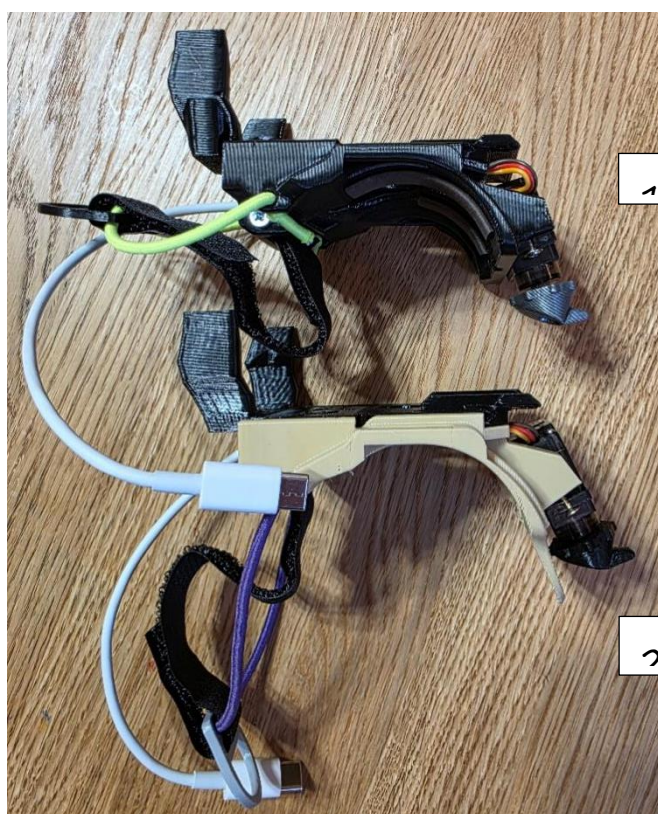


Рис. 2. Сравнение конструкций: 1 – штатный вариант системы сброса «Курьер»; 2 – модернизированный вариант.

Система сброса полезной нагрузки состоит из следующих компонентов:

- корпусная часть с защелкой и упором (изготавливается методом 3D-печати);
- корпусная часть с частями для монтажа основных компонентов (изготавливается методом 3D-печати);
- плата микроконтроллера;
- сервопривод (покупное изделие);
- кабель питания (покупное изделие);
- фотодатчик (фоторезистор) (покупное изделие);
- эластичный шнур крепления (покупное изделие);
- гибридная липучка, для усиленного крепления (покупное изделие);
- зацеп (изготавливается методом 3D-печати);
- петля зацепа (изготавливается методом 3D-печати).

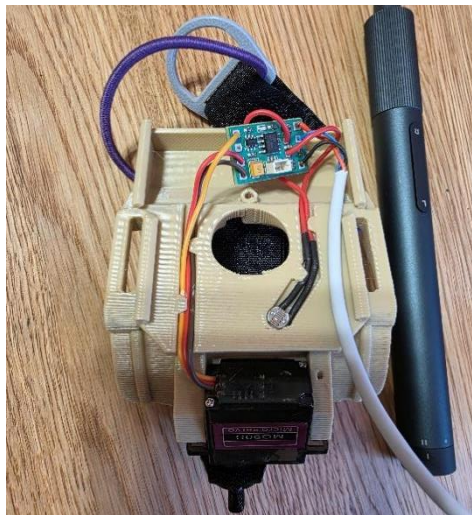


Рис. 3. компоненты системы сброса

Необходимость в доработке необходима вследствие заклинивании и несрабатывании механизма удержания и открывания: стопорится и не вращается зацеп на оси сервопривода, соответственно сброс невозможен. Вносимые изменения:

- смоделирован защитный «фартук», предохраняющий от попадания груза в зону вращения зацепа;

- изменен угол расположения сервопривода, соответственно изменен угол вращения зацепа для более надежной работы механизма сбрасывания.

Принцип работы системы сброса: после установки системы сброса на БПЛА, кабель питания вставляется в штатный разъем, далее крепится необходимый груз, взлет БПЛА осуществляется «с рук» или со взлетного столика. При работе с системой сброса необходимо отключить контроль сканирования по датчику посадки (датчик расстояния до земли).

После взлета и подлета к необходимой точке сброса на пульте управления необходимо включить нижнюю подсветку, после активации которой фотодатчик системы сброса изменяет свое сопротивление, а плата микроконтроллера подает управляющий импульс (ШИМ сигнал) на сервопривод, ось которого вращается, с носика соскальзывает петля зацепа и происходит сброс груза.

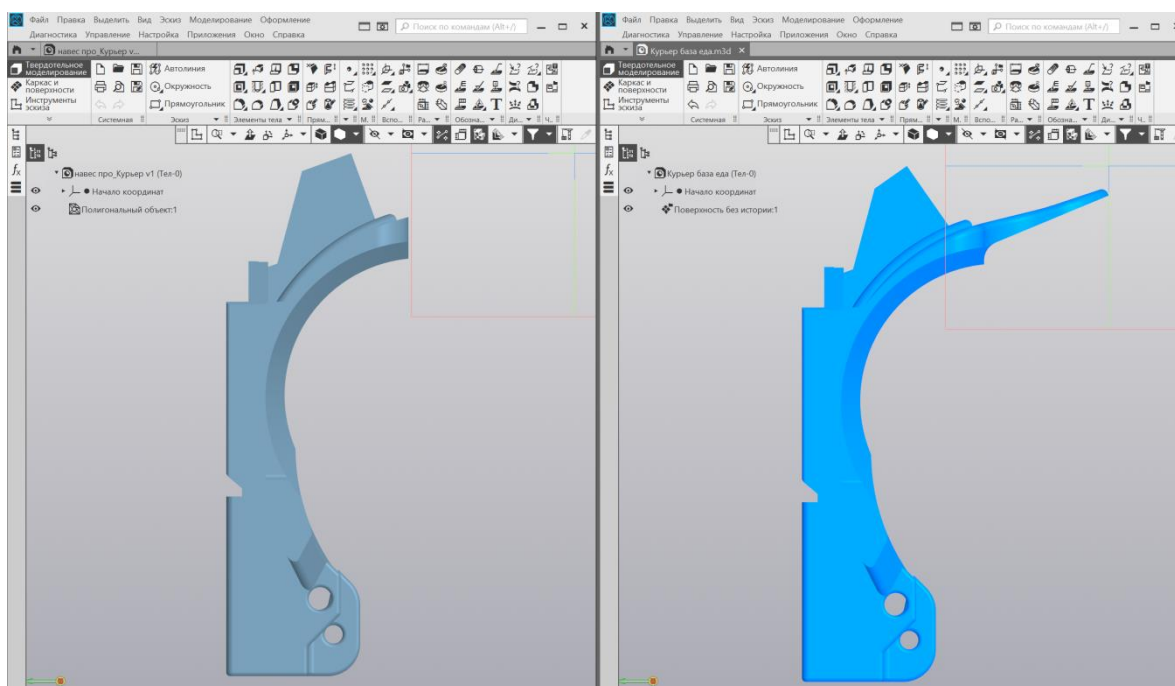


Рис. 4. рабочее окно в САПР КОМПАС-3D: слева штатный вариант конструкции, справа модернизированный.



Рис. 5. внешний вид БПЛА с установленной системой сброса полезной нагрузки (закреплена бутылка с водой)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «Руководство пользователя DJI MAVIC-3 PRO» // Режим доступа: <https://www.manualslib.com/manual/3050262/Dji-Mavic-3-Pro.html>
2. «Создан и испытан учеными НГУ новый беспилотный аппарат по доставке грузов» // Режим доступа: <https://dzen.ru/a/aBNn83U1t0mtIBbX?ysclid=mnaik0xam611964836>
3. «Беспилотная доставка: как дроны могут повысить эффективность логистики» // Режим доступа: <https://www.rbc.ru/economics/05/11/2025/690b08519a794783f5f1cf35?ysclid=mnail90h2y540841448>

Кириллова В.Е.

Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение «Средняя общеобразовательная школа № 6» городского округа г. Кумертау Р. Б.

Науч. Рук. Инженер первой категории *Кириллова Н.А.*

ООО УК РЭУ №7, г. Кумертау

Kirillova V.E.

Municipal budgetary general education institution "Secondary comprehensive school No. 6" of the urban district of Kumertau R.B.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ БПЛА В СФЕРЕ ЖИЛИЩНО – КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА

APPLICATION OF MODERN UNMANNED AERIAL VEHICLES IN THE FIELD OF HOUSING AND COMMUNAL SERVICES

Аннотация: новые пути в повышению эффективности и экономичности выполнения работ в сфере жилищно-коммунального хозяйства однозначно имеют смысл в использовании современных мультироторных БПЛА оснащенных высококачественной камерой, высоким разрешением фото и видеосъемки, тепловизором и набором датчиков, предотвращающих столкновение.

Abstract: New ways to improve the efficiency and cost-effectiveness of work in the housing and communal services sector are clearly justified by the use of modern multi-rotor UAVs equipped with high-quality cameras, high-resolution photo and video recording, a thermal imager, and a set of sensors that prevent collisions.

Ключевые слова: БПЛА, ЖКХ, мониторинг, визуальный контроль.

Keywords: UAV, housing and communal services, monitoring, visual control.

В настоящее время применение беспилотных летательных аппаратов находит все большее применение. Сфера жилищно – коммунального хозяйства, по нашему мнению, является одной из перспективных областей применения БПЛА в следующих видах работ:

- визуальный контроль дефектов кровли
- визуальный мониторинг накопления снежных «шапок» на кровле
- проведение обязательного внеочередного визуального контроля технического состояния кровли, фасада, водосточной системы и ливневой

канализации после природных катаклизмов: сильного ветра, проливных дождей (особенно косых), снегопадов (осмотр кровли после урагана или снегопада предусмотрен Правилами и нормами технической эксплуатации жилищного фонда (Постановление Госстроя РФ от 27 сентября 2003 г. №170);

- проведение тепловизионного обследования для выявления тепловых потерь (особенно для домов находящихся в длительной эксплуатации) фасадов, кровель, оконных проемов, поиска скрытых протечек.

Таблица 1

ориентировочный сравнительный анализ проведения обследования

Критерий	Промышленный альпинист (план УК)	Обследование с помощью БПЛА DJI MAVIC 3T(предложение)
Стоимость	от 3500 руб/час	3000 руб/час (за 2 рабочих дня 48 000 руб)
Срок выполнения	2–3 недели	~ 2 рабочих дня
Охват	100% кровли, ~15% фасада (точечно)	100% кровли, 100% фасада
Безопасность	Высокий риск для исполнителей	Нулевой риск для людей
Доступ	Требуется доступ на кровлю	Не требуется
Результат	Акт осмотра, фото с телефона	Детальный фото- и видеоотчет в 4К, результаты тепловизионной съемки
Человеческий фактор	Высокий (пропустил, не заметил, устал)	Минимальный (фиксирует все)



Рис. 1. внешний вид БПЛА DJI MAVIC-3T с инфракрасной камерой



Рис. 2. Пример проведения визуального обследования: 1 – контроль снеговой «шапки» на кровле; 2 – контроль эксплуатации дымоходной трубы отопления на скатной кровле.



Рис. 3. обнаруженный дефект при подключении фонаря освещения дворовой территории МКД: нарушена изоляция провода.

В результате практической части исследования применения БПЛА для проведения различного вида обследований, мониторинга и контроля в сфере жилищно-коммунального хозяйства мы сделали следующие выводы:

- использование беспилотных летательных аппаратов для проведения визуального контроля технического состояния кровель, фасадов является перспективным направлением, при этом значительно сокращается не только время выполнения работ, но и их стоимость.

- повышается безопасность проведения обследования – нет необходимости выполнять опасную работу на высоте человеком.

- повышается качество и объём выполненных работ: высокое качество фото и видеоматериалов позволяют делать детальную постобработку результатов контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «Использование дронов для осмотра кровли и фасадов: новая эра в содержании МКД» // Режим доступа: <https://gkhnews.ru/1509467-ispolzovanie-dronov-dlya-osmotra/?ysclid=mna9cnbnoz158847889>
2. «Цифровое ЖКХ. БПЛА, онлайн-камеры и умные датчики – на страже тепла» // Режим доступа: <https://spb.aif.ru/city/cifrovoe-zhkh-bpla-onlayn-kamery-i-umnye-datchiki-na-strazhe-tepla?ysclid=mna9fmkwp903329610>
3. Попов А.А., Соломина Ю.К. анализ возможностей использования беспилотных летательных аппаратов для управления жилищно-коммунальным хозяйством // Фундаментальные исследования. 2018. № 2. С. 144-151;

**НАПРАВЛЕНИЕ 3. (УЧАЩИЕСЯ СРЕДНИХ
ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ). ИСТОРИЯ.
ОБЩЕСТВОЗНАНИЕ. ГЕОГРАФИЯ**

УДК 323.28

Хамитова М. Р.

Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение «Средняя общеобразовательная школа №5» г. Кумертау

Учитель Истории И Обществознания *Кучербаева Л. Ф.*

Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение
«Средняя общеобразовательная школа №5» г. Кумертау

Khamitova M. R.

Municipal Budgetary General Secondary School No. 5, Kumertau

**ТЕРРОРИЗМ; СОЦИАЛЬНЫЕ СЕТИ КАК ИНСТРУМЕНТ ВЕРБОВКИ:
ПОЧЕМУ МОЛОДЁЖЬ ПОПАДАЕТ ПОД ВЛИЯНИЕ
ТЕРРОРИСТИЧЕСКОЙ ИДЕОЛОГИИ?**

**TERRORISM; SOCIAL MEDIA AS A RECRUITMENT TOOL: WHY DO
YOUNG PEOPLE FALL UNDER THE INFLUENCE OF TERRORIST
IDEOLOGY?**

Аннотация: Статья посвящена анализу феномена терроризма и его современных проявлений с акцентом на вовлечение молодёжи через интернет-среду. Рассматриваются понятие терроризма и террористического акта, правовые аспекты ответственности в Российской Федерации. Особое внимание уделяется экстремизму в цифровом пространстве, психологическому портрету уязвимых подростков и технологиям вербовки в социальных сетях (Telegram, VK, TikTok). На основе реальных кейсов (Казань, 2021; Московская область, 2025; провокационный канал «Кумертау запомнит») реконструируются типовые сценарии перехода от слов к действиям. Автор приходит к выводу, что эффективная профилактика подросткового терроризма требует не столько силовых мер, сколько развития критического мышления, медиаграмотности и создания альтернативных социально одобряемых сообществ.

Abstract: The article analyzes the phenomenon of terrorism and its modern manifestations, focusing on the involvement of young people through the Internet. It examines the concept of terrorism and terrorist acts, as well as the legal aspects of responsibility in the Russian Federation. Special attention is given to extremism in the digital space, the psychological profile of vulnerable teenagers, and the technologies of recruitment on social media platforms (Telegram, VK, TikTok). Based on real-life cases (Kazan, 2021; Moscow Region, 2025; the provocative channel "Kumertau Will Remember"), the author reconstructs typical scenarios of the transition from words to actions. The author concludes that effective prevention of teenage terrorism requires not only forceful measures, but also the

development of critical thinking, media literacy, and the creation of alternative socially acceptable communities.

Ключевые слова: терроризм, террористический акт, экстремизм в интернете, подростковый терроризм, вербовка, социальные сети, деструктивные субкультуры, уязвимая аудитория, профилактика, медиаграмотность, кибербезопасность, Ильназ Галявиев, скулшутинг.

Keywords: terrorism, terrorist act, online extremism, teenage terrorism, recruitment, social networks, destructive subcultures, vulnerable audience, prevention, media literacy, cybersecurity, Ilnaz Galyaviev, school shooting.

Терроризм и его проявление в современном мире

Терроризм — это преступная деятельность, связанная с применением насилия или угрозой его применения в отношении людей с целью запугивания населения, дестабилизации обстановки, давления на органы власти и принятия ими определённых решений.

Террористические акты нередко сопровождаются взрывами, поджогами, захватом заложников, уничтожением инфраструктуры и другими опасными действиями, которые ставят под угрозу жизни и здоровье граждан. Цель террористов — посеять страх, разрушить доверие и безопасность общества.

Террористический акт (теракт) — это совершение взрыва, поджога или иных действий, устрашающих население и создающих опасность гибели человека, причинения значительного имущественного ущерба либо наступления иных тяжких последствий, в целях дестабилизации деятельности органов власти или международных организаций либо воздействия на принятие ими решений, а также угроза совершения указанных действий в тех же целях.

В России уголовная ответственность за совершение террористического акта установлена статьёй 205 Уголовного кодекса РФ.

1.2 Проявление экстремизма в интернете

Некоторые проявления экстремизма в интернете:

Распространение медиафайлов или литературы, возбуждающей ненависть либо вражду, унижающей достоинство человека по признакам пола, расы, национальности, языка, происхождения, отношения к религии, принадлежности к какой-либо социальной группе

Распространение призывов к экстремистской деятельности, неконституционной смене власти, применению насилия против отдельных граждан или групп лиц, объединённых по признакам пола, расы, национальности, языка, происхождения, отношения к религии.

Создание сайтов с подробной информацией об экстремистских движениях, публикация данных о времени и встрече людей, заинтересованных в поддержке террористов.

Запугивание путём сообщения о будущих и уже спланированных действиях на страницах сайтов или рассылка подобных сообщений по электронной почте.

За проявление экстремизма в интернете предусмотрена как уголовная ответственность (ч. 1 ст. 282 УК РФ, ч. 2 ст. 280 УК РФ), так и административная (ст. 20.3.1 КоАП РФ).

1.3 Подростки среди соблазна вступить в террористические движения

Подростковый терроризм — участие подростков в экстремистских и террористических действиях, которые имеют политическую или идеологическую подоплёку и направлены на создание страха в обществе. Чаще всего такие действия совершают лица в возрасте от 12 до 18 лет, которые не обладают достаточным жизненным опытом и пониманием последствий своих действий.

Некоторые факторы, способствующие вовлечению подростков в терроризм:

- **Поиск идентичности.** В переходный период подростки сталкиваются с вопросами о том, кто они и каким образом они могут быть частью общества. В некоторых случаях безопасность, которую предлагают террористические организации, может восприниматься как альтернатива отсутствию поддержки в семье или сообществе.

- **Влияние окружения.** Семья, друзья и социальные связи играют важную роль в формировании взглядов подростков. Групповое давление может заставить молодых людей пересмотреть свои ценности и принимать участие в актах насилия, чтобы заработать одобрение сверстников.

• **Эмоциональные проблемы и травма.** Многие подростки, вовлечённые в терроризм, испытывают эмоциональные проблемы, такие как депрессия, тревога и переживания, связанные с травмой.

• **Идеологическая манипуляция.** Террористические организации часто используют идеологическое манипулирование для привлечения подростков. Это может включать в себя искажение фактов, романтизирование насилия и представление террористической деятельности как акта героизма.

• **Роль сети и медиа.** Современные технологии и социальные сети играют значительную роль в распространении идеологий насилия. Подростки часто используют медиа для поиска информации и общения с единомышленниками.

Вовлечение подростков в террористическую деятельность имеет разрушительные последствия как для них самих, так и для общества в целом. Подростки, участвующие в террористических актах, подвержены риску физической и психологической травмы, а также уголовной ответственности.

Профилактика подросткового терроризма требует комплексного подхода, включающего как образовательные, так и социальные меры. Важную роль в этом процессе играют образовательные программы, направленные на формирование критического мышления и осознание последствий насильственных действий, поддержка семей как важного элемента социализации подростков, вовлечение молодёжи в социальные и культурные инициативы.

Соц.сети как инструмент вербовки, переход слов в действия.

2.1. Портрет уязвимой аудитории: почему молодёжь подвержена влиянию

Уязвимость молодёжи к онлайн-вербовке обусловлена тремя группами факторов:

1. **Возрастные особенности:**

- недооценка рисков и долгосрочных последствий (из-за незрелости префронтальной коры мозга);

- поиск идентичности (потребность в чёткой системе ценностей и чувстве принадлежности);

- гипертрофированная эмпатия и стремление к «справедливости».

2. Социальные факторы

- отчуждение от семьи, школы, традиционных институтов;
- одиночество и дефицит реального общения;
- экономическая неопределённость (безработица, низкий доход);
- культурный диссонанс (конфликт идентичностей у мигрантов).

3. Цифровые риски

- эстетизация насилия в онлайн-субкультурах (мемы, арты, игровые образы);
- групповая поляризация в закрытых сообществах (вытеснение умеренных взглядов);
- геймификация вербовки (система «достижений», ритуалы инициации).

Ключевые психологические маркеры:

повышенная тревожность

- склонность к чёрно-белому мышлению
- жажда признания
- конспирологическое мировоззрение
- история травли или социальной дезадаптации.

Уязвимость — не личная слабость, а результат взаимодействия возрастных, социальных и технологических факторов. Профилактика должна фокусироваться на развитии критического мышления, укреплении социальных связей и предоставлении альтернативных способов самореализации.

2.2. Кейсы успешной вербовки: анализ реальных примеров.

1. Основные платформы и их уязвимости

Telegram:

1. закрытые каналы и чаты с модерацией «по приглашениям»;
2. шифрование переписки, затрудняющее мониторинг;
3. боты для автоматической фильтрации новых участников.

(ВКонтакте):

1. группы с двойным дном (например, якобы посвящённые истории или философии);

2. таргетированная реклама по интересам («справедливость», «борьба с системой»);

3. личные сообщения от фейковых аккаунтов «наставников».

TikTok:

1. вирусные ролики с фрагментами радикальных речей под трендовую музыку;

2. хештеги, маскирующие экстремистский контент (#правда #свобода);

3. переход из видео в приватные чаты через комментарии.

К сожалению в наших реалиях мы можем наблюдать действие соц.сетей на проростоков, как они попадают в эту ловушку

Для начала разберем реальные случаи терактов:

1) Ильназ Галявиев (род. 11 сентября 2001 года в Казани) — организатор массового убийства в казанской гимназии №175 11 мая 2021 года. В результате нападения погибли 9 человек (7 детей и 2 взрослых), ещё 23 получили ранения. Галявиев получил пожизненное лишение свободы. В начале 2021 года у Галявиева начал формироваться умысел на преступление под влиянием информации о деструктивных субкультурах, в частности о массовых убийствах в школах.

В конце апреля 2021 года Галявиев получил лицензию на оружие, а 16 апреля купил гладкоствольное ружьё Hatsan Escort PS Guard 12-го калибра. Деньги на покупку он выручил от продажи внутриигровых предметов (увлекался Counter-Strike). Также он изготовил самодельное взрывное устройство.

Утром 11 мая Галявиев пришёл в гимназию с ружьём и взрывчаткой. Он взорвал входную дверь и начал стрелять по учащимся и учителям. Нападение длилось около 8 минут. По версии следствия, Галявиев стремился «подражать действиям неформальных представителей одной из деструктивных субкультур». Также среди мотивов называли ненависть к окружающему миру и желание продемонстрировать «свою исключительность и превосходство».

2) нападение на Успенскую школу в посёлке Горки-2 Одинцовского городского округа Московской области, совершённое 16 декабря 2025 года.

Нападавшим был 15-летний учащийся 9-го класса Тимофей Кулямов. Он пронёс в здание школы нож, перцовый баллончик и муляж взрывного устройства. В результате нападения погиб 10-летний учащийся, гражданин Таджикистана Кобилджон Алиев, были ранены охранник и ещё двое детей. Особого ужаса добавляет тот факт, что причиной убийства стала радикальная идеология, которой придерживался преступник с одержимостью сектанта. В своем «манифесте» Тимофей не только сбивчиво и агрессивно упоминает ложные исторические факты и конспирологические теории, но и радикальные трактовки этих выдуманных событий. По ее мнению, это может быть симптомом серьезных психических заболеваний.

Следственный комитет РФ возбудил уголовное дело по статьям 105 УК РФ (убийство) и ч. 3 ст. 30, ч. 2 ст. 105 УК РФ (покушение на убийство двух или более лиц). 18 декабря Тверской суд Москвы удовлетворил ходатайство следствия и арестовал Тимофея Кулямова на два месяца.

3) К сожалению подобный случай промывки мы можем наблюдать, в родном городе:

Вечером 10 декабря 2025 года, я заметила подозрительную рассылку постов в мессендереже Телеграмм, время была приблизительно 7 вечера, (позже я узнала что существовало еще несколько таких же каналов ранее, но они были удалены)

Был создан канал с провокационным названием "Кумертау запомнит". В нем публиковались очень пугающие и провокационные посты. В данных сообщениях были приклеплены фото оружия и взрывчатых устройств самостоятельной сборки, текст содержал в себе много нецензурной лексики и призыв стать по последователем затеи неких действий. Неизвестные угрожали тем, что нападут на все школы нашего города, что их большое количество. Были выставленные 3 видео, в первом были кадры асфальта и красные пятна, полпредполагалось что это кровь, подписи к записи гласила, что "они" уже начали действовать, но на момент публикации был снег, на видео не присутствовал, вторая запись содержала в себе съемку в каком то подъезде, где камера направлена на

дверь, которую в последствии поджигают, якобы совершив поджог двери одного из директоров школ, данная запись так же не подтверждена, третье видео содержало в себе уже "более устрашающий характер", на нем какой то парень якобы применяет насилие над несовершенно летним нанонся удары ногами, после чего делает ножевые раннения, изучив видео я поняла, что это разыгранная на камеру сценка, так как на записи четко видно, как удары наносились мимо, а холодное оружие не нанесла никаких увечий "пострадавшему". Среди постов был один с данным содержанием: «СЕГОДНЯ НАМИ ЗАВЕРБОВАНА МИКАИЛОВА ЯСМИНА РУФАИЛОВА 06.12.2010 ИЗ ГОРОДА УФА УЖЕ СКОРО ОНА ПРОНЕСЕТ НА СЕБЕ ВЗРЫВЧАТКУ В СВОЮ ШКОЛУ» личность данного персонада подтверждена так же не была.

Была общена трансляция событий в 13.00, публиковались так же посты с целью запугать, был кадр где у ученика в рбкзаке взрывное устройство с камерой, ближе к трансляции все. посты были удалены, после канал превратился в массовую травлю людей, где кадлый мог анонимно отправить фото ненавистника прикрпив не очень приличный текст, за удаление поста некто просили в районе 100-150 рублей.

К счастью не было ни нападений ничего, но есть один нюанс в этом всём. На разных платформах часто наблюдаются некие "фан-аккаунты" людей прежде совершивших теракты, где их восхваляют и полностью поддерживают позиции данных личностей, в нашем же случае, могли и вправду найтись люди, которые могли бы захотеть действовать восприняв провокацию за вызов, совершить преступление ради забавы, злобы на мир или желание почувствовать себя властным над другими, последствия подобных публикаций в интернете очень чреваты.

2.3 Типовые сценарии вовлечения

«Помощь брату/сестре по несчастью»

- вербовщик имитирует сопереживание: «Я тоже чувствовал себя изгоем, но нашёл путь»;

- предлагает «сообщество единомышленников», где «тебя поймут»;

- постепенно подменяет тему на идеологическую. «Борьба за справедливость»
- эксплуатация актуальных социальных конфликтов (дискриминация, неравенство);
- подача насилия как «единственного способа быть услышанным»;
- примеры «героев», пожертвовавших собой «за правду». «Эксклюзивное знание»
- намёки на «скрытые истины», доступные лишь «избранным»;
- тесты на «достоинство» (например, требование найти скрытый код в видео);
- постепенное раскрытие запретного контента как «награды» за лояльность.

2.4 Признаки вербовочной активности

- резкие изменения в круге общения (новые «друзья» из других регионов);
- появление специфической лексики («система», «пробуждение», «миссия»);
- скрытность в использовании гаджетов;
- интерес к схемам изготовления взрывчатых веществ или оружия;
- публикации депрессивного или агрессивного контента.

2.5. Переход от слов к действиям

Переход от слов к действиям в процессе вербовки происходит постепенно и включает несколько этапов, на каждом из которых усиливается психологическое воздействие и повышается уровень вовлечённости жертвы. Этот процесс можно разделить на несколько ключевых стадий:

1. Формирование доверительного контакта:

На этом этапе вербовщик устанавливает контакт с потенциальной жертвой, создаёт иллюзию дружбы, наставничества или романтических отношений. Он проявляет интерес к жизни человека, слушает его проблемы, поддерживает и демонстрирует понимание. Цель — сформировать психологическую зависимость, при которой жертва начинает воспринимать вербовщика как близкого человека. Вербовщик собирает информацию о жертве: её увлечения,

проблемы, «болевые точки», социальные связи. Эти данные позже используются для манипуляции и давления.

2. Формирование убеждений и установок:

- привлекает внимание к социально-политическим, религиозным или другим конфликтам, представляя их как актуальные и значимые для жертвы;

- убеждает жертву в том, что она причастна к конфликту и способна изменить ситуацию;

- формирует положительные установки по отношению к конкретной стороне конфликта, которая подаётся как «правильная»;

- искажает информацию, использует эмоциональные аргументы (например, апелляцию к вере, справедливости, борьбе с несправедливостью).

3. Изоляция от прежнего окружения:

Вербовщик стремится изолировать жертву от семьи, друзей и других социальных связей, которые могут помешать вовлечению. Он может убеждать жертву, что близкие её не понимают, предают или мешают её «развитию». Вместо этого жертве предлагается новая социальная группа — «братья», «сёстры», «единомышленники». Изоляция усиливает зависимость от вербовщика и новой группы, снижает критическое мышление.

4. Постепенное вовлечение в действия:

На этом этапе вербовщик начинает давать жертве небольшие задания, которые сначала кажутся безобидными или не связанными с противоправной деятельностью. Например, это может быть:

- посещение определённого места и отправка фотоотчёта;
- публикация поста в социальных сетях;
- сбор информации о каких-либо объектах или людях;
- материальная помощь организации.

Иногда вербовщики описывают последствия таких заданий как незначительные, чтобы усыпить бдительность жертвы. В других случаях выполненное действие (например, опубликованный пост) позже используется для шантажа или запугивания.

5. Переход к реальным противоправным действиям:

После того как жертва прошла предыдущие этапы и доказала свою лояльность, ей могут поручить более серьёзные задания, связанные с непосредственным участием в экстремистской или террористической деятельности. Это может быть:

- участие в акциях прямого действия;
- изготовление или транспортировка запрещённых предметов;
- привлечение новых членов в организацию.

На этом этапе вербовщик может использовать различные методы давления: угрозы, шантаж (например, с использованием ранее собранных компрометирующих данных), обещание дальнейшего вознаграждения или «высшего смысла».

Ключевые выводы:

1. Соцсети — главное поле для вербовки. Такие платформы, как Telegram, VK, TikTok, системно используются для распространения идеологии и установления контакта с подростками.

2. Портрет уязвимого подростка включает одиночество, поиск идентичности, чувство несправедливости и влияние деструктивных онлайн-субкультур.

3. Процесс вербовки — это технология. Он проходит этапы: установление доверия, идеологическая обработка, изоляция от окружения и постепенный переход к реальным действиям.

4. Анализ реальных кейсов (Галявиев, Кулямов, канал «Кумертау запомнит») показывает, как онлайн-влияние приводит к реальным трагедиям. Особую опасность представляет культ «героев» в сети, где преступников идеализируют.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уголовный кодекс Российской Федерации. Статья 205. «Террористический акт».
2. Уголовный кодекс Российской Федерации. Статья 282. «Возбуждение ненависти либо вражды, а равно унижение человеческого достоинства».
3. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях. Статья 20.3.1. «Пропаганда или публичное демонстрирование нацистской атрибутики или символики, либо атрибутики или символики экстремистских организаций»
4. Проявления экстремизма в сети Интернет. – URL: <https://proza.ru/2025/02/03/1853> (дата обращения: 23.01.2026).
5. Википедия: Терроризм. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Терроризм>
6. Википедия: Экстремизм. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Экстремизм>
7. Википедия: Стрельба в казанской гимназии №175 (статья о случае Ильназа Галявиева). – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Стрельба_в_казанской_гимназии
8. Википедия: Кибервербовка. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Кибервербовка> (или связанные статьи о вербовке в интернете).
9. Википедия: Социальные сети. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Социальная_сеть
10. Википедия: Медиаграмотность. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Медиаграмотность>
11. Википедия: Профилактика экстремизма. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Профилактика_экстремизма
12. Самостоятельные наблюдения

При подготовке электронного издания использовались следующие программные средства:

- Adobe Acrobat – текстовый редактор;
- Microsoft Word – текстовый редактор.

Все права защищены. Книга или любая ее часть не может быть скопирована, воспроизведена в электронной или механической форме, в виде фотокопии, записи в память ЭВМ, репродукции или каким-либо иным способом, а также использована в любой информационной системе без получения разрешения от издателя. Копирование, воспроизведение и иное использование книги или ее части без согласия издателя является незаконным и влечет уголовную, административную и гражданскую ответственность.

Научное издание

ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МОЛОДЕЖИ

*Материалы
XXIV научно-практической конференции
с международным участием
(г. Кумертау, 9–10 апреля 2026 г.)*

Электронное издание сетевого доступа

*За достоверность информации, изложенной в статьях,
ответственность несут авторы.
Статьи публикуются в авторской редакции*

Подписано к использованию 30.06.2026 г.
Гарнитура «Times New Roman». Объем 17,31 Мб.
Заказ 146.

*ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
450008, Башкортостан, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 12.*

Тел.: +7-908-35-05-007
e-mail: red@uust.ru